

УДК 667.64

В.А. Кузнецова<sup>1</sup>, В.Г. Железняк<sup>1</sup>, Н.В. Баранова<sup>2</sup>, Н.Н. Лебедева<sup>3</sup>

## ВЛИЯНИЕ ОТВЕРДИТЕЛЯ ОС-17 НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ ЛАКА УР-231

DOI: 10.18577/2307-6046-2018-0-6-68-76

*Исследованы эксплуатационные свойства покрытий на основе лака УР-231. Проведены сравнительные испытания лака УР-231 с отвердителями ОС-17 и диэтиленгликольуретаном (ДГУ), а также покрытий на их основе. Лак УР-231 наносили на образцы сплава Д16-АТ и образцы плат печатного монтажа в соответствии с ТУ6-21-14-90. Проведен сравнительный анализ полученных результатов с целью определения возможности замены отвердителя ДГУ на отвердитель ОС-17 для сокращения продолжительности технологического процесса нанесения лаковых покрытий за счет сокращения времени формирования лаковой пленки.*

**Ключевые слова:** лаковые покрытия, влагозащитные электроизоляционные лаки, печатные платы, элементы радиоэлектронной аппаратуры, изоцианатные отвердители, полиуретановые лакокрасочные материалы.

V.A. Kuznetsova<sup>1</sup>, V.G. Zheleznyak<sup>1</sup>, N.V. Baranova<sup>2</sup>, N.N. Lebedeva<sup>3</sup>

## INFLUENCE OF HARDENER OS-17 ON EXPLOITING PROPERTIES OF THE VARNISH COVERING UR-231

*In the study operational properties of coverings on the basis of varnish UR-231 are investigated. Comparison tests of varnish UR-231 with hardeners OS-17 and diethylene glycol urethane (DGU), and also coverings on their basis are carried out. Varnish UR-231 put on samples of alloy D16-AT and samples of printed circuit boards according to specifications 6-21-14-90. Comparing analysis of the received results was carried for the purpose to define possibility of replacement of DGU hardener on hardener OS-17 in interests of reduction of technological process of painting of varnish coatings at the expense of reduction of time of varnish filmforming.*

**Keywords:** lacquer coatings, moisture-protective and electro-isolative varnishes, printed-circuit boards, electronics elements, isocyanate hardeners, polyurethane paints.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific Research Institute of Aviation Materials» State Research Center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

<sup>2</sup>Акционерное общество «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н.А. Семихатова» [Joint Stock Company «Scientific and Production Association of automatics named after academician N.A. Semikhatov»]; e-mail: avt@proa.ru

<sup>3</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Специальное конструкторско-технологическое бюро «Технолог» [Federal State Unitary Enterprise «Special Construction and Technology Bureau «Technolog»]; e-mail: supply@sktb-technolog.ru

### Введение

Как и в любой области промышленности материалы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требуют обеспечения защиты от воздействия эксплуатационных факторов,

таких как перепады температур, повышенная влажность, коррозионные среды. Оптимальную защиту изделий в настоящее время обеспечивают лакокрасочные покрытия (ЛКП). При выборе лакокрасочных материалов для защиты важных конструктивных элементов РЭА руководствуются следующими требованиями к покрытиям: высокая влагостойкость, высокие электроизоляционные и защитные свойства [1–8].

Наиболее полно предъявляемым требованиям могут соответствовать покрытия на основе полиуретановых и эпоксиуретановых лакокрасочных материалов. В случае применения подобных материалов значительное влияние на свойства и структуру покрытия оказывает отвердитель. В зависимости от строения и степени функциональности выбранного отвердителя могут весомым образом меняться технологические и эксплуатационные параметры материала [9–16].

Лак марки УР-231 (ТУ6-21-14–90) – эпоксиуретановый лак, применяемый в промышленности для защиты печатных плат. Использование этого лака объясняется тем, что он обладает лучшими эксплуатационными характеристиками среди влагозащитных лаков, производимых в России. Лак УР-231 является двухупаковочным материалом, отверждается изоцианатным отвердителем диэтиленгликольуретаном – ДГУ (ТУ6-03-388–75).

Покрытие на основе лака УР-231 обладает высокими эксплуатационными свойствами: высокой адгезией, твердостью, эластичностью, механической прочностью, влагостойкостью, устойчивостью к спиртобензиновой смеси, требуемыми электроизоляционными свойствами. Однако у лака УР-231, отверждаемого отвердителем изоцианатного типа ДГУ, есть существенный недостаток, связанный с продолжительным отверждением указанного покрытия. Это связано с тем, что процесс отверждения трехслойного покрытия УР-231 составляет 19,5 ч при температуре 65°C с последующим кондиционированием окрашенных деталей при нормальных условиях в течение 5 сут. С целью сокращения технологического цикла нанесения и формирования покрытия на основе лака УР-231 предприятием ФГУП «СКТБ «Технолог» разработан трехфункциональный изоцианатный отвердитель ОС-17 (ТУ2472-608-05121441–2013), который представляет собой продукт взаимодействия толуилендиизоцианата с многоатомными спиртами.

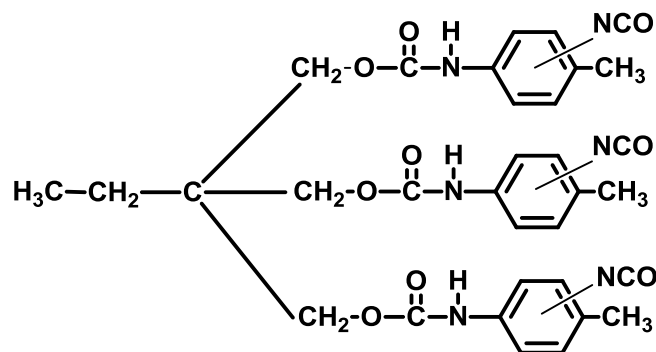
Данная работа посвящена исследованию свойств покрытий на основе лака УР-231, отвержденного трехфункциональным отвердителем ОС-17 в сравнении с серийным отвердителем ДГУ, а также проведению сравнительного анализа полученных результатов с целью определения возможности замены отвердителя ДГУ на отвердитель ОС-17 для сокращения продолжительности технологического процесса нанесения лаковых покрытий за счет сокращения времени формирования лаковой пленки.

Работа выполнена в рамках реализации комплексного научного направления 17. «Комплексная антикоррозионная защита, упрочняющие, износостойкие защитные и теплозащитные покрытия» комплексной научной проблемы 17.7. «Лакокрасочные материалы и покрытия на полимерной основе» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года»).

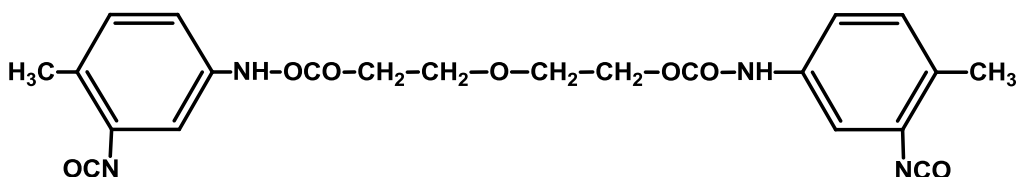
### Материалы и методы

В качестве объектов исследования выбраны эпоксиуретановый лак УР-231 на основе эпоксиалкидной смолы Э-30, а также изоцианатные отвердители:

– ОС-17 – продукт взаимодействия толуилендиизоцианата с триметилолпропаном



– ДГУ – диэтиленгликольуретан



Покрытия на основе лака УР-231 наносили на образцы в соответствии с нормативной документацией.

Качество покрытий оценивали с помощью стандартных методик: прочность при ударе (ГОСТ 4765–73) – на приборе У-1А; прочность пленки покрытия при растяжении (эластичность) – на приборе «Пресс Эриксена» (ГОСТ 29309–2007); адгезию покрытий (ГОСТ 15140–78) – методом решетчатых надрезов на плоских образцах, а также на образцах плат печатного монтажа. Определение твердости проводили в соответствии с ГОСТ 5233–89.

Для покрытий на основе лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 и ДГУ в исходном состоянии и после искусственного старения покрытий по циклу ЛИ-14 согласно ММ-1.595-15-133–2002, определяли следующие электротехнические характеристики: удельное объемное и поверхностное электрическое сопротивление (ГОСТ Р 50499–93), диэлектрическую проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь (при частоте  $10^6$  Гц по ГОСТ 22372–77).

Искусственное старение покрытий проводили по циклу ЛИ-14 при температуре  $-60 \pm 110^\circ\text{C}$  в течение 10 циклов. Метод испытаний ЛКП заключается в циклическом воздействии на испытуемый материал попеременно высокой влажности, а также отрицательных и повышенных температур. Один цикл испытаний соответствует воздействию камеры влажности при  $\varphi=98 \pm 2\%$  и температуре  $23 \pm 2^\circ\text{C}$  в течение 16–16,5 ч; охлаждению при температуре  $-60^\circ\text{C}$  в течение 1 ч; нагреву при температуре  $+110^\circ\text{C}$  в течение 2,5 ч; охлаждению при температуре  $-60^\circ\text{C}$  в течение 1 ч, затем нагреву при температуре  $+110^\circ\text{C}$  в течение 2,5 ч и охлаждению образцов в течение 15 мин.

Водопоглощение покрытия УР-231 определяли в соответствии с ГОСТ 21513–76 – испытания проводили в течение 6 сут.

Устойчивость покрытия УР-231 к спиртонефрасовой смеси определяли в соответствии с ГОСТ 9.403–80 и оценивали по ГОСТ 19007–73.

Грибостойкость покрытия определяли в соответствии с ГОСТ 9.049–91 «Метод лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов» (метод 1). Сущность метода заключается в выдерживании образцов, зараженных суспензией спор

плесневых грибов в воде, в условиях, оптимальных для их развития, с последующей оценкой грибостойкости.

Ускоренные климатические испытания проводили в камере тропического климата в соответствии с СТП 1-595-20-100–2002 «Метод определения тропикостойкости материалов в лабораторных условиях». Сущность метода состоит в том, что исследуемые материалы (ЛКП) подвергают действию повышенной температуры и влажности, изменяющейся по циклическому режиму, имитирующему тепловлажностный режим влажных тропиков, с последующей оценкой изменения одного или нескольких показателей свойств после экспозиции в течение заданного времени. Испытания материалов на тропикостойкость проводят в испытательной камере, позволяющей создавать следующие режимы:

- температура  $50\pm 5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $98\pm 2\%$  в течение 8 ч;
- температура  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $98\pm 2\%$  в течение 12 ч;
- температура  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ , относительная влажность  $50\pm 10\%$  в течение 4 ч.

Оценку свойств ЛКП после ускоренных испытаний проводили визуально, а также по изменению адгезионных, физико-механических и электротехнических свойств покрытий.

### Результаты

Определены технологические свойства лака УР-23 после смешения с отвердителем (табл. 1).

Таблица 1

**Технологические свойства покрытия на основе лака УР-231**

| Технологические свойства   | Значения свойств для лака с отвердителем |            |
|--|--|------------|
|  | ОС-17                                    | ДГУ        |
| Условная вязкость полуфабриката лака по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм при температуре $20\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , с | 13,8                                     |            |
| Массовая доля нелетучих веществ полуфабриката лака, %  | 36,3                                     |            |
| Время высыхания пленки покрытия до степени 3 при температуре $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ , ч   | 5  | 7          |
| Внешний вид лака после введения отвердителя  | Прозрачный                               | Прозрачный |
| Срок годности лака после введения отвердителя (жизнеспособность), ч (не менее)   | 5  | 7          |

Установлено, что образцы с лаком УР-231 как с отвердителем ОС-17, так и с отвердителем ДГУ, по условной вязкости, массовой доле нелетучих веществ, а также внешнему виду лака после введения отвердителя идентичны и полностью соответствуют требованиям ТУ6-21-14–90. Однако следует отметить, что время высыхания пленки покрытия лака УР-231, отвержденного ОС-17, составляет 5 ч (по ТУ – не более 9 ч), а время отверждения пленки покрытия лака УР-231, отвержденного ДГУ, составляет 7 ч. Такая же закономерность наблюдается при определении жизнеспособности лаков УР-231 после введения отвердителей ОС-17 и ДГУ.

Исследовано влияние продолжительности отверждения покрытий на основе лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 и ДГУ, на их твердость. Определение твердости покрытий проводили на маятниковом приборе М-3 – результаты определения приведены на рис. 1.

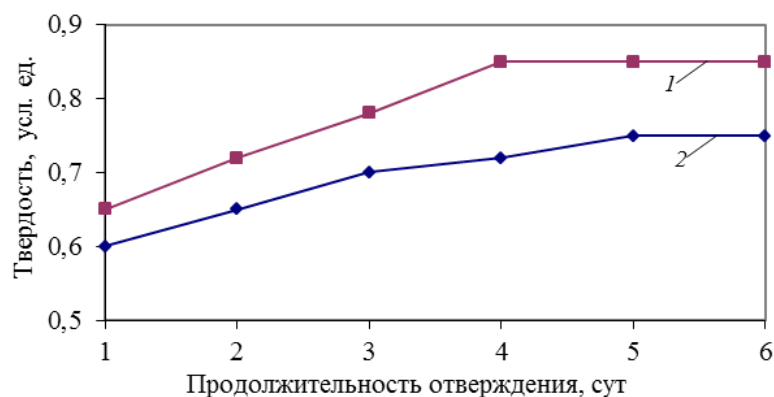


Рис. 1. Зависимость твердости покрытия УР-231 с отвердителями ОС-17 (1) и ДГУ (2) от продолжительности отверждения

Результаты исследования зависимости твердости лака УР-231 от продолжительности отверждения компонентами ОС-17 и ДГУ позволяют определить оптимальные временные режимы формирования покрытия на подложках при естественной сушке. Предельно допустимое время отверждения первого слоя покрытия не должно превышать 24 ч, твердость покрытия, отвержденного отвердителем ДГУ, составляет 80% от максимального значения (0,75 усл. ед.), которое достигается за 5 сут отверждения. Твердость лака УР-231, отвержденного отвердителем ОС-17, за 24 ч отверждения составляет 76% от максимального значения (0,85 усл. ед.), которое достигается за 4 сут отверждения. Покрытие УР-231, отвержденное компонентом ОС-17, обладает более высокой твердостью по сравнению с тем же лаком, отвержденным компонентом ДГУ, а максимальные значения твердости достигаются за меньшее количество времени.

Результаты определения электротехнических характеристик покрытия на основе лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 и ДГУ, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Электротехнические свойства покрытия на основе лака УР-231**

| Свойства                                      | Значения свойств покрытия с отвердителем |                      |                     |  |                     |
|---|--|----------------------|---------------------|--|---------------------|
|   | по ТУ6-21-14-90                          | в исходном состоянии |                     | после искусственного старения по циклу ЛИ-14 |                     |
|   |  | ОС-17                | ДГУ                 | ОС-17  | ДГУ                 |
| Удельное объемное электросопротивление, Ом·см | Не менее $1 \cdot 10^{14}$               | $9,1 \cdot 10^{13}$  | $5,3 \cdot 10^{14}$ | $3,8 \cdot 10^{14}$                          | $3,0 \cdot 10^{15}$ |
| Диэлектрическая проницаемость                 | Не более 4,5                             | 3,4                  | 3,2                 | 3,0  | 3,2                 |
| Тангенс угла диэлектрических потерь           | Не более 0,030                           | 0,026                | 0,020               | 0,024  | 0,021               |

Установлено, что среднее значение удельного объемного электросопротивления ( $\rho_v$ ) лакового покрытия УР-231 с отвердителем ОС-17 в исходном состоянии составляет  $9,1 \cdot 10^{13}$  Ом·см, после искусственного старения  $3,8 \cdot 10^{14}$  (по ТУ – не менее  $1 \cdot 10^{14}$ ); среднее значение  $\rho_v$  для лакового покрытия УР-231 с отвердителем ДГУ в исходном состоянии равно  $5,3 \cdot 10^{14}$  Ом·см, после искусственного старения  $3,0 \cdot 10^{15}$ . Среднее значение диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) лакового покрытия УР-231 с отвердителем ОС-17 в исходном состоянии составляет 3,4, после искусственного старения 3,0 (по ТУ – не более 4,5); среднее значение  $\epsilon$  для лакового покрытия УР-231 с отвердителем ДГУ в исходном состоянии и после искусственного старения равно 3,2. Среднее значение

тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) лакового покрытия УР-231 с отвердителем ОС-17 в исходном состоянии составляет 0,026, после искусственного старения 0,024 (по ТУ – не более 0,03); среднее значение  $\text{tg}\delta$  лакового покрытия УР-231 с отвердителем ДГУ в исходном состоянии равно 0,020, после искусственного старения 0,021.

Из полученных результатов следует, что применение отвердителя ОС-17 для отверждения лака УР-231 не приводит к ухудшению электротехнических характеристик и практически соответствует требованиям ТУ6-21-14–90.

В табл. 3 приведены результаты определения адгезии и физико-механических свойств: твердость покрытия и прочность при ударе, растяжении и изгибе в исходном состоянии и после искусственного старения по циклу ЛИ-14 (10 циклов).

Таблица 3

**Адгезионные и физико-механические свойства покрытия на основе лака УР-231**

| Покрытие<br>(лак+отвердитель)   | Материал<br>подложки | Адгезия, балл                     |                                    | Твер-<br>дость,<br>отн. ед. | Прочность<br>при ударе,<br>см (Дж) | Прочность<br>при<br>растяжении,<br>мм | Прочность<br>при изгибе,<br>мм |
|---|----------------------|-----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
|   |                      | в исход-<br>ном<br>состоя-<br>нии | после<br>10 сут<br>увлаж-<br>нения |                             |                                    |                                       |                                |
| В исходном состоянии  |                      |                                   |                                    |                             |                                    |                                       |                                |
| УР-231+ОС-17  | Д16-АТ<br>Ан.Окс.нхр | 1                                 | 1                                  | 0,63                        | 50 (5,0)                           | 7,2                                   | 1                              |
|   | Образцы<br>плат      | 1                                 | 1                                  | –                           | –                                  | –                                     | –                              |
| УР-231+ДГУ  | Д16-АТ<br>Ан.Окс.нхр | 1                                 | 1                                  | 0,52                        | 50 (5,0)                           | 7,3                                   | 1                              |
|   | Образцы<br>плат      | 1                                 | 1                                  | –                           | –                                  | –                                     | 1                              |
| После искусственного старения по циклу ЛИ-14 при температуре $-60\pm+110^{\circ}\text{C}$ (10 циклов) |                      |                                   |                                    |                             |                                    |                                       |                                |
| УР-231+ОС-17  | Д16-АТ<br>Ан.Окс.нхр | 1                                 | 1                                  | –                           | 50 (5,0)                           | 6,8                                   | 1                              |
|   | Образцы<br>плат      | 1                                 | 1                                  | –                           | –                                  | –                                     | –                              |
| УР-231+ДГУ  | Д16-АТ<br>Ан.Окс.нхр | 1                                 | 1                                  | –                           | 50 (5,0)                           | 6,9                                   | 1                              |
|   | Образцы<br>плат      | 1                                 | 1                                  | –                           | –                                  | –                                     | –                              |

Адгезионные и физико-механические свойства покрытия на основе лака УР-231 как в исходном состоянии, так и после искусственного старения практически одинаковые. Адгезия к сплаву Д16-АТ и к поверхности плат печатного монтажа 1 балл, прочность при ударе 5,0 Дж, эластичность при изгибе 1 мм, эластичность при растяжении в исходном состоянии 7,2–7,3 мм, после искусственного старения 6,8–6,9 мм; твердость покрытия, отвержденного отвердителем ОС-17, составляет 0,63 отн. ед., а покрытия, отвержденного отвердителем ДГУ, равна 0,52 (по маятниковому прибору ТМЛ).

С целью определения влияния отвердителя на влагозащитные свойства лака УР-231 исследована кинетика влагопоглощения покрытий на основе лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 и ДГУ. На рис. 2 приведены кинетические кривые влагопоглощения (сорбции) покрытий на основе лака УР-231. Видно, что покрытие на основе лака УР-231, отвержденного компонентом ОС-17, обладает более высокой водостойкостью – влагопоглощение покрытия за 30 сут испытаний в дистиллированной воде составляет 3,31%, а влагопоглощение покрытия на основе лака УР-231, отвержденного компонентом ДГУ, составляет 3,71%.

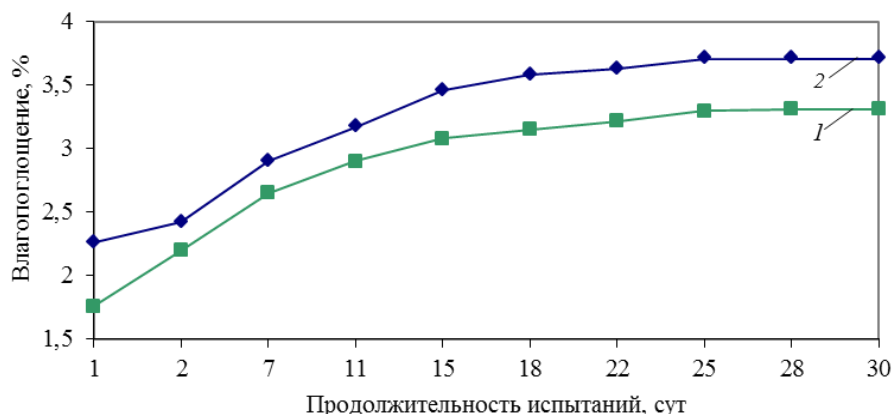


Рис. 2. Кинетика влагопоглощения лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 (1) и ДГУ (2)

Исследована устойчивость покрытия УР-231 к спиртонефрасовой смеси, которую определяли в соответствии с ГОСТ 9.403–80. За критерий устойчивости покрытия после выдержки в спиртонефрасовой смеси принята степень размягчения покрытия и, соответственно, склонность к прилипанию к поверхности бумаги под действием груза 200 г (ГОСТ 19007–73).

Установлено, что покрытие на основе лака УР-231 с отвердителем ОС-17 устойчиво к спиртобензиновой смеси, не уступает по устойчивости покрытию УР-231, отвержденному компонентом ДГУ, и соответствует требованиям ТУ6-10-863–84.

Определен рН водной вытяжки пленок лаковых покрытий в соответствии с требованиями ГОСТ 9.902–81 (метод 1). Установлено, что для пленки покрытия на основе лака УР-231, отвержденного компонентом ОС-17, рН водной вытяжки равен 4,79, а для пленки покрытия на основе лака УР-231 с компонентом ДГУ – рН=4,75. Следует отметить, что независимо от применяемого отвердителя пленка лака УР-231 имеет слабокислую среду.

Определена грибостойкость покрытия после 3 мес испытаний. Установлено, что покрытие на основе лака УР-231 независимо от применяемого отвердителя (ОС-17 или ДГУ) является грибостойким – степень развития грибов – балл 2. Адгезия покрытия после испытаний сохраняется на уровне 1 балла.

Определена устойчивость покрытий на основе лака УР-231 с отвердителями ОС-17 и ДГУ к воздействию тропического климата после 3 мес испытаний (тропикостойкость).

Результаты, полученные после испытаний образцов в камере тропического климата, приведены в табл. 4.

Таблица 4

**Свойства покрытия на основе лака УР-231 после испытаний в камере тропического климата в течение 3 мес**

| Условный номер образца | Покрытие                    | Внешний вид   | Адгезия к сплаву Д16 Ан.Окс.нхр | Прочность при ударе, см (Дж) | Прочность при растяжении (эластичность), мм |
|------------------------|-----------------------------|---------------|---------------------------------|------------------------------|---|
| 1                      | УР-231 с отвердителем ОС-17 | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,1   |
| 2                      |                             | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,2   |
| 3                      |                             | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,1   |
| 4                      | УР-231 с отвердителем ДГУ   | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,4   |
| 5                      |                             | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,3   |
| 6                      |                             | Без изменений | 1                               | 50 (5,0)                     | 7,3   |

Из результатов, приведенных в табл. 4, следует, что внешний вид образцов покрытий после 3 мес испытаний в тропической камере не изменился по сравнению с исходными образцами. Исследования адгезионных и физико-механических характеристик покрытий после испытаний в тропической камере показали, что покрытие на основе лака УР-231 как с отвердителем ОС-17, так и с отвердителем ДГУ сохраняет свои адгезионные и физико-механические свойства на исходном уровне: адгезия – балл 1, прочность при ударе 5,0 Дж, прочность при растяжении (эластичность) составляет 7,1–7,3 мм.

### Обсуждение и заключения

Исследованы технологические, адгезионные, физико-механические и электро-технические свойства, грибостойкость и тропикостойкость покрытий на основе лака УР-231, отвержденного компонентами ОС-17 и ДГУ, в исходном состоянии и после искусственного старения по циклу ЛИ-14 при температурах  $-60\pm 110^{\circ}\text{C}$ , а также их влагозащитные свойства. Показано, что покрытие на основе лака УР-231, отвержденное отвердителем ОС-17, по технологическим, адгезионным, физико-механическим свойствам, влагостойкости, грибостойкости и тропикостойкости не уступает покрытию на основе лака УР-231, отвержденному отвердителем ДГУ. Применение отвердителя ОС-17 снижает продолжительность отверждения лака при окраске плат печатного монтажа и сокращает технологический цикл их изготовления, что способствует повышению производительности труда.

На основании полученных результатов испытаний можно сделать вывод, что по основным эксплуатационным свойствам покрытие на основе лака УР-231 соответствует требованиям ТУ6-21-14-90. Отвердитель ОС-17 может быть использован для отверждения лака УР-231 взамен отвердителя ДГУ.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГУП «ВИАМ» А.А. Силаевой и Г.Г. Шаповалову, а также сотрудникам АО «НПО автоматики» Л.В. Курышевой и А.Е. Воронину за обсуждение результатов и объективную критику при написании данной статьи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. История авиационного материаловедения. ВИАМ – 80 лет: годы и люди / под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: ВИАМ, 2012. С. 319–329.
2. Каблов Е.Н. Материалы и химические технологии для авиационной техники // Вестник Российской академии наук. 2012. Т. 82. №6. С. 520–530.
3. Каблов Е.Н. Роль химии в создании материалов нового поколения для сложных технических систем // XX Менделеевский съезд по общей и прикладной химии: тез. докл. в 5 т. УрО РАН, 2016. С. 25–26.
4. Каблов Е.Н. Химия в авиационном материаловедении // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
5. Каблов Е.Н. Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России // Интеллект и технологии. 2016. №2 (14). С. 16–21.
6. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А., Малова Н.Е. Развитие авиационных лакокрасочных материалов // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №5. С. 49–54.
7. Кипинг Д. Оценка эффективности и стоимости новых видов влагозащитных покрытий (из материалов симпозиума SMTA Pan Pac, январь 2008 г.) // Технологии в электронной промышленности. 2008. №6. С. 66–71.

8. Уразаев В. Влагозащитные полимерные покрытия: какие бывают // Технологии в электронной промышленности. 2005. №5. С. 52–55.
9. Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Кондрашов Э.К., Лебедева Т.А. Лакокрасочные материалы с пониженным содержанием вредных и токсичных компонентов для окраски агрегатов и конструкций из ПКМ // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2013. №8. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2018).
10. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Лебедева Т.А., Семенова Л.В. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
11. Нефедов Н.И., Семенова Л.В. Тенденции развития в области конформных покрытий для влагозащиты и электроизоляции плат печатного монтажа и элементов радиоэлектронной аппаратуры // Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 50–52.
12. Medgyes B.K., Ripka G. Qualifying methods of conformal coatings used on assembled printed circuit boards Electronics Technology Journal // 30-th International Spring Seminar, 9–13 May. 2007. Budapest Univ. of technol. & Econ. Budapest, 2007. P. 429–433.
13. Солнцев С.Ст., Соловьева Г.А., Денисова В.С. Электроизоляционные эмалевые покрытия для современной электронной техники // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2014. №9. Ст. 08. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-9-8-8.
14. Нефедов Н.И., Салихов Т.Р., Мельников Д.А. Исследование процессов отверждения электроизоляционных лаков // Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2016. №6. Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 09.06.2018). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-9-9.
15. Papaj Douglas E.A., Mills Sina J., Jamali S. Effect of hardener variation on protective properties of polyurethane coating // Progress in Organic Coatings. 2014. Vol. 77. Part B. P. 2086–2090.
16. Avar G., Meier-Westhues U., Casselmann H., Achten D. Polyurethanes // Polymer Science: A Comprehensive Reference. 2012. Vol. 10. P. 411–441.