

Научная статья

УДК 678.026

DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-7-81-91

СПОСОБЫ УДАЛЕНИЯ ВЛАГОЗАЩИТНЫХ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

М.С. Кожухаров¹, К.Р. Ахмадиева¹, В.В. Боков¹, Д.А. Измалков¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Проведен анализ данных научно-технической литературы, касающейся основных способов удаления влагозащитных электроизоляционных покрытий с печатных плат и узлов при их ремонте и доработке. Показаны особенности, преимущества и недостатки удаления электроизоляционных покрытий с помощью растворения, отслаивания, механического, термического и микроструйного методов. Рассмотрены указанные способы удаления для полиуретановых, эпоксидных, акриловых, кремнийорганических и париленовых электроизоляционных покрытий, определены наиболее оптимальные методы в зависимости от природы материала.

Ключевые слова: печатные платы, влагозащитные покрытия, электроизоляционные покрытия, ремонтпригодность, удаление покрытия

Для цитирования: Кожухаров М.С., Ахмадиева К.Р., Боков В.В., Измалков Д.А. Способы удаления влагозащитных электроизоляционных покрытий // Труды ВИАМ. 2025. № 7 (149). Ст. 06. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-7-81-91.

Scientific article

METHODS OF REMOVAL OF MOISTURE-PROOF ELECTRICAL INSULATING COATINGS

M.S. Kozhukharov¹, K.R. Akhmadieva¹, V.V. Bokov¹, D.A. Izmalkov¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The article analyzes the scientific and technical literature data concerning the main methods of removing moisture-proof electrical insulation coatings from printed circuit boards and assemblies during their repair and modification. Characteristics, advantages and disadvantages of the removal of electrical insulation coatings by dissolution, peeling, mechanical, thermal and micro-jet methods are presented. The above methods mentioned for polyurethane, epoxy, acrylic, organosilicon and parylene electrical insulation coatings are considered and the most optimal methods depending on the nature of the material are determined.

Keywords: printed circuit boards, moisture-protective coatings, electrical insulating coatings, reparability, coating removal

For citation: Kozhukharov M.S., Akhmadieva K.R., Bokov V.V., Izmalkov D.A. Methods of removal of moisture-proof electrical insulating coatings. *Trudy VIAM*, 2025, no. 7 (149), paper no. 06. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2025-0-7-81-91.

Введение

В последние годы наблюдается значительный рост электронной промышленности в мире. Печатные платы, являющиеся основным элементом электронных устройств, находят применение в автомобильной электронике, теле- и радиокommunikациях, медицине, бытовых приборах, оборонной и аэрокосмической промышленности. Современное электронное оборудование становится все компактнее, умнее и эффективнее, а условия его эксплуатации более экстремальными (повышенная и криогенная температуры, ионизирующее излучение, вибрация и удары).

Для сохранения надежности микроэлектроники в течение длительного срока службы в мире разработаны современные защитные лаковые композиции. Материалы для формирования покрытий на поверхности печатных плат представляют собой жидкие составы, включающие либо раствор полимера, либо раствор олигомера с инициатором полимеризации, либо раствор олигомера или полимера с отвердителем. Составы наносятся на поверхность платы различными методами. К основным характеристикам покрытий для печатных плат относят функциональные свойства: влаго-, термо- и теплостойкость, физико-механические и электрические свойства.

Помимо этого, электроизоляционное покрытие должно обладать определенными свойствами с позиций как разработки качественного лакокрасочного материала и его успешной эксплуатации, так и экономической составляющей дальнейшего производства. Одним из таких свойств является ремонтпригодность влагозащитного покрытия, которая заключается в возможности его частичного или полного снятия с подложки без ее повреждения. Наиболее распространенным методом снятия слоя лакокрасочного покрытия (ЛКП), подлежащего замене, является размягчение или полное растворение растворителями или их смесями. Этот способ позволяет в дальнейшем восстановить покрытие практически без изменения его свойств [1]. Материалы, способные после нанесения растворяться и покинуть поверхность подложки, называют смываемыми или частично смываемыми. Для смываемых материалов используют термопласты или слабо сшитые реактопласты. Сильно сшитые сетчатые полимеры в подавляющем большинстве случаев являются неплавкими и нерастворимыми системами, которые можно удалить с поверхности подложки только механическим способом. Тогда возникает опасность повреждения печатной платы и увеличения трудозатрат на ее ремонт и обслуживание.

В данной статье рассмотрены основные методы удаления электроизоляционных покрытий, выделены наиболее подходящие из них в зависимости от химической природы ЛКП.

Работа проведена в рамках реализации стратегического 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») [2].

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Способы удаления влагозащитных электроизоляционных покрытий

При ремонте и доработке печатных узлов может возникнуть необходимость локально или полностью удалить влагозащитное лаковое покрытие. Особое внимание этому процессу уделяют при ремонте дорогостоящих печатных узлов, в том числе применяемых в изделиях специального назначения. Удаление лаков с поверхности печатных узлов регламентируется ГОСТ Р 55491–2013 «Платы печатные. Правила восстановления и ремонта».

Покрытия удаляются одним из приведенных методов или их совокупностью [1, 3]:

- растворный;
- механическая очистка, в том числе отслаивание;
- термический;
- микроструйный.

Данные способы удаления подходят для всех видов печатных плат: жестких, гибких, гибко-жестких, с объемным электрическим монтажом, гибких печатных кабелей и др. [4].

Удаление покрытий растворным способом основано на воздействии агрессивных физических или химических сред на полимерный материал. Отнесение той или иной среды к физически или химически агрессивным средам определяется реакционной и растворяющей способностью ее компонентов, а также природой пленкообразователя: химическим составом и структурой, наличием функциональных групп, характеристиками основных связей в макромолекуле, средством к компонентам смывающего агента [1, 5].

Как правило, удаление методом растворения осуществляется с помощью смывок на основе органических растворителей и смывок на основе кислот, щелочей и солей. Последние являются агрессивными соединениями, что ограничивает их использование при ремонте печатных узлов [6]. Содержащиеся в них соли, кислоты и щелочи отрицательно воздействуют на электрические характеристики печатных плат, поэтому после удаления покрытия стадия промывки деионизированной водой является обязательной.

Смывки на основе органических растворителей воздействуют физически, зачастую вызывая обратимые изменения в морфологии ЛКП – набухание и растворение [7], что способствует его беспрепятственному удалению. Для очистки поверхности печатных плат от лаковых покрытий используются различные растворители, которые также подходят для формирования лакокрасочной среды: ацетон, толуол, ксилол, бутиловый спирт, этилцеллозольв и др. [8]. В данных и подобных веществах большинство несшитых полимеров набухает и размягчается, а в предельном случае – растворяется. В состав некоторых органических смывок для удаления ЛКП входят хлорпроизводные углеводородов (метилхлорид, трихлорэтилен в составе смывок СП-6, СП-7, СЭУ-1, СЭУ-2 и др. [1]). Однако в последнее время в мире наблюдается тенденция к снижению частоты использования таких растворителей в силу высокой токсичности и летучести [9–11], несмотря на их способность смывать даже сшитые пленкообразователи. Помимо этого, хлорпроизводные углеводородов могут повредить печатную плату, состоящую из полимерного композиционного материала. Зарубежные фирмы, производящие влагозащитные лаки, часто разрабатывают собственные смывки для того или иного типа лака (смывки линейки Stripper от фирмы HumiSeal, очиститель FLUX-OFF от фирмы Cramolin и др.).

Использование органических веществ, обладающих растворяющей способностью по отношению к полимерным пленкообразователям, является мягким и щадящим методом удаления покрытия с окрашенной поверхности. Однако важно помнить, что некоторые растворители способны вызвать увеличение объема или вздутие композиционного полимерного материала, из которого состоит печатная плата [3, 4].

Для снятия отвержденного лака с поверхности печатного узла растворитель наносят с помощью тампона и по истечении времени, необходимого для размягчения или растворения ЛКП, аккуратно удаляют с помощью щеток, кисточек или ветоши. При удалении методом растворения допускается небольшой нагрев для интенсификации процесса набухания и растворения пленкообразователя. Допускается полное погружение печатной платы в емкость с растворителем [3].

Для удаления покрытия механическим методом (шлифование, зачистка и др.) обычно применяют нож, скальпель или бормашину. В процессе могут использоваться подходящие абразивные материалы, а также фрезы сферической формы [3]. Как и при других способах удаления, важно уделить внимание риску повреждения поверхности печатного узла, при этом твердость электроизоляционного покрытия имеет особое значение при выборе данного метода.

Метод отслаивания относится к механическим вариациям удаления лаковых покрытий с поверхности печатных узлов. Этот метод можно использовать только в некоторых случаях для удаления отвержденных при комнатной температуре кремнийорганических лаков или других толстых резиноподобных материалов [3]. Согласно ГОСТ Р 55491–2013, покрытие подрезают, отслаивают и удаляют с помощью ножа, тщательно контролируя процесс, чтобы избежать повреждений поверхности печатной платы, поскольку большинство влагозащитных электроизоляционных покрытий представляют собой твердые материалы [12].

Термический метод удаления применяют для замены паяльной маски и очистки плат от толстых слоев покрытий. Ключевым условием для применения этого способа является относительно низкая температура размягчения покрытия. Сшитые и неплавкие пленкообразователи таким методом удалить невозможно. В процессе используются специальные нагревательные элементы различной формы с регулируемой температурой либо контролируемый поток горячего воздуха или инертного газа. При этом материал покрытия либо сдувается струей, либо удаляется с помощью неповреждающих инструментов [3]. Однако термический метод удаления считается наименее предпочтительным, так как для успешного удаления большинства покрытий требуется длительное воздействие высокой температуры [12]. Кроме того, термическое прожигание может повредить многие компоненты печатной платы, а термическое разложение материалов сопровождается выделением токсичных летучих веществ.

Удаление покрытия микроструйным методом представляет собой одну из разновидностей пневмоабразивных способов. Этот метод предполагает использование микроструйной абразивной системы с мелкими частицами и соплом малого диаметра. Влагозащитное электроизоляционное покрытие разрушается за счет абразивного износа, возникающего в результате столкновения твердых частиц с поверхностью при высокоскоростной подаче смеси абразива и воздуха [1, 13]. Применение микроструйного метода может сопровождаться образованием электростатических зарядов, поэтому печатный узел должен быть заземлен, что усложняет процесс удаления покрытия [3]. Однако эта проблема может быть решена за счет использования абразивов из диэлектрических материалов [14].

Традиционно для удаления ЛКП в качестве абразивных материалов применяют кварцевый песок, чугунную, стальную и алюминиевую дробь и крошку. Однако из-за особенностей материалов, используемых в производстве печатных плат, рекомендуется снизить твердость частиц и применять аэродисперсии из более мягких абразивов, таких как пластиковый бисер, сода, косточковая крошка и др. В качестве абразива также можно использовать скорлупу грецкого ореха, что делает данный метод экологически безопасным [14].

Для реализации микроструйного абразивного метода необходимы специальные установки. Некоторое время в нашей стране активно использовали установку Swam Blaster Turbo Max (производства компании Crystal Mark, США), затем группа компаний «Остек» разработала первую отечественную установку для микроабразивного удаления «Борей». С помощью установки «Борей» можно качественно очистить поверхности печатных узлов от различных видов традиционных отечественных материалов (УР-231,

Э-30, ЭД-20, ЭП-9114), париленовых покрытий (Parylene C, N, D), а также от современных лаков (HumiSeal 1A68, 1A33, 1R32A-2, 1B73; Dow Corning 3140, 2577), включая лаки ультрафиолетового отверждения (HumiSeal UV40, UV-50LV, UV500) [15, 16]. Помимо указанных установок, в мире также широко применяются установки Swam Blaster (производства компании Crystal Mark, США) моделей EV-2, MV-2, LV-1 [17, 18] и др., а также установки ProCenter Plus с системой пневматической подачи микроабразивного материала AccuFlo (производства компании Comco Inc., США) [19].

Далее рассмотрена применимость перечисленных методов к электроизоляционным покрытиям различной химической природы.

Способы удаления полиуретановых электроизоляционных покрытий

Активно используемые полиуретановые электроизоляционные покрытия обладают необходимыми диэлектрическими свойствами, влагостойкостью, стойкостью к истиранию, твердостью и являются экономичными материалами [8, 20].

Растворение широко применяется для удаления полиуретановых влагозащитных лаков с поверхности печатных плат в силу доступности растворителей, характеризующихся различной скоростью растворения и селективностью по отношению к полимерным материалам. Например, покрытие на основе полиуретанового лака HumiSeal 1A33 [21] удаляется смывкой HumiSeal Stripper 1063, в состав которой входит метанол и гидроксид калия [22]. По данным работы [12], полиуретановые влагозащитные покрытия удаляются также с помощью этиленгликолевого эфира в композиции с щелочным активатором и изопропиловым спиртом. Несмотря на растворимость полиуретановых пленкообразующих, используемых в производстве лаков для печатных плат, часто после обработки растворителями требуется механическая обработка поверхности от остатков покрытия [23], после которой обязательно проводится промывание платы деионизированной водой.

Для удаления полиуретановых покрытий не рекомендуется использовать термические методы: при высокой температуре полиуретаны разлагаются, выделяя токсичные вещества. Рациональность использования механических методов удаления зависит от твердости полиуретанового пленкообразователя, которая, в свою очередь, определяется природой пленкообразователя, однако имеется высокая вероятность выхода из строя печатной платы.

Рекомендуется удаление полиуретановых покрытий микроструйным абразивным методом. При правильно подобранном абразиве процесс удаления таких покрытий занимает несколько минут [12, 15], в то время как при удалении с помощью растворителей требуется длительная выдержка [24].

Способы удаления эпоксидных электроизоляционных покрытий

Эпоксидные лаки для печатных плат представляют собой преимущественно двухкомпонентные системы [8, 25, 26]. Эпоксидные покрытия обладают высокой стойкостью к влаге и растворителям, твердостью и часто – хорошими оптическими характеристиками, но имеют небольшую жизнеспособность, трудно ремонтируются: с больших участков их практически нельзя удалить малоагрессивными смывками без повреждения материалов печатной платы [24, 27].

Удаление эпоксидных композиций с печатных плат шлифованием и отслаиванием неактуально из-за их высокой твердости и пониженной эластичности [8, 12]. Однако эти методы находят применение на отечественных предприятиях, связанных с производством радиоэлектронной аппаратуры. Кроме того, в силу высокой химической стойкости эпоксидные влагостойкие покрытия полностью не удаляются с поверхности печатных узлов растворителями.

Термические методы удаления не сопровождаются выделением токсичных продуктов разложения эпоксидных пленкообразующих, поэтому применяются для снятия эпоксидных влагозащитных покрытий, если позволяет природа полимера [12]. При использовании этого метода важно помнить о легкости повреждения печатной платы.

Рабочие станции для микроструйного абразивного удаления подходят для более качественного очищения поверхности печатных узлов от эпоксидных влагозащитных покрытий [15, 16, 23].

Способы удаления акриловых электроизоляционных покрытий

В общем случае для покрытий на основе термопластичных полиакрилатов характерна высокая атмосферо- и светостойкость [20]. Они бесцветны, хорошо шлифуются и полируются, подвержены размягчению при повышенной температуре [8, 28]. Терморезистивные полиакрилаты образуют пленки с высокой механической прочностью, адгезией к металлам, водо-, бензо- и химической стойкостью [8]. В связи с особенностями химической структуры, физико-механических свойств и морфологии для удаления акриловых ЛКП можно применять все известные способы [12].

Акриловые покрытия легко удаляются с поверхности печатных плат под действием органических растворителей за счет хорошей растворимости в них [8, 20]. Например, при применении смесей различных составов из кетонов, ксилола, спиртов, ацетатов удаление покрытий занимает от 2 до 7 мин [24]. Благодаря данному свойству акриловых пленкообразователей легко выбрать подходящий растворитель как экспериментальным, так и расчетным способом [29] и удалить покрытие.

За счет сравнительно низких температур размягчения акриловых полимеров такие покрытия можно удалять термическими и механическими способами. Акриловые ЛКП легко соскабливаются, если нанесены тонким слоем [12, 24]. Метод микроструйной очистки поверхности также позволяет легко удалить акриловые покрытия [12].

Способы удаления кремнийорганических электроизоляционных покрытий

Кремнийорганические покрытия гибкие, негорючие, обладают отличной влаго- и химической стойкостью, но трудно ремонтируются, требуют модификации для стабилизации свойств (таких как слабая адгезия, недостаточная стойкость к минеральным маслам) [8, 20, 30].

Поскольку электроизоляционные покрытия на основе кремнийорганических полимеров обладают хорошей гибкостью, рекомендуется их удалять отслаиванием [3].

В связи с высокой химической стойкостью удаление таких покрытий методом растворения возможно только в случае использования либо очень активных растворителей (метиленхлорид и др. [12]), либо специфических менее активных растворителей на основе углеводов и кислотных активаторов при длительной выдержке. Как и в случае с полиуретановыми покрытиями, кремнийорганические покрытия выдерживают в растворителе, пока они не станут легко отделяться от материала печатной платы, и удаляют механически.

Микроабразивный метод также применяется для удаления кремнийорганических влагозащитных лаков. Свежие покрытия небольшой толщины удаляются хорошо, старые или толстослойные – сложнее и дольше [12].

Способы удаления париленовых электроизоляционных покрытий

Париленовые (полипараксилиленовые) покрытия обладают высоким уровнем электроизоляционных свойств, влаго- и химической стойкости, а также стойкости к истиранию [12]. Такие покрытия сложно и трудоемко формируются, что является

лимитирующим фактором их распространения: соответствующий димер (дипараксиллен) испаряется и подвергается разложению на мономеры и радикалы, которые впоследствии осаждаются на поверхности и взаимодействуют друг с другом в процессе полимеризации.

Для удаления париленовых покрытий применимы механические методы и микроабразивная очистка, ограниченно – термические методы и растворение [12]. В качестве растворителя используется тетрагидрофуран, в котором плата с покрытием выдерживается 2–4 ч. В других более доступных растворителях париленовые пленкообразующие не растворяются, поэтому использование данного способа в качестве основного нецелесообразно.

Заключения

Оптимальный способ удаления влагозащитного электроизоляционного покрытия определяется его химической природой, толщиной нанесенного слоя и площадью необходимой обработки. При удалении влагозащитного покрытия с поверхности печатной платы также необходимо учитывать тип материалов, из которых она сделана.

В таблице приведены наиболее предпочтительные методы удаления влагозащитных покрытий в зависимости от вида пленкообразующего.

Предпочтительные методы удаления различных типов покрытий

Тип влагостойкого электроизоляционного покрытия	Предпочтительные методы удаления
Полиуретановые	<ul style="list-style-type: none"> • Микроструйный пневмоабразивный (в зависимости от толщины покрытия) • Растворение • Растворение в комбинации с механическим
Эпоксидные	<ul style="list-style-type: none"> • Микроструйный пневмоабразивный • Растворение (только частичное удаление) • Термический
Акриловые	<ul style="list-style-type: none"> • Микроструйный пневмоабразивный • Растворение • Термический • Механический
Кремнийорганические	<ul style="list-style-type: none"> • Микроструйный пневмоабразивный • Растворение в комбинации с механическим • Растворение • Механический (в зависимости от толщины и площади покрытия)
Париленовые	<ul style="list-style-type: none"> • Микроструйный пневмоабразивный • Механический • Термический

Удаление влагозащитных электроизоляционных покрытий методом растворения остается наиболее доступным и широко применяемым способом, однако в последние годы его использование сокращается из-за токсичности растворителей. В настоящее время одним из наиболее эффективных, экологически безопасных и универсальных способов удаления практически всех типов таких покрытий является микроструйный пневмоабразивный метод. Однако его применение требует наличия специализированного оборудования.

Подводя итог, можно отметить, что непрерывное развитие электронной промышленности диктует необходимость создания новых материалов для печатных плат, совершенствования технологий их производства и ремонта. При этом особое внимание следует уделять внедрению «зеленых» технологий, а также вопросам утилизации и экологической безопасности [31–34].

Список источников

1. Ицко Э.Ф. Удаление лакокрасочных покрытий. Л.: Химия, 1991. 96 с.
2. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. № 1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. ГОСТ Р 55491–2013. Платы печатные. Правила восстановления и ремонта. М.: Стандартинформ, 2014. 43 с.
4. Брусницына Л.А., Степановских Е.И. Технология изготовления печатных плат. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 200 с.
5. Hansen C. Hansen solubility parameters: a user's handbook. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007. 520 p.
6. Фомина М.А., Захаров К.Е., Волков И.А., Иванов А.Л. Изучение коррозионной агрессивности смывок отечественного и зарубежного производства, применяемых для удаления ЛКП // *Труды ВИАМ*. 2021. № 12 (106). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.03.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-73-85.
7. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения: в 2 ч. М.: Юрайт, 2020. Ч. 1. 365 с.
8. Сорокин М.Ф., Кочнова З.А., Шодэ Л.Г. Химия и технология пленкообразующих веществ: учеб. для вузов. М.: Химия, 1989. 480 с.
9. US EPA. Scope of the Risk Evaluation for Methylene Chloride. United States Environmental Protection Agency, 2017. 72 p.
10. Roelofs C.R., Ellenbecker M.J. Source reduction for prevention of methylene chloride hazards: Cases from four industrial sectors // *Environmental Health*. 2003. Vol. 2. P. 1–15. DOI: 10.1186/1476-069X-2-9.
11. Семенова Л.В., Новикова Т.А., Нефедов Н.И. Изучение смывающей способности смывок для удаления систем лакокрасочных покрытий // *Авиационные материалы и технологии*. 2017. № 1 (46). С. 32–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-32-37.
12. Horrocks H. Conformal coating removal techniques // *Circuit World*. 1997. Vol. 24. No. 1. P. 13–19. DOI: 10.1108/030561201998000002.
13. Яковлев А.Д., Яковлев С.А. Лакокрасочные покрытия функционального назначения. СПб.: Химиздат, 2016. 272 с.
14. Полухин О. Комплексные решения удаления влагозащитных покрытий // *Технологии в электронной промышленности*. 2015. № 1. С. 62–63.
15. Поцелуев Д. Абразив спешит на помощь. Часть 2. Первая российская установка микроабразивного удаления влагозащитных покрытий «Борей» // *Вектор высоких технологий*. 2017. № 1. С. 48–52.
16. Установка «Борей» для микроабразивного удаления влагозащитных покрытий и обработки поверхностей. URL: <https://borey-ostec.ru/> (дата обращения: 27.02.2025).
17. Модели установок Swam Blaster для микроабразивного удаления покрытий. URL: <https://www.crystalmarkinc.com/all-products/swam-blaster-micro-abrasive-blasters/> (дата обращения: 27.02.2025).
18. Cummings R., Parekh N., Clatterbuck C., Frades F. Evaluation of ESD Effects During Removal of Conformal Coatings Using Micro Abrasive Blasting. 1997. URL: <https://nepp.nasa.gov/docuploads/3CBC367A-90B1-4A89-B96813B68AA399B2/microabr.pdf> (дата обращения: 28.02.2025).
19. Установки для микроабразивного удаления AccuFlo. URL: <https://comcoinc.com/equipment/accuflo/#> (дата обращения: 27.02.2025).

20. Брок Т., Гротеклаус М., Мишке П. Европейское руководство по лакокрасочным материалам и покрытиям. М.: Пэйнт-Медиа, 2013. 276 с.
21. CHASE Corp. HumiSeal 1A33. Urethane Conformal Coating Technical Data Sheet. URL: <https://chasecorp.com/humiseal1/wp-content/uploads/sites/12/2018/10/1A33-TDS.pdf> (дата обращения: 03.03.2025).
22. Humiseal Stripper 1063. Safety Data Sheet. CHASE Corp., 2015. URL: https://assets.testequity.com/te1/Documents/pdf/HumiSeal/Humiseal_S1063-QUART_Stripper_Coat_Datasheet.pdf (дата обращения: 03.03.2025).
23. Поцелуев Д. Абразив спешит на помощь. Технологичное решение для удаления влагозащитных покрытий УР-231, Э-30, ЭД-20 и парилена // Вектор высоких технологий. 2014. № 7. С. 60–64.
24. Lu T., Reimonn G., Morose G. et al. Removing Acrylic Conformal Coating with Safer Solvents for Re-Manufacturing Electronics // *Polymers*. 2021. No. 13. P. 1–14.
25. Кочнова З.А., Жаворонок Е.С., Чалых А.Е. Эпоксидные смолы и отвердители: промышленные продукты. М.: Пэйнт-Медиа, 2006. 200 с.
26. Кузнецова В.А., Марченко С.А., Емельянов В.В., Железняк В.Г. Исследование влияния молекулярной массы эпоксидных олигомеров и отвердителей на эксплуатационные свойства лакокрасочных покрытий // *Авиационные материалы и технологии*. 2021. № 1 (62). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 06.03.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
27. 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.
28. Борисова Л.Н., Шестаков А.К., Тарасов А.И. Фольгированные материалы для изготовления печатных плат // *Электронные компоненты*. 2001. № 5. С. 51–54.
29. Díaz de los Ríos M., Hernández Ramos E. Determination of the Hansen solubility parameters and the Hansen sphere radius with the aid of the solver add-in of Microsoft Excel // *SN Applied Science*. 2020. Vol. 2. P. 1–7. DOI: 10.1007/s42452-020-2512-y.
30. Лившиц М.Л., Пшиялковский Б.И. Лакокрасочные материалы: справочное пособие. М.: Химия, 1982. 360 с.
31. Каблов Е.Н. Без новых материалов – нет будущего // *Металлург*. 2013. № 12. С. 4–8.
32. Каблов Е.Н., Антипов В.В. Роль материалов нового поколения в обеспечении технологического суверенитета Российской Федерации // *Вестник Российской академии наук*. 2023. Т. 93. № 10. С. 907–916.
33. Оспенникова О.Г., Козлова А.А., Козлов И.А. Лазерные технологии для удаления лакокрасочных покрытий в процессе ремонта и обслуживания авиационной техники (обзор) // *Труды ВИАМ*. 2021. № 4 (98). Ст. 09. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 03.03.2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-4-110-123.
34. Козлова А.А., Кондратьева О.В., Кузнецова В.А. Основные проблемы применения влагозащитных электроизоляционных материалов отечественного производства для автоматизированного селективного нанесения на печатные узлы (обзор) // *Авиационные материалы и технологии*. 2022. № 4 (69). Ст. 07. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 06.03.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-72-83.

References

1. Itzko E.F. *Removal of paint and varnish coatings*. Leningrad: Khimiya, 1991, 96 p.
2. Kablov E.N. Innovative developments of FSUE «VIAM» SSC of RF on realization of «Strategic directions of the development of materials and technologies of their processing for the period until 2030». *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2015, no. 1 (34), pp. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
3. State Standard R 55491–2013. *Printed circuit boards. Rules for restoration and repair*. Moscow: Standartinform, 2014, 43 p.
4. Brusnitsyna L.A., Stepanovskikh E.I. *Printed circuit board manufacturing technology*. Ekaterinburg: Ural University, 2015, 200 p.

5. Hansen C. *Hansen solubility parameters: a user's handbook*. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2007, 520 p.
6. Fomina M.A., Zakharov K.E., Volkov I.A., Ivanov A.L. Research of the corrosion aggressiveness of strippers of native and foreign production used for removal of paint coatings. *Trudy VIAM*, 2021, no. 12 (106), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 03, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-12-73-85.
7. Kireev V.V. *High-molecular compounds*: in 2 parts. Moscow: Yurait, 2020, part 1, 365 p.
8. Sorokin M.F., Kochnova Z.A., Shode L.G. *Chemistry and technology of film-forming substances*: textbook for universities. Moscow: Khimiya, 1989, 480 p.
9. US EPA. *Scope of the Risk Evaluation for Methylene Chloride*. United States Environmental Protection Agency, 2017, 72 p.
10. Roelofs C.R., Ellenbecker M.J. Source reduction for prevention of methylene chloride hazards: Cases from four industrial sectors. *Environmental Health*, 2003, vol. 2, pp. 1–15. DOI: 10.1186/1476-069X-2-9.
11. Semenova L.V., Novikova T.A., Nefedov N.I. Study of removing ability of removers for paint systems removal. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 1 (46), pp. 32–37. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-1-32-37.
12. Horrocks H. Conformal coating removal techniques. *Circuit World*, 1997, vol. 24, no. 1, pp. 13–19. DOI: 10.1108/030561201998000002.
13. Yakovlev A.D., Yakovlev S.A. *Functional paint and varnish coatings*. St. Petersburg: Khimizdat, 2016, 272 p.
14. Polukhin O. Integrated solutions for removing moisture-protective coatings. *Tekhnologii v elektronnoy promyshlennosti*, 2015, no. 1, pp. 62–63.
15. Potseluev D. Abrasive to the rescue. Part 2. The first Russian installation for micro-abrasive removal of moisture-protective coatings «Borey». *Vektor vysokikh tekhnologiy*, 2017, no. 1, pp. 48–52.
16. *Installation «Borey» for micro-abrasive removal of moisture-protective coatings and surface treatment*. Available at: <https://borey-ostec.ru/> (accessed: February 27, 2025).
17. *Swam Blaster Micro-Abrasive Coating Removal Unit Models*. Available at: <https://www.crystallmarkinc.com/all-products/swam-blaster-micro-abrasive-blasters/> (accessed: February 27, 2025).
18. Cummings R., Parekh N., Clatterbuck C., Frades F. *Evaluation of ESD Effects During Removal of Conformal Coatings Using Micro Abrasive Blasting*, 1997. Available at: <https://npp.nasa.gov/docuploads/3CBC367A-90B1-4A89-B96813B68AA399B2/microabr.pdf> (accessed: February 28, 2025)
19. *AccuFlo Micro-Abrasive Removal Units*. Available at: <https://comcoinc.com/equipment/accuflo/#> (accessed: February 27, 2025).
20. Brock T., Groteklaus M., Mischke P. *European Paints and Coatings Guide*. Moscow: Paint-Media, 2013, 276 p.
21. *CHASE Corp. HumiSeal 1A33. Urethane Conformal Coating Technical Data Sheet*. Available at: <https://chasecorp.com/humiseal1/wp-content/uploads/sites/12/2018/10/1A33-TDS.pdf> (accessed: March 03, 2025).
22. *Humiseal Stripper 1063. Safety Data Sheet*. CHASE Corp., 2015. Available at: https://assets.testequity.com/te1/Documents/pdf/HumiSeal/Humiseal_S1063-QUART_Stripper_Coat_Datasheet.pdf (accessed: March 03, 2025).
23. Potseluev D. Abrasive rushes to the rescue. Technological solution for removing moisture-protective coatings UR-231, E-30, ED-20 and parylene. *Vektor vysokikh tekhnologiy*, 2014, no. 7, pp. 60–64.
24. Lu T., Reimonn G., Morose G. et al. Removing Acrylic Conformal Coating with Safer Solvents for Re-Manufacturing Electronics. *Polymers*, 2021, no. 13, pp. 1–14.
25. Kochnova Z.A., Zhavoronok E.S., Chalykh A.E. *Epoxy resins and hardeners: industrial products*. Moscow: Paint-Media, 2006, 200 p.

26. Kuznetsova V.A., Marchenko S.A., Emelyanov V.V., Zheleznyak V.G. Study of the influence of molecular mass of epoxy oligomers and hardeners on the operational properties of paint coatings. *Aviation materials and technology*, 2021, no. 1 (62), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 06, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-1-71-79.
27. Nefyodov N.I., Semyonova L.V. Development tendencies in the field on conformal coating for the moisture protection and electrical insulation of printed-circuit boards and electronic elements. *Aviacionnyye materialy i tehnologii*, 2013, no. 1, pp. 50–52.
28. Borisova L.N., Shestakov A.K., Tarasov A.I. Foiled materials for the manufacture of printed circuit boards. *Elektronnyye komponenty*, 2001, no. 5, pp. 51–54.
29. Díaz de los Ríos M., Hernández Ramos E. Determination of the Hansen solubility parameters and the Hansen sphere radius with the aid of the solver add-in of Microsoft Excel. *SN Applied Science*, 2020, vol. 2, pp. 1–7. DOI: 10.1007/s42452-020-2512-y.
30. Livshits M.L., Pshiyalkovskiy B.I. *Paints and varnishes: a reference manual*. Moscow: Khimiya, 1982, 360 p.
31. Kablov E.N. No future without new materials. *Metallurg*, 2013, no. 12, pp. 4–8.
32. Kablov E.N., Antipov V.V. The role of new generation materials in ensuring the technological sovereignty of the Russian Federation. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2023, vol. 93, no. 10, pp. 907–916.
33. Ospennikova O.G., Kozlova A.A., Kozlov I.A. Laser technology to remove paint coatings in the process of repair and maintenance of aircraft (review). *Trudy VIAM*, 2021, no. 4 (98), paper no. 09. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: March 03, 2025). DOI: 10.18577/2307-6046-2021-0-4-110-123.
34. Kozlova A.A., Kondrateva O.V., Kuznetsova V.A. The main problems of using domestically produced moisture-proof electrical insulating materials for automated selective application on printed assemblies (review). *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 4 (69), paper no. 07. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: March 06, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-72-83.

Информация об авторах

Кожухаров Максим Сергеевич, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Ахмадиева Ксения Расимовна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Боков Виталий Викторович, инженер 1 категории, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Измалков Дмитрий Александрович, техник, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Maksim S. Kozhukharov, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Kseniya R. Akhmadieva, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Vitalij V. Bokov, First Category Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Dmitry A. Izmalkov, Technician, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 18.04.2025; получена после доработки 28.04.2025; одобрена и принята к публикации после рецензирования 12.05.2025.
The article was submitted 18.04.2025; received in revised form 28.04.2025; approved and accepted for publication after reviewing 12.05.2025.