



# Развитие авиационных лакокрасочных материалов

Э.К. Кондрашов  
*доктор технических наук*

Л.В. Семенова  
*кандидат технических наук*

В.А. Кузнецова  
*кандидат технических наук*

Н.Е. Малова

Т.А. Лебедева

Ноябрь 2011

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более, чем в 30-ти научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4-х филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках Международных салонов в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат Государственных премий СССР и РФ, академик РАН Е.Н.Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Все материалы. Энциклопедический справочник», №5, 2012 г.

Электронная версия доступна по адресу: [www.viam.ru/public](http://www.viam.ru/public)

## **Развитие авиационных лакокрасочных материалов**

Э.К. Кондрашов, Л.В. Семенова, В.А. Кузнецова,  
Н.Е. Малова, Т.А. Лебедева

*Всероссийский институт авиационных материалов*

*В статье изложены сведения о различных типах лакокрасочных материалов (ЛКМ), применяемых для окраски авиационной техники, а также возможности их использования в качестве лакокрасочных покрытий в других отраслях промышленности.*

*Представлены свойства и технологии применения новых атмосферостойких, влагозащитных, экологически безопасных ЛКМ, применяемых в качестве антикоррозионных защитно-декоративных и функциональных покрытий для окраски металлических и полимерных композиционных материалов, используемых в конструкциях летательных аппаратов, двигателей и приборов.*

**Ключевые слова:** лакокрасочные материалы, покрытия, антикоррозионная защита, авиационные материалы, адгезия, атмосферостойкость.

Исторически в области исследований лакокрасочных материалов и покрытий можно выделить два основных этапа: довоенные и военные годы, когда основными материалами планера были древесина, фанера и ткань, и послевоенные годы, когда бурное развитие получила реактивная авиация и ракетно-космическая техника, создаваемая с использованием стали, алюминия и магниевых сплавов.

Чтобы представить объем работ, выполненных на первом этапе, уместно сослаться на справочник ВИАМ (1942 г.), в который включено 44 марки лакокрасочных материалов и только 22 марки алюминиевых и магниевых сплавов.

Окраска древесины и тканевых обшивок в тот период играла решающую роль в обеспечении боеготовности самолетов. В рапорте от июня 1942 г. командующего фронта Сталину написано, что намеченное наступление под угрозой срыва, так как окрашенные тканевые обшивки самолетов растрескались. Резолюция Сталина была короткой: «Разобраться и наказать». В ВИАМ приехал первый заместитель наркома авиационной промышленности П.В. Дементьев, поднялся на крышу здания и осмотрел натянутые на рамки окрашенные тканевые обшивки, которые находились в отличном состоянии. Комиссия направилась в Челябинск на лакокрасочный завод и установила, что была изменена рецептура нитроцеллюлозной эмали, утвержденная ВИАМ. Во время работы комиссии сотрудниками ВИАМ была разработана и реализована технология ремонта поврежденных обшивок самолетов.

Разработанный в ходе выполнения этих работ нитроцеллюлозный лак НЦ-551 (аэролак первого покрытия), обеспечивающий натяжение ткани, и до настоящего времени применяется на заводах, ремонтирующих самолеты Ан-2 и Ан-4 с тканевыми обшивками крыльев и оперения.

Во время Великой Отечественной войны начались работы и по созданию камуфлирующих эмалей. В 1941 г. уже было организовано производство маскирующих эмалей белого цвета для зимнего периода, а в 1942 г. – черных маскирующих эмалей для ночных полетов бомбардировщиков в небе над Берлином.

Иные задачи были поставлены перед разработчиками современной реактивной авиации. Главная проблема – это защита от коррозии металлических сплавов, образующих всю конструкцию самолета. Летательный аппарат может быть спроектирован и изготовлен в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к прочности материалов и конструкции, но длительно эксплуатироваться без лакокрасочных покрытий он не может. Поверхность его металлических деталей подвергается сложному воздействию многих факторов. Среди них: широкий диапазон температурных перепадов воздушной атмосферы (от -70 до +80°С, а в местах крепления

двигателей и для сверхзвуковых самолетов – еще больше), интенсивная солнечная радиация, повышенная доля ультрафиолета и высокая концентрация озона на больших высотах, эрозионный износ, неизбежное воздействие при эксплуатации горючесмазочных веществ, гидрожидкостей, антиобледенительных, моющих и дезинфицирующих средств и многое другое.

В период 1945–1955 гг. разрабатывались лакокрасочные материалы для защиты алюминиевых обшивок, термостойкие эмали для кожухов камер сгорания турбореактивных двигателей и стеклопластиковых радиопрозрачных обтекателей антенн.

Для разработки покрытий специалистами ВИАМ впервые в стране были синтезированы акриловые сополимеры, на основе которых разработаны лаки АК-113, АК-113ф, АС-16 и АС-82 для окраски внешней поверхности первых реактивных самолетов. Для защиты внутренней поверхности и внутреннего набора планера была разработана фенольная грунтовка ФЛ-086, модифицированная тунгвовым маслом. В начале 60-х годов создана акрилостирольная эмаль АС-1115, обладающая достаточно высокой термостойкостью, хорошей атмосферостойкостью и отличными технологическими свойствами. На основе пленкообразующего этой же эмали были разработаны камуфлирующие эмали АК-5178М.

Впервые в стране была разработана термостойкая эмаль КО-813 на основе кремнеорганического лака, синтезированного в ВИАМ академиком К.А. Андриановым и его учеником А.А. Ждановым. Для защиты радиопрозрачных антенных обтекателей – радиопрозрачная эпоксидная эмаль ЭП-255.

Однако эксплуатация авиационной техники показала недостаточно высокие антикоррозионные свойства разработанных покрытий, а также в ряде случаев недостаточно высокую термостойкость. Поэтому с начала 50-х годов изучались механизмы защитного действия ЛКП, влияние природы и формы пигментов и наполнителей на свойства покрытий, а также многочисленные факторы, действующие в специфических условиях работы

разных типов летательных аппаратов. Исследовались также изменения состава покрытий и их эксплуатационных параметров в процессе службы, для чего организовывались многосторонние испытания в натуральных климатических условиях.

Эффективность противокоррозионной защиты ЛКП для металлических сплавов (Al, Mg, Fe и др.) в решающей степени определяется пассивирующим действием пигментной части грунтовочного покрытия. Впервые в стране были проведены исследования зависимости кинетики коррозии металла (Mg) от концентрации хромат-ионов, образующихся при ограниченном растворении хроматных пигментов. Получена зависимость изменения электродных потенциалов магниевых сплавов и установлены оптимальные значения содержания хроматов в грунтовке.

Изучены также осмотические процессы диффузии молекул воды через пленку грунта, являющиеся одним из факторов снижения адгезии. В результате впервые разработаны с применением хромата стронция уникальные грунтовки на основе эпоксидных, акриловых и кремнийорганических пленкообразующих с высокими защитными и адгезионными свойствами, полученными вследствие хемосорбционного взаимодействия с поверхностью медьсодержащих алюминиевых сплавов, а также сталей.

Свои исследования специалисты лакокрасочной лаборатории вели в тесном сотрудничестве с коррозионистами. Установлено, что ЛКП на металле – это не только преграда внешним факторам. Действие ЛКП включает сложный процесс изменения состояния поверхностной пленки металла – перевод поверхности металла при контакте с электролитом в устойчивое пассивное состояние. Эту роль в системе лакокрасочных покрытий выполняют грунтовки. При разработке грунтовок исследовались полимеры с низкой проницаемостью для агрессивных ионов, ионов корродирующего металла и кислорода, с высокой адгезией, эластичностью,

прочностью, твердостью, щелочестойкостью, в отдельных случаях термостойкостью.

Пассивирующие свойства обеспечивались пигментами, в основном хроматами, способными при контакте с водой диссоциировать с образованием шестивалентного хрома. Установлена сложная закономерность, регулирующая два взаимосвязанных процесса – образование пассивирующей пленки и ее разрушение, и определено оптимальное содержание хромата в рецептуре грунтовки. Полученные результаты этих исследований позволили существенно повысить эффективность покрытия.

Весьма успешно решена такая трудная задача, как защита магниевых сплавов. Их использование значительно расширилось в результате разработки эффективных защитных хроматных грунтовок: акриловой АК-070 и эпоксидно-полиамидной ЭП-076. Повышена их адгезия благодаря разработке технологии подготовки поверхности хроматным оксидированием. В дальнейшем с учетом токсичности хроматов, а также экологических требований была найдена возможность замены в рецептуре грунтовок части хроматного пигмента на фосфатный.

Создание в 60-х годах самолета МиГ-25, до настоящего времени не имеющего аналогов в мире, потребовало разработки более термостойких эмалей для защиты металлических поверхностей и радиопрозрачных антенных обтекателей.

Проблема повышения термостойкости была успешно преодолена в период 1970–1988 гг. при создании ряда новых термостойких ЛКП (эмали КО-811, КО-88 и КО-818), обеспечивающих защиту металлических конструкций при температуре 400°С и выше. Одновременно решен сложный комплекс задач по повышению технологичности.

Для снижения температуры отверждения полиорганосилоксанов в качестве модификаторов использовали синтезированные в ГНИИХТЭОС полиэлементосилазаны. Их применение обеспечило более глубокую полноту отверждения благодаря взаимодействию гидроксильных групп полимера с

функциональными группами модификатора, служившего сшивающим агентом. С отвердителями такого типа применяются эмали КО-811К, КО-88К и КО-818К. Покрытия на их основе работоспособны при температуре 450°С и выше и после сушки при 150–200°С становятся стойкими к воздействию нефтяных топлив, масел и пр.

Для дальнейшего снижения температуры отверждения кремнийорганических покрытий получен новый тип полиорганосилоксанового полимера, представляющий собой блок-сополимер метилфенилполисилоксановой смолы, модифицированной кремнийорганическими эластомерами. На его основе разработаны цветные термостойкие эмали КО-856 холодного отверждения, стойкие к нефтяному топливу, маслам и обеспечивающие высокие антикоррозионные свойства в жестких условиях эксплуатации.

Для защиты от коррозии изделий, работающих при повышенных температурах (до 600°С), разработана однокомпонентная эмаль ВЭ-53. При разработке ее рецептуры были использованы новые отечественные термостойкие пигменты, изготовленные по специально разработанной технологии. Покрытия эмали ВЭ-53 синего, желтого, коричневого, красного, черного цветов сохраняют цветовые характеристики после термостарения при температуре 500–600°С. Покрытия, получаемые на основе эмали ВЭ-53, имеют хорошую адгезию, высокую стойкость к действию воды, 5% раствора NaCl, бензина. Особенно следует отметить, что эмаль ВЭ-53 обладает повышенной бензо- и маслостойкостью после сушки при комнатной температуре.

Повышение термостойкости радиопрозрачных покрытий до 250°С впервые в мире было достигнуто в результате разработки фторопластовых эмалей ФП-5105 и КЧ-5185, обладающих высокими влагозащитными свойствами, атмосферо- и эрозионной стойкостью.

При всех своих достоинствах ЛКП на акриловой основе не удовлетворяют требованиям техники нового поколения. С появлением таких самолетов, как

Ил-86, Ил-96, Ту-204, Ил-114, эксплуатируемых с применением жидкостей для гидросистем НГЖ-4 и НГЖ-5у, агрессивных к использовавшимся полимерам, а также из-за значительного ужесточения требований к декоративным свойствам и эксплуатационной стойкости покрытий возникла задача разработки и внедрения полиуретановых покрытий. Была создана эмаль УР-1161 различных цветов. Получили дальнейшее развитие работы по созданию отечественных полимеров. Так, совместно с Держинским ПО «Оргстекло» разработан сополимер на основе гидроксилсодержащего акрилата, а на его основе – акрилуретановая эмаль АК-1206.

Для окраски вертолетов и других изделий авиационной техники, в которых используются синтетические масла, разработаны системы ЛКП с эпоксидно-полиамидными эмалями ЭП-140. Однако, учитывая их слабую стойкость к повышенной радиации, особенно в условиях морского климата, и быструю потерю блеска с интенсивным мелением, была создана фторопластоэпоксидная эмаль ВЭ-46, обладающая высокой атмосферостойкостью, термостойкостью (до 200°C) и высокой стойкостью к синтетическим и минеральным маслам, авиационному топливу и бензину. На основе этого же пленкообразующего разработаны камуфлирующие эмали ВЭ-46К.

Разработка топливостойких грунтовок ЭП-0215 и ЭП-0214 позволила заменить герметик У-30МЭС-5 в кессон-баках, использовавшийся в качестве топливостойкого покрытия. Грунтовка ЭП-0215 применяется для защиты от коррозии алюминиевых сплавов практически всех типов самолетов.

Для космической техники были разработаны терморегулирующие покрытия. При отсутствии активной системы терморегулирования температура космических объектов определяется тепловым балансом между поглощенной солнечной радиацией на освещенной стороне и тепловым инфракрасным излучением со всей поверхности объекта. Равновесие полностью определяется коэффициентом поглощения солнечного излучения  $\alpha_s$  и излучательной способностью  $\epsilon_n$ , а они в свою очередь определяются свойствами ЛКП. Сложность задачи и ее новизна потребовали привлечения

широкого круга специалистов и усилий ряда институтов. В результате разработаны уникальные методики и установки, позволяющие оценить в лабораторных условиях реальные тепловые и радиационные нагрузки.

Полученный экспериментальный материал послужил основой для создания ряда терморегулирующих покрытий четырех классов:

«солнечные отражатели» (цвет – белый; термостойкость до 200°C) – эмали АК-573 ( $\alpha_s \leq 0,22$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,85$ ); КО-5191«А» ( $\alpha_s \leq 0,2$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,88$ ); КО-5258 ( $\alpha_s \leq 0,3$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,88$ ); опытная эмаль ВЭ-47 ( $\alpha_s \leq 0,17$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,88$ );

«истинные отражатели» (цвет – серебристый) – эмали ВЭ-30 ( $\alpha_s \leq 0,2$ ,  $\varepsilon_n \leq 0,2$ ); ВЭ-50 ( $\alpha_s \leq 0,16$ ,  $\varepsilon_n \leq 0,16$ ); ВЭ-50Э ( $\alpha_s \leq 0,25$ ,  $\varepsilon_n \leq 0,25$ );

«истинные поглотители» (цвет – темно-серый или черный; термостойкость 650–700°C) – эмали КО-819 ( $\alpha_s \geq 0,85$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,85$ ); КО-819«А» ( $\alpha_s \geq 0,85$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,88$ ); ВЭ-38 ( $\alpha_s \geq 0,9$ ,  $\varepsilon_n \geq 0,88$ );

«солнечные поглотители» – опытные составы ( $\alpha_s \geq 0,80$ ,  $\varepsilon_n \leq 0,30$ ).

Разработанные в ВИАМ терморегулирующие покрытия успешно применены практически на всех космических летательных аппаратах, выпускавшихся с 1965 г., а также на МКС «Буран».

Для защиты лопаток компрессоров и других поверхностей разработаны тонкослойные эрозионностойкие покрытия эмали ЭП-586 и ЭП-5236.

Сложный процесс эрозионного износа требует решения разноплановых задач: сочетания длительной работы при температуре 150°C, эрозионной стойкости и высокой атмосферостойкости покрытий. Эта задача была решена при разработке полиуретановой эмали марки ВЭ-62 для защиты лопастей винтов самолетов и вертолетов. Эта эмаль обладает высокими адгезией и физико-механическими свойствами, превосходит применяющуюся в настоящее время эмаль ЭП-140 по атмосферостойкости в 6 раз, по эрозионной стойкости – в 5 раз. Эмаль ВЭ-62 применена для защиты лопастей винтов винтовентиляторных двигателей ОАО «Аэросила».

Для надежной антикоррозионной защиты внутренней полости нахлеста сварного соединения разработаны новые сварочные составы ПСП-2 с

термостойкостью 150°C и КСП-2АК с термостойкостью до 300°C. Разработанные составы по сравнению с применяющимися для защиты сварных нахлесточных соединений грунтовками ФЛ-086 и ЭП-057 превосходят их по термостойкости в 2 раза, по защитным свойствам – более чем в 10 раз. Кроме того, они экологически безопасны, позволяют проводить сварку в течение 24 ч, а также гальванообработку сварных деталей.

Для защиты металлических листов в процессе химического фрезерования разработаны химически стойкие эмали КЧ-767 и КЧ-7101, которые применяются в авиационной и ракетной отраслях.

Для обеспечения надежной эксплуатации самолетов вертикального взлета и посадки Як-36 и Як-38 на палубы тяжелых авианесущих крейсеров «Киев», «Минск» и «Новороссийск» в лаборатории была разработана атмосферостойкая термоэрозионностойкая кремнийорганическая эмаль КО-5189.

Эмаль холодной сушки, нанесенная на теплозащитные плиты из кремнеорганического асбопластика АК-9ф, выдерживает прямое газодинамическое воздействие двигателя с температурой 750°C в течение суммарно 100 ч (одно воздействие ~30 с); до настоящего времени не имеет аналогов в мире и используется для защиты палубы тяжелого авианесущего крейсера «Адмирал Кузнецов».

Исключительно большой объем работ по покрытиям был выполнен в процессе создания МКС «Буран». Для обеспечения надежной антикоррозионной защиты и стабильной теплозащиты многоразового корабля «Буран» большую роль играют антикоррозионные и адгезионные грунтовочные покрытия, сочетающиеся с клеем «Эластосил 137-175М», примененным для приклеивания теплозащитных плиток.

Разработанный защитно-адгезионный подслои на основе грунтовки ЭП-0214 в сочетании с клеем «Эластосил 137-175М» показал высокие характеристики при сдвиге: при 100% когезионном разрушении по клею без разрушения грунтовочного слоя.

Исследование защитных свойств грунтовки ЭП-0214 позволило разработать технологию защиты от коррозии планера МКС «Буран».

Разработанная система адгезионно-защитных покрытий на основе грунтовки ЭП-0214 была также применена в качестве защитного покрытия ракеты-носителя «Энергия». Для обеспечения теплового баланса космического корабля «Буран» были использованы пассивные системы терморегулирования (терморегулирующие лакокрасочные покрытия), как наиболее дешевые в отличие от активных систем терморегулирования.

Специально для внутренней поверхности створок отсека полезного груза и панелей пассивного терморегулирования МКС «Буран» были разработаны терморегулирующие покрытия класса «Солнечные отражатели» – эмаль КО-5191А и бензоспиртостойкая эмаль КО-5258 (для комплекта оборудования космонавтов: шлем, ранец). На элементах конструкции шасси и панели под экранно-вакуумную термоизоляция были применены ТРП класса «истинные отражатели» – эмали ВЭ-30 серебристая и ВЭ-50Э.

Так как в условиях космоса наиболее сильное воздействие на органические материалы оказывают такие факторы, как УФ-излучение, комплексное облучение протонами, электронами,  $\gamma$ -излучение, глубокий вакуум (усиливающий газы выделения материалов), перепады температур при выходе и входе в атмосферу, то стабильность терморегулирующих покрытий в рабочих условиях является одним из основных показателей. Как показал первый полет, все примененные терморегулирующие покрытия испытания выдержали.

Для нанесения специальных знаков по разметке и маркировке неметаллических поверхностей (в частности, кремнийорганических герметиков) была разработана кремнийорганическая эмаль КО-5229 различных цветов. Отличительная особенность состоит в том, что покрытия на основе этой эмали без подслоя обладают хорошей адгезией к кремнийорганическим герметикам при температурах эксплуатации до 400°C.

При создании МКС «Буран» остро возникла необходимость дополнительной защиты плиток теплозащитного покрытия и наиболее теплонагруженных элементов конструкции из углерод-углерода от воздействия воды и влаги – для предотвращения значительного увеличения массы конструкции и изменения других свойств защищаемых материалов.

Основным условием применения «жертвенного» лакового покрытия была его «сублимация» при действии температур выше 300°С с сохранением основных оптических коэффициентов (степень черноты) поверхностей деталей из углерод-углеродного материала и плиток с силикатным покрытием. Для этой цели был разработан лак ФП-5182, который защищал плитки от воздействия воды и влаги и полностью сублимировался в процессе эксплуатации изделия вместе с загрязнениями, тем самым, предотвращая взаимодействие загрязнений неизвестного состава с силикатным покрытием плитки – элементы конструкции из материала типа углерод-углерод.

В последние годы для окраски панелей приборов, деталей кабины разработаны матовое износостойкое лакокрасочное покрытие ВЭ-65, которое по оптическим, декоративным характеристикам, твердости и стойкости к задиру превышает серийно применяемые покрытия типа эмали ХС-5245, а также износостойкая эмаль ВЭ-70 с квазикристаллами.

Для изделий из ПКМ особенно важна их надежная защита от влаги во избежание возможного снижения радиотехнических характеристик изделия. Для этой цели разработан лак ВЛ-18, водопоглощение которого в 3–5 раз ниже, чем у лака ЭП-730. Система покрытия на основе лака ВЛ-18 не только обладает высокими влагозащитными свойствами, но и обеспечивает хорошую адгезию и необходимые физико-механические свойства, может эксплуатироваться в общеклиматических условиях при температуре от -60 до +120°С. Лак ВЛ-18 применяется в системе ЛКП для двигателя ПС-90А2.

Для окраски внешней поверхности изделий авиатехники разработаны фторполиуретановая эмаль ВЭ-69 и камуфлирующая эмаль ВЭ-69К, которые превосходят по атмосферостойкости и стойкости к воздействию агрессивных

факторов эмали УР-1161, АК-1206, Aerodur C21/100 UVR, АК-5178М, АК-5178Т и HFA 132.

На основании синтезированного ФГУП «НИИ Полимеров» водорастворимого акрилового сополимера разработана эмаль ВЭ-67 различных цветов для окраски интерьера пассажирских самолетов; покрытие на ее основе соответствует нормам АП-25 по горючести, дымообразованию и тепловыделению. Для ЛЮМ контроля с использованием пенетранта ЛЖ-6А на основе поливинилпирролидона разработана белая водосмываемая эмаль ПР-15.

Для удовлетворения потребностей авиационной и других отраслей промышленности одновременно с разработкой рецептур в ВИАМе отрабатывается технология изготовления новых лакокрасочных материалов. Их опытно-промышленное изготовление осваивается на технологическом участке, оснащенный современным диспергирующим оборудованием. За последние годы на участке изготовлены десятки тонн эпоксидных, фторопластовых и кремнеорганических лакокрасочных материалов.

Для проведения исследований и сдачи продукции на соответствие ТУ используется современное исследовательское и испытательное оборудование в соответствии с требованиями ГОСТ и ISO, в том числе при проведении испытаний для иностранных заказчиков.

В результате многолетней деятельности в ВИАМ создана научная школа по исследованию свойств, разработке рецептур, технологии изготовления и применения защитно-декоративных и функциональных лакокрасочных материалов и покрытий.