



УДК 667.6

**ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОНИЖЕННЫМ
СОДЕРЖАНИЕМ ВРЕДНЫХ И ТОКСИЧНЫХ
КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ОКРАСКИ АГРЕГАТОВ И
КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ**

В.А. Кузнецова
кандидат технических наук

Л.В. Семенова
кандидат технических наук

Э.К. Кондрашов
доктор технических наук

Т.А. Лебедева

также в работе принимал участие Н.И. Нефедов

Август 2013

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 тридцати научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в четырех 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 и международных салонах 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, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Труды ВИАМ»,
№8, 2013 г.

ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С ПОНИЖЕННЫМ СОДЕРЖАНИЕМ ВРЕДНЫХ И ТОКСИЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ОКРАСКИ АГРЕГАТОВ И КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПКМ

В связи с ужесточением требований к охране окружающей среды все большее значение приобретают материалы, производство и применение которых не связано с использованием токсичных и пожароопасных органических веществ.

Лакокрасочные материалы для окраски агрегатов и конструкций из полимерных композиционных материалов весьма разнообразны. Многие из них специально разрабатывают для этой цели, при этом они должны обеспечивать прочную связь покрытия с поверхностью пластика, возможность сушки покрытий при температуре, не вызывающей плавления и деструкции пластика, стойкость покрытия к условиям эксплуатации.

Ключевые слова: *лакокрасочные материалы, технология окраски, покрытия, конструкции из ПКМ.*

PAINT-AND-LACQUER MATERIALS WITH A LOW CONTENT OF HARMFUL AND TOXIC COMPONENTS FOR PAINTING UNITS AND DESIGN OF POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Due to with toughening of requirements to protection of the environment assume ever greater importance materials, manufacture and application of which is not associated with the use of toxic and flammable organic substances.

Paint-and-lacquer materials for painting units and design of polymer composite materials are very diverse. Many of them specially developed for this purpose, thus they have to provide a strong bond coating with to the surface of plastic, possibility of drying the coatings at a temperature not causing of melting and destruction of plastic, coating resistance to operation conditions.

Key words: *paint-and-lacquer materials, technology of painting, coatings, design of polymer composite materials.*

**в работе принимал участие Н.И. Нефедов*

Постоянное ужесточение экологического законодательства, резко ограничивающее содержание растворителей и других токсичных компонентов в рецептурах, требует разработки экологически чистых лакокрасочных материалов (ЛКМ), обеспечивающих долговременную защиту конструкций [1, 2]. В последние десятилетия наметилась четкая тенденция к росту производства и потребления ЛКМ с пониженным содержанием летучих органических растворителей, сопровождающаяся постепенным сокращением спроса на традиционные органоразбавляемые лаки и эмали. Для всех типов конструкций из полимерных композиционных материалов (ПКМ) как российского, так и зарубежного производства, актуальной является задача создания современных экологически безопасных систем защитных лакокрасочных покрытий [3, 4]. Существенной проблемой в настоящее время является ремонт конструкций из ПКМ, в частности крупногабаритных панелей, в полевых условиях, где необходимо использование быстросохнущих ЛКМ холодного отверждения. В настоящее время для этих целей используются покрытия на основе отечественных эпоксидных грунтов и шпатлевок: системы ЛКП на основе грунтовки ЭП-0104 и шпатлевок ЭП-0026 и ЭП-0080, которые содержат в своем составе 40–70% органических растворителей. С целью снижения выбросов легколетучих веществ и энергоемкости процесса окраски, повышения качества ЛКП при ремонте крупногабаритных панелей из ПКМ необходима разработка отечественных ЛКМ холодного отверждения с пониженным в 1,5–2 раза содержанием летучих веществ [5–7].

В связи с этим был проведен анализ научно-технической и патентной документации, который позволил выявить состав и уровень свойств лакокрасочных композиций с пониженным содержанием летучих веществ, обладающих, как правило, высокими адгезионными характеристиками и минимальным временем холодного отверждения покрытий. Основным принципом создания состава лакокрасочных композиций с пониженным содержанием летучих веществ является:

- выбор оптимального состава полимерного связующего, введение в полимерную сетку различных модификаторов, пигментов и наполнителей, которые способны снизить содержание в лакокрасочной композиции ЛОС (легколетучие органические соединения);

- использование промоторов адгезии, которые могут повысить адгезионные свойства;

- применение специальных добавок и различных отвердителей для уменьшения времени холодного отверждения ЛКП [8–10].

При анализе научно-технической и патентной документации выявились следующие тенденции развития в области создания ЛКМ с пониженным содержанием летучих веществ:

- снижение ЛОС в лакокрасочной композиции (увеличение сухого остатка) за счет оптимального состава полимерного пленкообразователя (применение модифицированных полиуретановых, эпоксидных и алкидных связующих), увеличения наполненности ЛКМ (введение большого количества пигментов и наполнителей);

- снижение времени холодного отверждения ЛКП за счет введения в композицию специальных добавок и отвердителей;

- повышение адгезионных свойств за счет использования высокомодульных промоторов адгезии [11–14].

По результатам анализа и исходя из имеющегося опыта в ВИАМ разработаны шпатлевка и грунтовка холодной сушки с пониженным содержанием летучих веществ для ремонта панелей из ПКМ. Отработаны технологические параметры нанесения ЛКП на основе разработанных шпатлевки ВШ-21 и грунтовки ВГ-35, а также эмалей ЭП-140, ВЭ-46, ВЭ-69, Аэродур С 21/100 UVR на панели из ПКМ: продолжительность сушки каждого слоя при температуре 15–35°C, жизнеспособность, рабочая вязкость при температуре 20,0±0,5°C по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм. Ориентировочная толщина ЛКП составила от 140 до 160 мкм.

В ходе исследований визуально оценивалось качество ЛКП (однородность поверхности, без наплывов, подтеков, шагрени). Технологические параметры нанесения ЛКП представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технологические параметры нанесения ЛКП на основе шпатлевки и грунтовки на панели из ПКМ

Лакокрасочный материал	Рабочая вязкость, с, при температуре 20,0±0,5°C по вискозиметру ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм	Жизнеспособность ЛКМ, ч	Продолжительность сушки каждого слоя при температуре 15–35°C, ч
ВШ-21	50–60	8	1,0–0,5
ВГ-35	45–55	8	1,0–0,5
ВЭ-46	16–18	8	1,5–3,0
ВЭ-69	12–15	8	1,5–2,0
ЭП-140	12–14	6	4,0–5,5
Аэродур С 21/100 UVR	14–20	8	1,5–3,0

Установлено, что разработанные шпатлевка ВШ-21 и грунтовка ВГ-35 при использовании с эмалями ЭП-140, ВЭ-46, ВЭ-69, Аэродур С 21/100 UVR не ухудшают качества ЛКП и могут применяться для ремонта панелей из ПКМ в изделиях гражданской авиации.

Сравнительные свойства разработанной грунтовки ВГ-35, импортного и отечественного аналогов представлены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительные свойства грунтовки ВГ-35, импортного и отечественного аналогов

Свойства	Значения свойств для ЛКП на основе		
	разрабатываемой грунтовки ВГ-35	грунтовки Aviox CF Primer 37124 (фирма Akzo Nobel Aerospace Coating)	грунтовки ЭП-0104
Массовая доля летучих веществ, %	24–28	31–35	60–65
Адгезия к ПКМ, баллы	1	1	1
Время высыхания пленки до степени 3 при 20±2°С, ч (не более)	0,5	3	Не менее 16 ч
Жизнеспособность грунтовки после введения отвердителя, ч (не менее)	8	3	24
Блеск покрытия, усл. ед. (не более)	8–9	12	11

Покрытие на основе грунтовки ВГ-35 по адгезионным свойствам соответствует применяемым в настоящее время отечественным и импортным серийным материалам: ЭП-0104 и Aviox CF Primer 37124 (фирмы Akzo Nobel). По таким показателям, как время высыхания пленки (0,5 ч вместо 3 ч), жизнеспособность (8 ч вместо 3 ч), блеск покрытия (8 усл. ед. вместо 12 усл. ед.) грунтовка ВГ-35 превосходит импортный аналог – грунтовку Aviox CF Primer 37124. По температурному режиму отверждения покрытия, содержанию летучих веществ и блеску разработанная грунтовка превосходит отечественный серийный материал – грунтовку ЭП-0104 (20°С вместо 50–70°С, 24–28% вместо 60–65%, 8 усл. ед. вместо 11 усл. ед.).

Сравнительные характеристики времени высыхания пленки до степени 3 при 20±2°С на основе грунтовки ВГ-35, зарубежного и отечественного аналогов представлены на диаграмме (рис. 1).

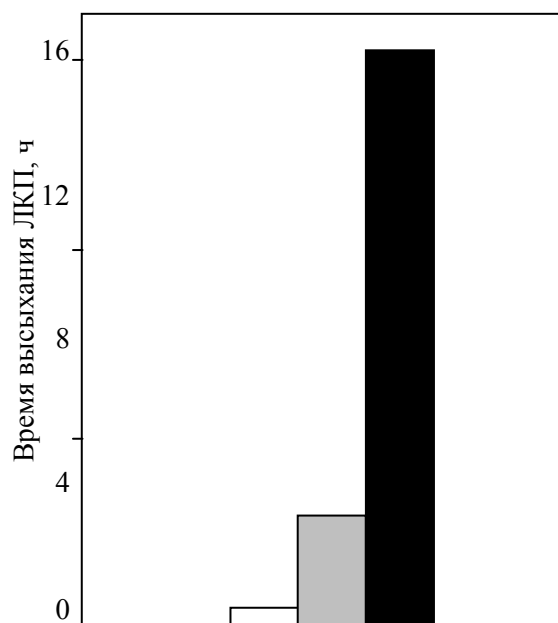


Рисунок 1. Диаграмма времени высыхания при 20°C систем ЛКП на основе грунтовок ВГ-35 (□), ЭП-0104 (■) и Aviox CF Primer 37124 (■)

Из данных диаграммы следует, что разработанная грунтовка ВГ-35 по времени высыхания значительно превосходит отечественную грунтовку ЭП-0104 и импортную грунтовку Aviox CF Primer 37124.

Сравнительные свойства разработанной шпатлевки ВШ-21, импортного и отечественного аналогов представлены в табл. 3.

Таблица 3

Сравнительные свойства шпатлевки ВШ-21, импортного и отечественного аналогов

Свойства	Значения свойств для ЛКП на основе		
	разрабатываемой шпатлевки ВШ-21	шпатлевки Aerowave 2501 (фирма Akzo Nobel)	Шпатлевки ЭП-0026
Массовая доля летучих веществ, %	9–15	11–17	20–28
Адгезия к ПКМ, баллы	1	1	1
Время высыхания пленки до степени 3 при 20±2°C, ч (не более)	0,5	4	Не менее 72 ч
Жизнеспособность шпатлевки, ч	8	0,5	24

Покрытие на основе шпатлевки ВШ-21 по адгезионным свойствам соответствует применяемым в настоящее время отечественным и импортным серийным материалам: ЭП-0026 и Aerowave 2501 (фирмы Akzo Nobel). По таким показателям, как время высыхания пленки (0,5 ч вместо 4 ч), жизнеспособность (8 ч вместо 0,5 ч) шпатлевка

ВШ-21 превосходит импортный аналог – шпатлевку Aerowave 2501. По температурному режиму отверждения покрытия, содержанию летучих веществ разработанная шпатлевка превосходит отечественный серийный материал – шпатлевку ЭП-0026 (20°С вместо 75–80°С, 9–15% вместо 20–28%).

Для защиты кессон-баков, изготовленных из ПКМ, в ВИАМ была разработана технология изготовления и нанесения, а также исследованы основные эксплуатационные свойства покрытия на основе топливостойкой бесхроматной грунтовки ВГ-36.

Для отработки технологии изготовления топливостойкой бесхроматной грунтовки ВГ-36 изготовлены опытные образцы грунтовок, при этом продолжительность диспергирования полуфабриката (пигментных паст) на бисерной мельнице составила 20, 40 и 60 мин.

Исследовано влияние продолжительности диспергирования полуфабриката грунтовки ВГ-36 на ее технологические свойства, а также на адгезионные, физико-механические свойства и топливонабухаемость покрытий на основе грунтовки ВГ-36 (табл. 4).

Таблица 4

Влияние продолжительности диспергирования полуфабриката грунтовки ВГ-36 на эксплуатационные свойства покрытия

Свойства	Значения свойств при продолжительности диспергирования, мин		
	20	40	60
Адгезия к углепластику ВКУ-25:			
в исходном состоянии	1	1	1
после 10 сут увлажнения	2	1–2	1
Прочность при ударе, Дж	4,5	5,0	5,0
Прочность при растяжении (эластичность), мм	4,7	5,4	5,7
Прочность при изгибе (эластичность), мм	2	1	1

Установлено, что адгезионные и физико-механические свойства грунтовочного покрытия зависят от продолжительности диспергирования полуфабриката грунтовки. При диспергировании полуфабриката грунтовки ВГ-36 от 40 до 60 мин образуется более однородная дисперсия с размерами частиц не более 20 мкм, позволяющая получать покрытия с более высокими адгезионными и физико-механическими свойствами.

Исследовано влияние продолжительности диспергирования полуфабриката

грунтовки ВГ-36 на топливнабухаемость покрытия. Установлено, что с увеличением продолжительности диспергирования топливнабухаемость покрытия уменьшается, что связано с образованием более плотной и менее дефектной структуры покрытия.

Исследовано влияние технологических режимов нанесения грунтовочного покрытия на основе топливостойкой бесхроматной грунтовки ВГ-36 на его адгезионные и физико-механические свойства.

Установлено, что толщина двухслойного покрытия на основе топливостойкой бесхроматной грунтовки ВГ-36 влияет на его адгезию к углепластику, прочность (эластичность) при растяжении и при изгибе и не влияет на прочность при ударе в данном диапазоне толщин покрытия. Наиболее высокая адгезия к углепластику (особенно после 10 сут увлажнения) достигается при толщине двухслойного покрытия не менее 40 мкм. Это связано с недостаточно плотной структурой покрытия при толщинах <40 мкм. Прочность (эластичность) грунтовочного покрытия как при изгибе, так и при растяжении монотонно снижается с увеличением его толщины. Прочность при ударе при всех исследуемых значениях толщин покрытия сохраняется на высоком уровне. Вышеуказанные закономерности справедливы для всех исследуемых режимов формирования первого слоя покрытия [15].

Исследования кинетики топливнабухаемости покрытия на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36 показали, что поглощение (набухание за счет сорбции) топлива ТС-1 покрытием протекает в основном за первые 6 сут испытаний в топливе, затем достигается равновесное состояние, топливнабухаемость покрытия со временем практически не меняется и характеризуется невысоким уровнем (не более 0,32%) (рис. 2).

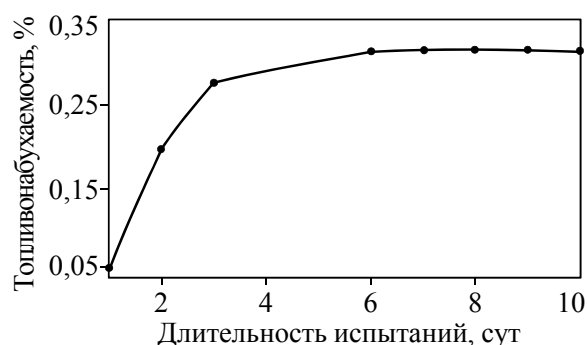


Рисунок 2. Кинетика топливнабухаемости покрытия на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36

Исследована топливостойкость покрытия на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36 в исходном состоянии и после искусственного старения по циклу ЛИ-14

(ММ 1.05-15-133–2002): -60°C – $+80^{\circ}\text{C}$. Установлено, что искусственное старение покрытия не приводит к существенному ухудшению топливостойкости и увеличению топливонабухаемости покрытия ВГ-36 (рис. 3).

Лакокрасочное покрытие для кессон-баков из ПКМ на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36 имеет следующие квоты превосходства по сравнению с покрытием на основе хроматной грунтовки ЭП-0215 и грунтовки S15/60 (фирма Akzo Nobel) в исходном состоянии (табл. 5).

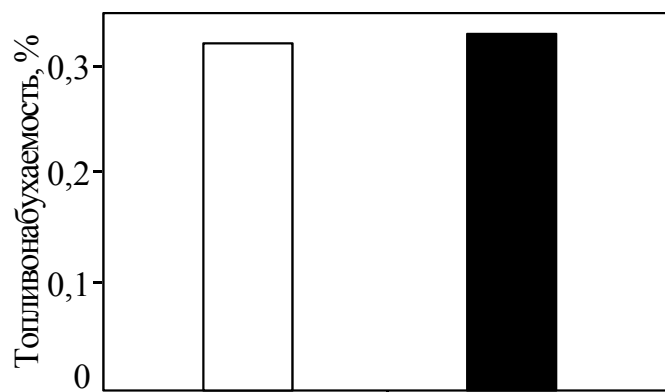


Рисунок 3. Топливостойкость покрытия на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36 в исходном состоянии (□) и после искусственного старения по циклу ЛИ-14 (■)

Таблица 5

Свойства покрытия ВГ-36 в сравнении с аналогами

Свойства	Уровень свойств (средние значения) покрытий		
	ВГ-36 (бесхроматная)	ЭП-0215 (хроматная)	S15/60
Адгезия к ПКМ, балл	1	2	1
Топливонабухаемость, %	0,32	3,8	7,0
Водопоглощение, %	1,49	2,1	2,0
Прочность при ударе, Дж	5,0	5,0	5,0
Эластичность при изгибе, мм	1	2	1
Адгезионная прочность при отрыве от ПКМ, Н/мм ²	5,4	–	–

По комплексу свойств покрытие на основе бесхроматной грунтовки ВГ-36 превосходит покрытие на основе серийной хроматной грунтовки ЭП-0215 аналогичного применения, а также покрытие на основе грунтовки S15/60.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: разработанные в ВИАМ лакокрасочные покрытия на основе шпатлевки и грунтовки холодной сушки с пониженным содержанием летучих веществ, а также бесхроматная грунтовка для защиты конструкций из ПКМ превосходят по комплексу свойств (адгезия к ПКМ, технологичность, жизнеспособность, топливонабухаемость и др.) аналогичные отечественные и импортные покрытия. Применение разработанных ЛКМ (ВШ-21, ВГ-35 и ВГ-36) обеспечит:

- снижение выбросов ЛОС;
- снижение энергоемкости процесса окраски;
- повышение качества ЛКП при ремонте крупногабаритных панелей из ПКМ;
- улучшение условий труда за счет отсутствия выделения токсичных хроматов в процессе производства грунтовки и окраски кессон-баков из ПКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чеботаревский В.В., Кондрашов Э.К. Технология лакокрасочных покрытий в машиностроении. М.: Машиностроение. 1978. 295 с.
2. 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.
3. История авиационного материаловедения: ВИАМ – 75 лет поиска, творчества, открытий /Под общ. ред. Е.Н. Каблова. М.: Наука. 2007. С. 152–158.
4. Гращенков Д.В., Чурсова Л.В. Стратегия развития композиционных и функциональных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 231–242.
5. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
6. Семенова Л.В., Малова Н.Е., Кузнецова В.А., Пожого А.А. Лакокрасочные материалы и покрытия //Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 315–327.
7. Кондрашов Э.К., Кузнецова В.А., Семенова Л.В., Лебедева Т.А. Основные направления повышения эксплуатационных, технологических и экологических характеристик лакокрасочных покрытий для авиационной техники //Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 96–102.
8. Бейдер Э.Я., Донской А.А., Железина Г.Ф., Кондрашов Э.К., Сытый Ю.В., Сурнин Е.Г. Опыт применения фторполимерных материалов в авиационной технике //Российский химический журнал. 2008. Т. LI. №3. С. 30–44.
9. Бузник В.М. Сверхгидрофобные материалы на основе фторполимеров //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 29–34.
10. Семенова Л.В., Кондрашов Э.К. Модифицированный бромэпоксидный лак ВЛ-18 для защиты полимерных композиционных материалов //Авиационные материалы и технологии. 2010. №1. С. 29–32.
11. Кондрашов Э.К. Сверхтонкие взаимодействия и диффузия в полимерах. М.: Спутник. 2004. 77 с.
12. 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.
13. Семенова Л.В., Родина Н.Д., Нефедов Н.И. Влияние шероховатости систем лакокрасочных покрытий на эксплуатационные свойства самолетов //Авиационные материалы и технологии. 2013. №2. С. 37–40.
14. Кондрашов Э.К., Козлова А.А., Малова Н.Е. Исследование кинетики отверждения фторполиуретановых эмалей алифатическими полиизоцианатами различных типов //Авиационные материалы и технологии. 2013. №1. С. 48–49.
15. Кузнецова В.А., Деев М.С., Кондрашов Э.К., Кузнецов Г.В. Влияние отвердителей на микроструктуру и свойства модифицированного эпоксидного связующего для топливостойкого покрытия //Все материалы. Энциклопедический справочник. 2012. №11. С. 38–41.