

УДК 678.06

А. И. Глоба¹, Н. Р. Прокопчук¹, И. О. Лаптик¹, Н. Л. Санкович², Ю. В. Духович¹¹Белорусский государственный технологический университет²ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов»**МОДИФИКАЦИЯ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ
УГЛЕРОДНЫМИ НАНОМАТЕРИАЛАМИ**

Исследована возможность создания покрытий на основе двухкомпонентных акриловых и полиуретановых грунтовок и грунт-эмалей, обладающих повышенной твердостью и стойкостью к агрессивным средам при одновременном сохранении эластичности и прочности при ударе с помощью модификации лакокрасочных материалов углеродными наноматериалами. Для модификации изготовлены суспензии углеродных наноматериалов (УНМ) различного состава, осуществлена модификация лакокрасочных материалов наноразмерными добавками в количестве 0,005–0,100 мас. %. Исследовано время высыхания и физико-механические свойства однослойных покрытий из модифицированных лакокрасочных материалов (твердость, прочность при ударе, адгезия, эластичность при изгибе) на подложках различной природы, а также оценены защитные свойства (стойкость к статическому воздействию воды, 3%-ного раствора NaCl, бензина, дизельного топлива) комплексных покрытий на основе лучших составов модифицированных грунтовок и грунт-эмалей, полученных в соответствии с технологиями, применяемыми на ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов».

Ключевые слова: модификация, лакокрасочный материал, углеродные наноматериалы, алмазная шихта, нанографит, ультрадисперсный алмаз, двухкомпонентная грунт-эмаль, грунтовка.

A. I. Hloba¹, N. R. Prokopchuk¹, I. O. Laptik¹, N. L. Sankovich², Yu. V. Duhovich¹¹Belarusian State Technological University²Open Equity Society «Osipovich Automotive Plant»**MODIFICATION OF TWO-COMPONENT PAINT MATERIALS
WITH CARBON NANOMATERIALS**

The possibility of creating coatings based on two-component acrylic and polyurethane primers and primers-enamels with increased hardness and resistance to aggressive media while maintaining elasticity and strength in the process of removal by modifying paint materials with carbon nanomaterials was investigated. It was made the suspensions of carbon nanomaterials (CNM) of various compositions for modification and paint materials were modified with nanoscale additives in the amount of 0,005–0,100 wt. %. It was studied the drying time, adhesion and physical and mechanical properties (hardness, impact strength, adhesion, flexural elasticity) of single-layer coatings which were made of modified paint materials on substrates of various nature, and it was investigated the protective properties (resistance to static effects of water, 3% NaCl solution, gasoline, diesel fuel) of complex coatings on the basis of the best compositions of modified materials obtained in accordance with the technologies used at Open Equity Society «Osipovich Automotive Plant».

Key words: modification, paint material, carbon nanomaterials, diamond charge, nano-graphite, ultrafine diamond, two-component primer-enamel, primer.

Введение. В настоящее время создание наноматериалов и нанотехнологий является одним из наиболее перспективных направлений современной науки. Нанокompозиты на основе полимеров отличаются от обычных полимерных композиционных материалов большей износостойкостью, ударопрочностью, улучшенными огнезащитными, теплофизическими свойствами, а также хорошим сопротивлением к химическим воздействиям.

В полимер-матричных композитах переход от микроразмерных наполнителей к наноразмерным добавкам существенно изменяет целый

ряд эксплуатационных и технологических свойств, связанных с локальными химическими взаимодействиями, включая скорость отверждения, конформационные переходы полимерных цепей, упорядоченность структуры (степень кристаллизации полимерной матрицы). Содержание нанодобавок может быть очень низким – сотые и даже тысячные доли процента. Улучшение свойств материала достигается за счет высокой степени влияния развитой поверхности добавок на упорядочение расположения элементов в системах со случайно формируемой структурой. Особенно велик этот эффект при введении

в состав матрицы наночастиц, имеющих чешуйчатую форму. В результате даже относительно небольшие добавки наноразмерных веществ приводят к значительному улучшению свойств композиционных материалов по сравнению с микроразмерными наполнителями [1–4].

К важнейшим типам полимер-углеродных наноматериалов относятся наноккомпозиты, получаемые при использовании разнообразных аллотропных форм углерода: углеродных нанотрубок, графита, графена, терморасширенного графита, ультрадисперсных алмазов, фуллеренов, а также отдельные модификации технического углерода [5–8].

Композиты из немодифицированных углеродных нанодобавок часто имеют характеристики, далеко не совпадающие с теми, что от них ожидают. Причиной этого является отсутствие взаимодействия между полимером и нанодобавкой. Поэтому для создания композитов с высокими термическими и прочностными характеристиками необходима поверхностная модификация наноматериалов для обеспечения эффективного взаимодействия наноматериала с полимером. Для решения этих задач применяются два подхода: химическую модификацию поверхности наноматериалов и ультразвуковое диспергирование нанодобавок в присутствии поверхностно активных веществ [5].

Модификация поверхности наночастиц состоит в образовании ковалентных связей между атомами углерода наноматериала и функциональными группами. Обычно модификация начинается с окисления поверхности, например, в азотной кислоте, в результате чего на поверхность прививаются карбоксильные $-\text{COOH}$ и гидроксильные $-\text{OH}$ группы. Эти реакционноспособные группы могут далее реагировать с макромолекулами полимеров, обеспечивая сильное взаимодействие с полимер-нанодобавкой.

В последние годы наметился интерес к использованию вместо нанографита его производных – оксида графена, имеющего на поверхности большое количество функциональных групп, и графена, представляющего собой двумерную гексагональную решетку, образованную атомами углерода. Преимущество графена состоит в наличии на его поверхности большого количества нескомпенсированных углеродных связей, которые легко присоединяются к макромолекулам, образуя монолитный композит. Окисленный графен имеет на поверхности функциональные группы, обеспечивающие химические взаимодействия между нанодобавкой и полимером. Многочисленные исследования показывают, что добавление этих наноматериалов в полимерную матрицу позволяет получать композиты с уникальными

термическими, электрическими и механическими свойствами [5].

Цель исследования – оценка влияния углеродных наноматериалов на технологические и эксплуатационные свойства покрытий на основе двухкомпонентных акриловых и полиуретановых лакокрасочных материалов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– изготовлены суспензии углеродных наноматериалов (УНМ) различного состава;

– осуществлена модификация лакокрасочных материалов наноразмерными добавками в количестве 0,005%, 0,010%, 0,100% (в пересчете на массовую долю нелетучих веществ);

– нанесены модифицированные лакокрасочные материалы на подложки (стеклопластик, дициклопентадиен, АБС-пластик, сталь) и сформированы однослойные покрытия на их основе;

– исследовано время высыхания до третьей степени и физико-механические свойства однослойных покрытий на основе модифицированных лакокрасочных материалов (твердость, прочность при ударе, адгезия, эластичность при изгибе);

– получены комплексные покрытия на основе лучших составов модифицированных грунтовок и грунт-эмалей в соответствии с технологией, применяемой на ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов»;

– оценены защитные свойства комплексных покрытий на основе лучших составов модифицированных лакокрасочных материалов (стойкость к статическому воздействию воды, 3%-ного раствора NaCl , бензина, дизельного топлива, индустриального масла);

– проведен сравнительный анализ модифицированных лакокрасочных материалов с выводами и рекомендациями.

Основная часть. В качестве объектов исследования были выбраны промышленно производимые двухкомпонентные ЛКМ: акриловые грунт-эмаль «Индосингл ПУ20», грунтовка 4+1 ТУ 2313-113-25546303; полиуретановые грунт-эмаль «MONOLIT GR-EM-55», грунтовка «MONOLIT GR-02» и соответствующие им отвердители, предоставленные ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов».

Для их модификации использовали углеродные наноматериалы производства НПЗАО «Синта», Минск, – шихта алмазодержащая марки АШ-А (ТУ РБ 100056180.003-2003) и алмаз синтетический ультрадисперсный УДА (ТУ РБ 28619110.001-95), а также нанографит (НГ) производства ООО «АкКоЛаб», Москва.

Для равномерного распределения наночастиц в объеме полимерной матрицы и предотвращения их агрегации и последующей агломерации готовили дисперсии наноматериалов в различных

растворителях. В табл. 1 представлены состав и концентрации полученных дисперсий.

Получение дисперсий наночастиц заключалось в диспергировании их в дисперсионной среде в ячейке ультразвуковой ванны Bandleline Sonorex в течение определенного времени. В качестве дисперсионной среды использовались разбавитель Monolit и смесевой разбавитель для акриловых ЛКМ, хорошо совместимые с модифицируемыми двухкомпонентными лакокрасочными материалами. Для смачивания наночастиц и облегчения процесса диспергирования, а также для стабилизации дисперсий вносился диспергатор Dispex Ultra 4480 на основе монофункционального блок-сополимера олеоалкиленоксида. Количество диспергатора, рекомендуемое производителем для диспергирования сажи при ее удельной поверхности 10–60 м²/г, составляет примерно 50% от ее массы. Поэтому количество диспергатора рассчитывалось исходя из удельной поверхности нанодобавок. Так, для получения дисперсии на основе АШ-А и НГ вносилось 300% диспергатора от массы частиц. Также использовали дисперсию на основе УДА в толуоле, полученную в производственных условиях из водного концентрата УДА-ВК путем замены водной фазы на органическую (толуол) для предотвращения агрегации и агломерации частиц синтетического ультрадисперсного алмаза в условиях получения сухого порошка.

Получали модифицированные лакокрасочные материалы, содержащие нанодобавки в концентрациях 0,005, 0,010 и 0,100 мас. % в пересчете на сухой остаток, путем смешения грунтовок или грунт-эмали с дисперсией нанодобавки.

Из немодифицированных и полученных модифицированных лакокрасочных составов были сформированы однослойные покрытия на различных подложках – стеклопластик, полидициклопентадиен (ПДЦПД), АБС-пластик, сталь, стекло. Формирование покрытий из модифицированных составов осуществляли в соответствии с техническими требованиями к немодифицированным ЛКМ, соблюдая соотношение пленкообразователя и отвердителя, температурный режим, толщину покрытий и другие характеристики.

Время высыхания до степени 3 определяли в соответствии с ГОСТ 19007 (2003 г.), твердость – по маятниковому прибору типа ТМЛ,

маятник А – по ГОСТ 5233 (1990 г.), прочность при ударе – по ГОСТ 4765 (1974 г.), адгезию – по ГОСТ 15140 (1979 г.), эластичность при изгибе – по ГОСТ 6806 (1983 г.).

Для определения времени высыхания, твердости покрытия, адгезии, эластичности покрытия при изгибе, прочности покрытия при ударе все ЛКМ наносили на подготовленные пластинки в один слой. Покрытия определенной толщины отверждали в условиях горячей сушки (60 ± 2)°С, перед испытаниями образцы покрытий выдерживали 24 ч при комнатной температуре.

Для определения времени высыхания и твердости покрытий испытываемые лакокрасочные материалы наносили на стекло размером (90×120×1,2) мм. Для определения адгезии, прочности покрытий при ударе ЛКМ наносили на пластинки из стали марки 08кп размером (70×150) мм при толщине 0,8–0,9 мм.

В табл. 2 представлены результаты исследования времени высыхания до третьей степени и физико-механических свойств (твердость, прочность при ударе, адгезия, эластичность при изгибе) однослойных покрытий на основе модифицированных и немодифицированных лакокрасочных материалов.

При анализе времени отверждения покрытий до третьей степени в зависимости от вида лакокрасочного материала можно сделать следующие выводы:

– GR-02 – введение всех типов наноматериалов в исследуемом концентрационном диапазоне приводит к существенному уменьшению (практически в три раза) времени отверждения до третьей степени при 60°С;

– GR-EM-55 – введение всех типов исследованных наноматериалов в исследуемом концентрационном диапазоне приводит к уменьшению (примерно в полтора раза) времени отверждения до третьей степени при 60°С;

– грунт 4+1 – введение всех типов наноматериалов в исследуемом концентрационном диапазоне приводит либо к незначительному уменьшению времени отверждения до третьей степени при 60°С либо не влияет на этот показатель;

– Индосингл ПУ-22 – введение практически всех типов наноматериалов в исследуемом концентрационном диапазоне приводит к увеличению времени отверждения до третьей степени при 60°С.

Таблица 1

Состав и концентрации дисперсий углеродных наноматериалов

Тип наноматериала	Дисперсионная среда	Диспергатор	Концентрация дисперсии, мг/мл
УДА	толуол	–	7,5
АШ-А1	разбавитель Monolit	Dispex Ultra 4480	5,0
АШ-А2	разбавитель для акриловых ЛКМ		5,0
НГ1	разбавитель Monolit		1,0
НГ2	разбавитель для акриловых ЛКМ		1,0

Таблица 2

Время отверждения и физико-механические свойства однослойных покрытий

Состав ЛКМ	Содержание наноматериала, %	Время отверждения, мин	Адгезия, балл				Прочность при ударе, см		Твердость, отн. ед.
			Металл	АБС	ПДЦПД	Стеклопластик	Металл	АБС	Стекло
GR-02 Monolit НГ-1	0%	35	1	–	–	–	80	–	0,39
	0,005%	13	1	1	1	1	100	80	0,42
	0,01%	10	1	1	1	1	100	40	0,43
	0,1%	–	–	–	–	–	–	–	–
GR-EM-55 Monolit НГ-1	0%	35	1	–	–	–	60	–	0,23
	0,005%	35	1	1	1	2	40	25	0,82
	0,01%	35	1	1	1	1	50	45	0,64
	0,1%	–	–	–	–	–	–	–	–
Грунт 4+1 HS НГ-2	0%	30	1	–	–	–	100	–	0,39
	0,005%	26	1	1	1	2	80	90	0,51
	0,01%	30	1	1	1	2	100	40	0,44
	0,1%	–	–	–	–	–	–	–	–
Индосингл ПУ-20, HS НГ-2	0%	25	1	–	–	–	100	–	0,3
	0,005%	24	1	1	1	1	100	45	0,45
	0,01%	50	1	1	1	1	100	40	0,50
	0,1%	–	–	–	–	–	–	–	–
GR-02 Monolit АШ-А1	0%	35	1	–	–	–	80	–	0,39
	0,005%	21	1	1	1	1	100	90	0,39
	0,01%	21	1	1	1	1	100	40	0,39
	0,1%	20	1	1	1	1	60	40	0,36
GR-EM-55 Monolit АШ-А1	0%	35	1	–	–	–	60	–	0,23
	0,005%	21	1	1	1	1	100	30	0,83
	0,01%	24	1	1	1	1	70	20	0,59
	0,1%	46	1	1	1	1	100	30	0,59
Грунт 4+1 HS АШ-2	0%	30	1	–	–	–	100	–	0,39
	0,005%	28	1	1	1	1	100	50	0,49
	0,01%	25	1	1	1	2	85	30	0,36
	0,1%	20	1	1	1	3	100	40	–
Индосингл ПУ-20 HS АШ-2	0%	25	1	–	–	–	100	–	0,3
	0,005%	65	1	1	1	2	50	80	0,55
	0,01%	60	1	1	1	1	100	40	0,50
	0,1%	50	1	1	1	2	70	40	0,74
GR-02 Monolit УДА толуол	0%	35	1	–	–	–	80	–	0,39
	0,005%	10	1	1	1	2	50	60	0,43
	0,01%	10	1	1	1	2	40	40	0,41
	0,1%	13	1	1	1	2	50	50	0,39
GR-EM-55 Monolit УДА толуол	0%	35	1	–	–	–	60	–	0,23
	0,005%	20	1	1	1	1	50	30	0,81
	0,01%	30	1	1	1	2	50	30	0,50
	0,1%	30	1	1	1	1	50	30	0,61
Грунт 4 + 1 HS УДА толуол	0%	30	1	–	–	–	100	–	0,39
	0,005%	21	1	2	1	3	100	40	0,49
	0,01%	15	1	1	1	2	100	40	0,44
	0,1%	25	1	1	1	2	100	40	0,47
Индосингл ПУ-20 HS УДА толуол	0%	25	1	–	–	–	100	–	0,3
	0,005%	45	1	1	1	2	60	35	0,6
	0,01%	40	1	1	1	1	100	40	0,46
	0,1%	40	1	1	1	2	100	40	0,53

Наилучший результат по твердости покрытий удалось достигнуть при введении УДА и АШ-А2 (увеличение твердости от 0,30 до 0,44–0,60), в меньшей степени увеличение твердости произошло при введении НГ (от 0,30 до 0,44–0,60 отн. ед.). При этом прочность покрытий при ударе не только не ухудшилась, но и увеличилась.

Модификация ЛКМ углеродными наноматериалами практически не повлияла на адгезионные свойства покрытий.

На основании полученных результатов совместно с представителями ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов» были выбраны наилучшие модифицированные составы, включающие грунт-эмаль, которые далее были использованы для формирования многослойных покрытий.

По результатам анализа (табл. 2) наилучшими модифицированными лакокрасочными системами (грунт + эмаль) были выбраны:

а) полиуретановые, модифицированные алмазодержащей шихтой:

GR-02 + Monolit + АШ-1 – 0,005%;

GR-EM-55 + Monolit + АШ-А1 – 0,005%;

б) полиуретановые, модифицированные синтетическим ультрадисперсным алмазом:

GR-02 + Monolit + УДА толуол – 0,005%;

GR-EM-55 + Monolit + УДА толуол – 0,005%;

в) акриловые, модифицированные синтетическим ультрадисперсным алмазом:

грунт 4+1 + HS + УДА толуол – 0,005%;

Индосингл ПУ-20 + HS + УДА толуол – 0,005%.

На основе лучших составов модифицированных грунтовок и грунт-эмалей были получены комплексные покрытия на различных подложках в соответствии с четырьмя технологиями, применяемыми на ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов». Описание технологий представлено ниже.

Технология № 1:

1) подложка – стеклопластик, обезжиренный уайт-спиритом;

2) один слой грунтовок, высушенной при 60°C 30 мин;

3) один слой грунтовок, выдержанной 5–7 мин;

4) один слой грунт-эмали, высушенной при 60°C 30 мин;

5) один слой грунт-эмали, выдержанной 5–7 мин;

6) один слой грунт-эмали, высушенной при 60°C 30 мин.

Толщина комплексного покрытия 100–125 мкм.

Технология № 2:

1) подложка – полидициклопентадиен, обезжиренный изопропиловым спиртом;

2) один слой грунтовок, высушенной при 60°C 30 мин;

3) один слой грунт-эмали, высушенной при 60°C 30 мин;

4) один слой грунт-эмали, высушенной при 60°C 30 мин.

Толщина комплексного покрытия 80–100 мкм.

Технология № 3:

1) подложка – АБС-пластик, обезжиренный ацетоном;

2) один слой грунтовок, высушенный при 60°C 30 мин;

3) один слой грунт-эмали, выдержанный 5–7 мин;

4) один слой грунт-эмали, высушенный при 60°C 30 мин.

Толщина комплексного покрытия 60–75 мкм.

Технология № 4:

1) подложка – сталь, обезжиренная уайт-спиритом;

2) один слой грунтовок, высушенный при 60°C 30 мин;

3) один слой грунт-эмали, высушенный при 60°C 30 мин;

4) один слой грунт-эмали, высушенный при 60°C 30 мин.

Толщина комплексного покрытия 60–75 мкм.

Физико-механические и защитные свойства комплексных лакокрасочных покрытий, полученных из модифицированных (А, Б, В) и немодифицированных (А0, Б0, В0) составов, представлены в табл. 3.

Из таблицы видно, что адгезия всех комплексных покрытий соответствует предъявляемым к ним требованиям и составляет 1 балл по ГОСТ 15140–78.

Прочность при ударе практически для всех модифицированных покрытий существенно увеличивается: на подложке из стеклопластика прочность при ударе для всех составов возрастает с 30 до 90 см; на стальных подложках – с 65–70 см до 90 см; на подложках из полидициклопентадиена и АБС-пластика – прирост не столь существенный (от 30 до 50 см и от 70 до 90 см соответственно). Исключение составляет лакокрасочная система Б, нанесенная на полидициклопентадиен и АБС-пластик. Для этих подложек прочность покрытия при ударе уменьшается с 70 до 40 см.

Фактические значения твердости многослойных покрытий значительно отличаются от однослойных, что в первую очередь связано с их толщиной. Кроме того, твердость также существенно зависит от технологии, по которой осуществлялось формирование покрытия, и от вида подложки. Сравнительный анализ твердости покрытий

в рамках одной системы ЛКМ и одного типа подложки (технологии) формирования покрытия показывает, что твердость несколько уменьшается, что может быть связано с дополнительным количеством растворителя, введенным вместе с наноматериалом. При формировании многослойного покрытия избыток растворителя может частично оставаться во внутренних слоях покрытия и выступать в роли пластификатора, что хорошо согласуется с данными по увеличению прочности при ударе покрытий. Исключение составляет система Б, нанесенная на полидициклопентадиен и АБС-пластик, где наблюдается существенное увеличение твердости многослойного модифицированного покрытия с 0,16 до 0,42 и с 0,15 до 0,33 отн. ед. соответственно, при снижении

прочности при ударе с 70 до 40 см. Такая лакокрасочная система может быть рекомендована для формирования покрытий на полидициклопентадиене и АБС-пластике, требующих повышенной поверхностной твердости.

Для всех модифицированных составов наблюдается увеличение стойкости покрытий в различных средах по сравнению с немодифицированными ЛКП. При этом наименьшая стойкость практически для всех исследованных покрытий на пластиковых подложках проявляется в бензине, а наибольшая – в воде и 3%-ном растворе NaCl. Для стальных подложек характерна другая закономерность: максимальная стойкость покрытия достигается в среде дизельного топлива, а минимальная – в воде и 3%-ном растворе NaCl.

Таблица 3

Физико-механические и защитные свойства комплексных лакокрасочных покрытий

Свойства	Лакокрасочные составы					
	А0	А	Б0	Б	В0	В
Технология № 1 (стеклопластик)						
Стойкость к действию:						
Н ₂ O	63	104	74	87	87	104
3%-ного р-ра NaCl	63	111	111	118	104	111
бензина	97	104	74	87	35	87
дизельного топлива	118	122	122	129	118	122
Твердость, отн. ед.	0,19	0,13	0,16	0,15	0,16	0,13
Адгезия, балл	1	1	1	1	1	1
Прочность при ударе, см	30	90	30	90	30	90
Технология № 2 (полидициклопентадиен)						
Стойкость к действию:						
Н ₂ O	63	104	111	118	87	97
3%-ного р-ра NaCl	63	97	87	111	74	111
бензина	35	42	35	42	35	42
дизельного топлива	118	122	129	136	129	136
Твердость, отн. ед.	0,31	0,22	0,16	0,42	0,16	0,15
Адгезия, балл	1	1	1	1	1	1
Прочность при ударе, см	30	40	70	40	70	90
Технология № 3 (АБС-пластик)						
Стойкость к действию:						
Н ₂ O	63	104	111	118	97	104
3%-ного р-ра NaCl	104	111	104	111	104	111
бензина	7	7	7	7	7	7
дизельного топлива	118	122	122	129	118	122
Твердость, отн. ед.	0,35	0,22	0,15	0,33	0,15	0,14
Адгезия, балл	1	1	1	1	1	1
Прочность при ударе, см	40	50	70	40	70	90
Технология № 4 (сталь)						
Стойкость к действию:						
Н ₂ O	35	42	35	42	111	118
3%-ного р-ра NaCl	63	74	111	118	104	111
бензина	104	111	104	111	35	87
дизельного топлива	118	122	129	136	129	136
Твердость, отн. ед.	0,38	0,13	0,15	0,17	0,15	0,21
Адгезия, балл	1	1	1	1	1	1
Прочность при ударе, см	65	90	40	50	70	90

При окрашивании АБС-пластика и подложек из полидициклопентадиена наибольшая стойкость покрытия характерна для системы Б (GR-02 + Monolit + УДА толуол – 0,005%; GR-EM-55 + Monolit + УДА толуол – 0,005%).

При окрашивании стальных подложек наибольшая стойкость покрытия во всех средах достигается при использовании лакокрасочной системы В (Грунт 4 + 1 + HS + УДА толуол – 0,005%; Индосингл ПУ-20 + HS + УДА толуол – 0,005%).

При окрашивании стеклопластика стойкость во всех трех модифицированных лакокрасочных систем высокая.

Таким образом, в зависимости от типа окрашиваемой поверхности и условий эксплуатации изделий защитные свойства покрытий можно регулировать за счет изменения типа лакокрасочной системы, используемых наномодификаторов и технологии формирования покрытия.

Для оценки увеличения себестоимости лакокрасочного материала за счет его модификации углеродными нанодобавками был произведен экономический расчет затрат с учетом стоимости и количества использованных нанодобавок. Расчеты производили для наилучших составов, использованных при получении комплексных покрытий. Так, для лакокрасочного материала, полученного на основе грунта GR-02, отвердите-

ля Monolit и шихты алмазосодержащей АШ-А1, в соответствии с рецептурой, на 20 г компонента А (GR-02) требуется 0,14 мл дисперсии нанодобавки АШ-А1 в органическом растворителе концентрацией 0,05 г/мл. Соответственно, на 1000 г GR-02 потребуется 7,0 мл суспензии АШ-А1. С учетом концентрации суспензии количество сухого наноматериала составит $7 \cdot 0,05 = 0,35$ г. Тогда, с учетом стоимости шихты алмазосодержащей прирост стоимости на 1 кг краски составит 0,28 бел. руб. Аналогичным образом были проведены расчеты и для других составов.

Заключение. Таким образом, прирост себестоимости двухкомпонентного лакокрасочного материала на 1 кг компонента А составляет от 0,28 до 2,23 бел. руб., что соответствует 1,5 и 11,2%. С учетом того, что качество покрытий увеличивается (возрастает стойкость покрытий в различных средах, прочность при ударе), а также уменьшается время отверждения до третьей степени при сохранении имеющейся на ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов» технологии формирования покрытий, можно сделать вывод, что предложенная модификация промышленно производимых акриловых и полиуретановых лакокрасочных материалов углеродными нанодобавками является целесообразной и экономически обоснованной.

Список литературы

1. Зубилевич М., Гнот В. Антикоррозионные лакокрасочные материалы нового поколения // Лакокрасочные материалы и их применение. 2005. № 6. С. 7–11.
2. Однослойный антикоррозионный лакокрасочный материал на основе эпоксидного связующего с углеродными нанотрубками: пат. № 2537001 Российская Федерация, МПК: C09D5/08, B82B3/00, B82Y30/00 / С. А. Запругаев, Е. В. Бутырская, Л. С. Нечаева; заявл. 28.11.2012; опубл. 27.12.2014 // Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Воронежский государственный университет» (ФГБОУ ВПО «ВГУ»). 2014.
3. Способ получения супергидрофобной противообрастающей эмали с углеродным нановолокном: пат. № 2441045 Российская Федерация, МПК: C09D5/16, B82B1/00 / Ф. И. Ильдарханова, Г. А. Миронова, К. Г. Богословский, С. В. Кузнецов, О. Л. Большакова, В. В. Коптева; заявл. 31.05.2010; опубл. 27.01.2012 // Открытое акционерное общество и Научно-исследовательский институт лакокрасочных покрытий с опытным машиностроительным заводом «Виктория». 2012.
4. Электропроводный лакокрасочный материал для антикоррозионной защиты металлических изделий: пат. № 2318851 Российская Федерация, МПК: C09D5/08, C09D5/10, C09D123/06, C09D5/24 / С. С. Меркулов, А. Б. Новиков, Б. И. Ройман; заявл. 24.03.2006; опубл. 10.03.2008 // Федеральное государственное унитарное предприятие «Центральный научно-исследовательский институт «Дельфин». 2008.
5. Ma P. C., Siddiqui N. A., Marom G., & Kim J. K. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*. 2010. 41 (10). P. 1345–1367.
6. Верховланцев В. В. Наноматериалы в технологии лакокрасочных покрытий // Лакокрасочные материалы и их применение. 2004. № 10. С. 20–23.
7. Еременко М. Г. Новые нанотехнологии в грунтовании // Лакокрасочные материалы и их применение. 2004. № 1–2. С. 35.
8. Агафонов Г. И., Дринберг А. С., Ицко Э. Ф. Использование нанотехнологий в лакокрасочных материалах // Лакокрасочные материалы и их применение. 2007. № 4. С. 10–14.

References

1. Zubilevich M., Gnot V. New generation anti-corrosion paints and varnishes. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paints and varnishes and their application], 2005, no. 6, pp. 7–11 (In Russian).

2. Zapryagayev S. A., Butyrskaya Ye. V., Nechayeva L. S. *Odnosloynnyy antikorroziyonnyy lakokrasochnyy material na osnove epoksidnogo svyazuyushchego s uglerodnymi nanotrubkami* [Single-layer anti-corrosive paint based on epoxy binder with carbon nanotubes]. Patent RF, no 2537001, 2014.

3. Il'darkhanova F. I., Mironova G. A., Bogoslovskiy K. G., Kuznetsov S. V., Bol'shakova O. L., Kopteva V. V. *Sposob polucheniya supergidrofobnoy protivobrazstayushchey emali s uglerodnym nanovoloknom* [The method of obtaining superhydrophobic anti-fouling enamel with carbon nanofiber]. Patent RF, no. 2441045, 2012.

4. Merkulov S. S., Novikov A. B., Royman B. I. *Elektroprovodyashchiy lakokrasochnyy material dlya zashchity metallicheskih izdeliy ot korrozii* [Electrically conductive paint and varnish material for corrosion protection of metal products]. Patent RF, no. 2318851, 2008.

5. Ma P. C., Siddiqui N. A., Marom G., & Kim J. K. Dispersion and functionalization of carbon nanotubes for polymer-based nanocomposites: a review. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2010, 41 (10), pp. 1345–1367.

6. Verkholtantsev V. V. Nanomaterials in paint and varnish technology. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paints and varnishes and their application], 2004, no. 10, pp. 20–23 (In Russian).

7. Eremenko M. G. New nanotechnologies in priming. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paints and varnishes and their application], 2004, no. 1–2, p. 35 (In Russian).

8. Agafonov G. I., Drinberg A. S., Itsko E. F. The use of nanotechnology in paints and varnishes. *Lakokrasochnyye materialy i ikh primeneniye* [Paints and varnishes and their application], 2007, no. 4, pp. 10–14 (In Russian).

Информация об авторах

Глоба Анастасия Ивановна – кандидат химических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Orion-2308@yandex.ru

Прокопчук Николай Романович – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tnsippm@belstu.by

Лаптик Инна Олеговна – стажер младшего научного сотрудника кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: inna.laptik@yandex.ru

Санкович Наталья Леонидовна – начальник ЦЗЛ ОАО «Осиповичский завод автомобильных агрегатов» (213760, Могилевская обл., г. Осиповичи, ул. Проектируемая, 1, Республика Беларусь). E-mail: czl65.ru@tut.by

Духович Юлия Владимировна – студентка факультета технологии органических веществ. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: juliaduhovich12@gmail.com

Information about the authors

Hloba Nastassia Ivanovna – PhD (Chemistry), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Orion-2308@yandex.ru

Prokopchuk Nikolay Romanovich – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tnsippm@belstu.by

Laptik Inna Olegovna – trainee of the Junior Researcher, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: inna.laptik@yandex.ru

Sankovich Natal'ya Leonidovna – Head of the Central Factory Laboratory, Open Equity Society “Osipovich Automotive Plant” (1, Proektiruemaya str., 213760, Mogilev region, Osipovich, Republic of Belarus). E-mail: czl65.ru@tut.by

Duhovich Yuliya Vladimirovna – student, the Organic Substances Technology Faculty. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: juliaduhovich12@gmail.com

Поступила 20.04.2020