

ВЫБОР ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ДОЛГОВРЕМЕННОЙ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Ф.И. Ильдарханова; К.Г. Богословский, к.х.н., ЗАО НПО «Лакокраспокрытие»

Защита металлоконструкций от коррозии является одной из важнейших научно-технических и экономических проблем мирового народного хозяйства. Надежная работа оборудования и сооружений нефтегазовой отрасли зависит от эффективной противокоррозионной защиты и применения современных коррозионно-стойких материалов.

Общие годовые затраты на борьбу с коррозией в развитых странах оцениваются в 2–4% от валового национального продукта [1]. По данным ВНИИ организации, управления и экономики нефтегазовой промышленности (ВНИОЭНГ), структура затрат на противокоррозионную защиту в Российской Федерации составляет:

- коррозионно-стойкие материалы – 20,5%;
- лакокрасочные покрытия (далее – ЛКП) – 39,5%;
- металлические покрытия – 15,6%;
- электрохимическая защита – 11,3%;
- ингибиторы – 8,6%;
- конструктивная приспособленность – 4,5%.

Экономичность противокоррозионной защиты металлоконструкций нефтегазовой отрасли зависит от следующих факторов:

- коррозионности атмосферы;
- конструктивной приспособленности изделий к нанесению защитных покрытий;
- структуры и подготовки защищаемой поверхности;
- систем и долговечности наносимых ЛКП;
- безопасности для здоровья и экологической безопасности.

Металлоконструкции и оборудование предприятий нефтегазового комплекса эксплуатируются в сложных атмосферных условиях, подвергаются воз-

действию морской соли, агрессивных рабочих сред (нефть и нефтепродукты, пластовые воды, грунты, скважинные химикаты и растворы и т.д.), характеризующихся высокой коррозионностью, интенсивным абразивным воздействием, широким диапазоном температур и давлений. Под коррозионностью понимается способность среды вызывать коррозию в данной коррозионной системе (например, коррозию металла под лакокрасочной пленкой при атмосферных условиях). Стальные поверхности морских буровых установок во время эксплуатации входят в прямой контакт с соленой водой: например, балласт соленой воды в стальных танках полупогружной платформы. Значительная часть российского нефтегазового оборудования работает в местностях с неблагоприятными климатическими факторами – низкие температуры, ледовая обстановка, обледенение конструкций, повышенная коррозионность окружающей среды.

Большинство объектов газодобычи, обработки и транспортировки газа располагаются в Северо-Западном федеральном округе, в частности в Ямало-Ненецком АО и Коми, а объекты нефтехимии – в Приволжском федеральном округе, в Западной Сибири и на Дальнем Востоке. Это районы с умеренным и холодным климатом. Климатические факторы, оказываю-

щие влияние на долговечность ЛКП, следующие:

- солнечная радиация (световая энергия);
- температура (повышенная, пониженная, перепады температур);
- влага (осадки, туман);
- загрязнения и пыль (бури, ветер).

Солнечная радиация вызывает фотоокислительную деструкцию полимера. Первичными видами разрушения ЛКП являются потеря блеска (для гляцевых и полугляцевых покрытий), изменение цвета и меление.

Повышенные температуры вызывают в ЛКП увеличение и интенсификацию подвижности молекул полимера, которые ускоряют окислительные и фотокаталитические реакции в полимере, что приводит к его деструкции. Низкие температуры приводят пленкообразующий полимер в стеклообразное, хрупкое состояние и снижают его эластичность. Это способствует снижению адгезии ЛКП и его растрескиванию.

Резкие колебания температуры вызывают увеличение внутренних напряжений в ЛКП и способствуют микро- и макрорастрескиванию и отслаиванию его от металлической поверхности. Повышенная влажность приводит к набуханию и размягчению пленкообразующего полимера и его гидролизу, в результате чего образуются пузыри, отслаивание и коррозия.

Загрязнения и пыль оказывают отрицательное воздействие на лакокрасочное покрытие, приводят к механическому вымелыванию пигментов, эрозии ЛКП и повышению грязеудержания.

ЛКП должны иметь климатические исполнения УХЛ1 и ХЛ1 по ГОСТ 9.104-79 и выдерживать рабочее значение температуры воздуха при эксплуатации от +40 до -60 °С, среднегодовое значение относительной влажности при 15 °С 75% и абсолютную влажность среднегодового значения 11 г/м³, интенсивность дождя 3 мм/мин. 5 мин. подряд (1–2 раза в 1–2 года), 1,5 мм/мин. 1 ч подряд и 0,5 мм/мин. 5 ч подряд, интегральную поверхностную плотность потока энергии солнечного излучения – 1125 Вт/м² [0,027 кал/(см²×с)], в т.ч. плотность потока ультрафиолетовой части спектра (длина волн 280–400 нм) – 68 Вт/м²×[0,016 кал/(см²×с)].

На объектах нефтегазового сектора атмосфера по коррозионности квалифицируется от С4 до С5-I или С5-M в прибрежных морских районах по ИСО 12944-2. Основными коррозионно-активными загрязнителями атмосферы, вызывающими интенсивную коррозию металлов, являются морская соль в виде хлоридов и сернистый газ, который под воздействием солнечной радиации в присутствии кислорода воздуха окисляется до серного ангидрида и под действием влаги превращается в серную кислоту.

Коррозионные потери углеродистых конструкционных сталей при коррозионности атмосферы С4 составляют 400–650 г/м²×год (концентрация SO₂ – от 30 до 90 мкг/м³ и существенное влияние хлоридов: например, загрязненные городские районы, промышленные зоны, прибрежные районы без брызг соленой воды и сильного воздействия обледенения с соленой водой), при коррозионности атмосферы С5-I и С5-M – 650–1500 г/м²×год (концентрация SO₂ – от 90 до 250 мкг/м³ и существенное влияние хлоридов: например, промышленная зона, прибрежный район, защищенные места на побережье).

Защитное действие ЛКП проявляется в диффузионно-адгезионном и электрохимическом сопротивлении действию внешних факторов окружающей среды. Диффузионно-адгезионное действие вызвано торможением транспорта агрессивных

компонентов и накоплением их на границе «металл – ЛКП» и действует до образования фазы агрессивной среды на поверхности металла под ЛКП. Электрохимическое сопротивление вызывает сдвиг электрохимического потенциала поверхности металла к менее активным значениям и понижение тока коррозии и действует с момента образования фазы агрессивной среды на поверхности металла под ЛКП.

Диффузионно-адгезионное сопротивление лакокрасочного покрытия зависит от характера его взаимодействия с окрашиваемой поверхностью и его физико-механических свойств. Характер взаимодействия с окрашиваемой поверхностью определяется его адгезионной связью с поверхностью, механизмом противокоррозионной защиты и пористостью поверхности. А прочностные свойства, как правило, характеризуются морозостойкостью, характером взаимодействия и сочетаемостью всех слоев ЛКП.

В зависимости от типа пленкообразующего полимера ЛКП могут образовывать с окрашиваемой поверхностью химические (энергия связи – 10–1000 кДж/моль), координационные (энергия связи – 100–500 кДж/моль) или ион-дипольные (энергия связи – 20–40 кДж/моль) связи.

Коррозия металла под лакокрасочной пленкой в атмосферных условиях протекает по электрохимическому механизму (рис. 1).

Характерными особенностями коррозии являются пространственное разделение катодных (выход отрицательно заряженных электронов) и анодных (выход положительно заряженных ионов металла) процессов на поверхности металла, образование продукта через последовательность реакций, зависимость реакции от электродного потенциала. Глав-

ное условие реализации всех этих особенностей – наличие на поверхности металла фазовой пленки электролита. Большинство металлов стремятся перейти из металлического состояния в ионное. Металл диссоциирует на положительный ион и электрон: $Me \rightarrow Me^{++} + 2e^-$. Металлы, обладая низкой величиной работы выхода электронов, легко отдают электроны в фазу электролита, где последние связываются молекулами воды и кислорода с образованием гидроксильных ионов: $e^- + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4OH^-$. Эти участки поверхности ведут себя как катоды. На других участках поверхности металла (аноды) положительный заряд, возникший в металле из-за выхода электронов, выталкивает ионы металла во внешнюю среду для восстановления равновесия (электронейтральности) металла. Ионы металла, встретившись в среде (жидкой фазе) с гидроксильными ионами, образуют электронейтральный продукт коррозии (собственно ржавчину): $Me^{++} + 2OH^- \rightarrow Me(OH)_2$, который оседает на поверхности металла или рассеивается в электролите. В результате выхода ионов металла в анодной области образуется язва (питтинг), т.е. происходит локальное разрушение поверхности.

По механизму защитного действия ЛКП подразделяются на:

- изолирующие (барьерные);
- пассивирующие (например, содержащие фосфат цинка) и фосфатирующие;
- протекторные (цинксодержащие);
- модификаторы ржавчины (рис. 2).

При выборе ЛКП для объектов нефтегазового сектора необходимо особое внимание уделять морозостойкости ЛКП. Морозостойкость характеризуется температурой, ниже которой ЛКП самопроизвольно разрушается или разрушается при незначительных ме-

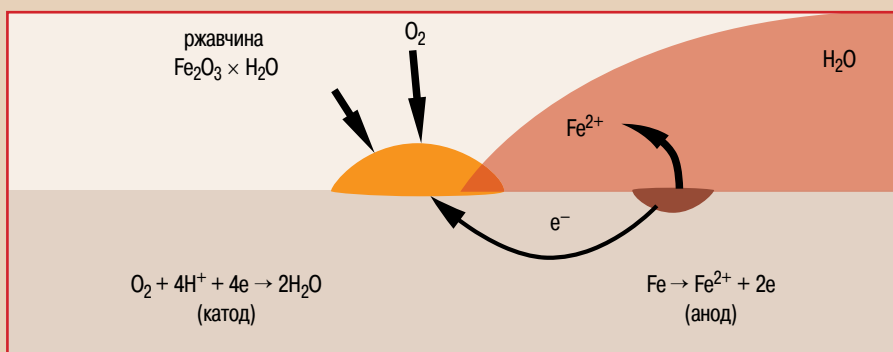


Рис. 1. Электрохимическая коррозия черных металлов

Таблица 1. Требования по системам ЛКП, предназначенным для эксплуатации в условиях коррозивности атмосферы С4

Грунтовочные слои				Верхние слои, включая промежуточные слои			Система ЛКП		Ожидаемый срок службы, лет
Связующее	Тип грунтовочного материала	Число слоев	Номинальная толщина сухой пленки, мкм	Связующее	Число слоев	Номинальная толщина сухой пленки, мкм	Число слоев	Суммарная номинальная толщина сухой пленки, мкм	
АК	Антикор.	1–2	80	АК, ХП, ХВ	2–3	160	3–5	240	5–15
АК, ХП, ХВ	Антикор.	1–2	80	АК, ХП, ХВ	2–3	160	3–5	240	5–15
ЭП	Антикор.	1	160	АК, ХП, ХВ	1	120	2	280	Свыше 15
ЭП	Антикор.	1–2	80	ЭП, УР	2–3	160	3–5	240	5–15
					2–3	200	3–5	280	Свыше 15
ЭП, УР	Цинкнапол.	1	40	АК, ХП, ХВ	2–3	160	3–4	200	5–15
		1	40		2–3	200	3–4	240	Свыше 15
		1	40	ЭП, УР	2–3	160	3–4	200	5–15
		1	40		2–4	200–280	3–5	240–320	Свыше 15
ЭС	Цинкнапол.	1	80	АК, ХП, ХВ	2–3	120	3–4	200	5–15
		1	80		2–3	160	3–4	240	Свыше 15
		1	80	ЭП, УР	2–4	120–240	3–5	200–320	5–15

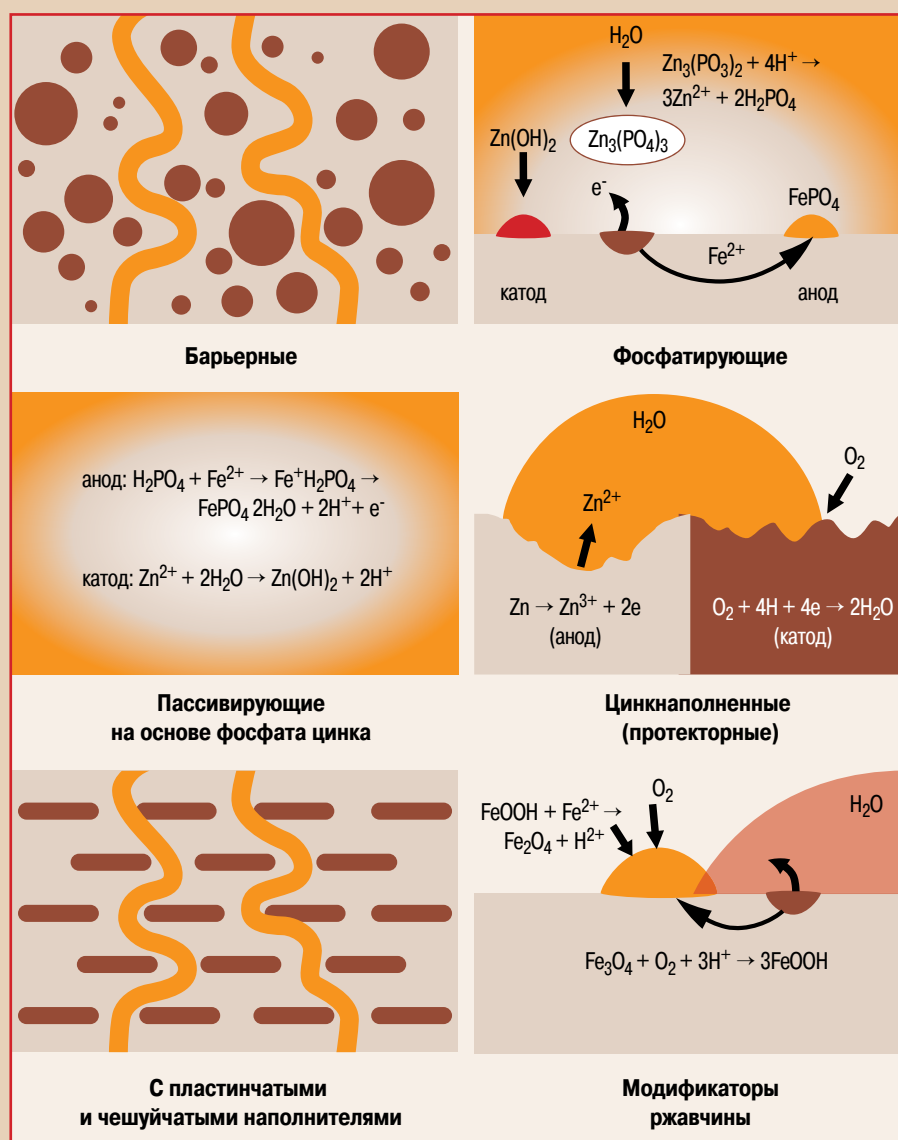


Рис.2. Механизм защитного действия ЛКП

ханических воздействиях. Удовлетворительной морозостойкостью обладают покрытия на основе алкидно-акриловых, акриловых, акрил-уретановых, уретановых, карбамидных, меламинных, эпоксидных, эпоксиэфирных пленкообразователей. ЛКП, как правило, должны быть водостойкими. При этом необходимо учитывать, что сорбирование влаги зависит от плотности упаковки молекул, степени сшивки и наличия лиофильных групп (ОН-, СООН-, -СО), степени насыщенности основной цепи. Материалы с разветвленной структурой, имеющие большие межмолекулярные полости и малую степень сшивки, ненасыщенные полимеры и полимеры, содержащие в своей структуре большое количество лиофильных групп, обладают повышенной влагопоглощаемостью. Влагостойкими являются пленкообразующие полимеры, содержащие только группы атомов СН₂, СН₃, С₆Н₅, CN₂. Это обычно неполярные или слабополярные материалы с плотноупакованной структурой (полиэтилен, фторопласт и др.). Полярные полимеры (поливинилхлорид), имеющие угол смачивания 65–75° и плотную структуру, тоже мало поглощают влагу. При этом степень водопоглощения (набухания) повышается с увеличением содержания в пленкообразователе гидроксильных или других полярных групп. Хорошей водостойкостью обладают

Таблица 2. Требования по системам ЛКП, предназначенным для эксплуатации в условиях коррозивности атмосферы С5-I и С5-M

Грунтовочные слои				Верхние слои, включая промежуточные слои			Система ЛКП		Ожидаемый срок службы, лет
Связующее	Тип грунто- вочного материала	Число слоев	Номи- нальная толщина сухой пленки, мкм	Связующее	Число слоев	Номи- нальная толщина сухой пленки, мкм	Число слоев	Суммарная номи- нальная толщина сухой пленки, мкм	
ЭС	Цинкнапол.	1	80	АК, ХП, ХВ	3–4	200–240	4–5	280–320	5–15
		1	40	ЭП + ХП	4	240	5	320	5–15
		1	80	ЭП, УР	2–4	160	3–5	240	5–15
		1	80		2–4	200–240	3–5	280–320	Свыше 15
ЭП, УР	Цинкнапол.	1	40	ЭП, УР	3–4	280	4–5	320	Свыше 15
		1	40		3	200	4	240	5–15
		1	40	ХС	3	360	4	400	15
ЭП, УР	Антикор.	1	150	ЭП, УР	1	150	2	300	5–15
		1–2	80		3–4	240	4–6	320	Свыше 15
		1	250		1	250	2	500	Свыше 15
		1	400	–	–	–	1	400	5–15

эпоксидные, уретановые, поливинилхлоридные, сополимеровинилхлоридные, хлорированные полиэтиленовые ЛКП.

Противокоррозионные свойства ЛКП, применяемых для защиты металлоконструкций нефтегазовой отрасли от воздействия нефти и нефтепродуктов, пластовых вод, грунтов, скважинных химикатов и растворов, а также продуктов нефтеперерабатывающих предприятий, определяются главным образом природой и химической стойкостью пленкообразующего вещества, его проницаемостью и адгезией к защищаемой поверхности. Повышенной химической стойкостью обладают полимеры, звенья которых не содержат реакционно способных функциональных групп (непредельных связей, перекисных, омыляющихся, легко отщепляющихся гидроксильных, галогенных и др.); обладающие регулярной химической и физической структурой (нерегулярность структуры полимеров облегчает их растворимость и проницаемость); не содержащие металлов переменной валентности и других загрязнений. Практика показывает, что химически стойкие системы ЛКП образуют лакокрасочные материалы (далее – ЛКМ) на эпоксидных, уретановых, поливинилхлоридных, сополимеровинилхлоридных, хлорированных полиэтиленовых пленкообразователях.

Современное развитие в области антикоррозионных ЛКМ для нефтегазового комплекса направлено на:

- улучшение барьерных свойств покрытий за счет использования высококачественных пленкообразователей нового поколения (эпоксидов, полиуретанов, полимочевины и сочетания ее с полиуретанами, силиконэпоксидных и других гибридных пленкообразователей);
- катодную (активную) защиту с использованием цинковых наполнителей;
- совместное применение пассивного и активного методов защиты от коррозии;
- замедление коррозионных процессов путем введения в рецептуру добавок – ингибиторов коррозии;
- модификацию поверхностного полимерного слоя покрытия путем использования гидрофобизаторов.

С учетом вышеперечисленных требований к показателям защитного действия ЛКП, применяемые для окрашивания металлоконструкций нефтегазовой отрасли, должны обладать высокой эффективностью защитного действия, иметь хорошую адгезию к металлу и обладать высокими прочностными свойствами. Кроме того, желательны наличие протекторных свойств, чтобы в случае повреждения покрытия при его транспортировании, монтаже и эксплуатации обеспечить защиту конструкции от коррозионной порчи. ЛКМ должны

иметь хорошую технологичность при нанесении различными методами окрашивания.

В соответствии с международными требованиями по ИСО 12944-5 для долговременной защиты металлоконструкций, рекомендуются эпоксидные, полиуретановые, этилсиликатные, хлоркаучуковые, поливинилхлоридные ЛКМ. Требования по системам ЛКП, предназначенным для эксплуатации в условиях коррозивности атмосферы С4, показаны в таблице 1, для С5-I и С5-M – в таблице 2.

Цинксодержащие материалы относятся к составам, обеспечивающим катодную защиту углеродистой стали. Это активные системы, более эффективные для замедления коррозии, чем пассивные барьерные системы. Защитные свойства цинка обусловлены более низким электрохимическим потенциалом (–0,76 В) по сравнению с железом (–0,44 В), поэтому в электрохимической паре «цинк – железо», возникающей в присутствии электролита (рис. 2), цинк выполняет роль анода. Медленно растворяясь в процессе эксплуатации покрытия, цинк выполняет роль протектора, защищая катод (железо) от разрушения [2–4].

Применение цинксодержащих материалов часто называют холодным цинкованием [5, 6]. Теоретические основы и преимущества практиче-

ского использования холодного цинкования достаточно хорошо изучены [7–14]. Широкое распространение в РФ получили полиуретановые цинк-наполненные материалы фирмы Steelpaint GmbH (Германия). Из российских производителей наиболее известны материалы ЗАО «НПП ВМП», ЗАО «НПО ЛКП» (Хотьково) [15].

К числу новаций в области цинк-содержащих ЛКМ относится использование цинкового пигмента с хлопьевидными частицами [16], позволяющими снизить общее содержание цинка в рецептуре до 30 масс. %, обеспечить стабильность полуфабриката при хранении и уменьшить количество слоев покрытия.

Наиболее долговременную противокоррозионную защиту металлоконструкций в настоящее время обеспечивают полиуретановые и эпоксидные ЛКМ [17, 18].

Преимущество эпоксидных материалов заключается в высокой адгезии и химической стойкости. Эпоксидные ЛКМ за счет концевых эпоксидных групп образуют с металлической поверхностью химическую связь. Плотная сшивка и упорядоченная структура эпоксидных ЛКМ обеспечивает их водонепроницаемость, хим-, термо-, абразиво- и морозостойкость. Однако они недостаточно устойчивы к воздействию солнечного излучения. Покрытия в открытой атмосфере, как правило, начинают мелить. Такие ЛКП предпочтительнее эксплуатировать в условиях внутренних промышленных атмосфер.

Полиуретановые ЛКМ в наибольшей степени соответствуют требованиям, предъявляемым к антикоррозионным ЛКМ, обеспечивающим защиту металла в атмосферных условиях. По темпам прироста потребления полиуретановые ЛКМ почти вдвое опережают другие виды ЛКМ. Согласно прогнозам специалистов, в ближайшем будущем спрос на полиуретановые ЛКМ в среднем будет расти на 4–6% в год [19].

Покрытия на основе полиуретановых ЛКМ отличаются высоким качеством. Они характеризуются быстрой сушкой, атмосферо-, водо-, хим-, абразиво-, морозо- и термостойкостью. Высокая адгезия полиуретановых ЛКМ объясняется образованием координационной связи металла с уретановой группой. Полиуретановые покрытия дороже боль-

шинства наиболее известных ЛКМ, однако, учитывая долговечность покрытий и их эксплуатационные свойства, полиуретановые ЛКМ могут быть оптимальным решением.

Нанесение ЛКП в полевых условиях осложняется тем, что на поверхности металла присутствует пленка конденсационной влаги, которая ослабляет адгезию покрытия и снижает долговечность ЛКП. Современные однокомпонентные полиуретановые материалы отверждаются влагой воздуха, наносятся при температурах от 0 до 50 °С и высокой (до 98%) относительной влажности воздуха, обеспечивая высокое качество ЛКП. Свойство этих материалов отверждаться за счет влаги воздуха позволяет в наименьшей степени зависеть от погодных условий и значительно увеличить окрасочный сезон объектов в полевых условиях. Однокомпонентные полиуретановые материалы экономически целесообразно применять для окрашивания портовых сооружений и нефтедобывающих платформ.

Защитное действие органосиликатных покрытий обусловлено использованием полисилоксанов с высокой лиофобностью, применением наполнителей с частицами ламеллярного пластинчатого строения, высокой степени уплотнения структуры пленкообразователя наполнителя, пассивирующим и антикоррозионным действием неорганических пигментов и наполнителей [20].

Новыми современными антикоррозионными ЛКМ являются полимочевинуретановые, фторсодержащие и силиконполимерные материалы.

Основное отличие полиуретанмочевины от полиуретана реакционноспособных – в применении вместо полиола полиамина, что позволяет получить полимер с иными функциональными группами и новыми ценными свойствами:

Полиамин → Полиизоцианат Полимочевина (ПМ)	Полиол → Полиизоцианат Полиуретан (ПУ)
$R-NH_2 + R_1-NCO \rightarrow$ $R_1-NHCONH-R + R_2-NCO \rightarrow$ $R_2-NH-CO-N(R_1)-$ $CONH-R + R_3 \rightarrow NCO$ $R_3-NH-CO-N(R_2)-CO-N(R_1)-$ $CONH-R,$ <p>где $R = -(CH_2)_n - NH - (CH_2)_n-$</p>	$R-OH + R_1-NCO \rightarrow$ $R_1-NR-CO-O-R$

Полимочевинуретановые ЛКМ имеют следующие возможности:

- получение толстослойного покрытия за один проход (до 2,5 мм);
 - высокая скорость отверждения (15 с);
 - возможность отверждения при температурах ниже 0 °С;
 - образование эластичного покрытия (относительное удлинение до 800%);
 - высокие антикоррозионные свойства в условиях воздействия агрессивных агентов – воды, кислорода, ультрафиолетовой радиации, кислых сред.
- Полимочевинуретановые покрытия идеальны для противокоррозионной защиты объектов инфраструктуры морских нефтегазовых платформ [20].

Известно, что низкая поверхностная энергия фторопластов и их инертность обеспечивают очень высокую атмосферостойкость, химстойкость и антикоррозионные свойства фторполимеров. Однако широкое применение ограничено слабой адгезией к металлу и высокотемпературной сушкой.

Прививкой специальных функциональных групп к фторполимеру было достигнуто увеличение адгезии к металлу [21]. Модифицированные фторопласты, известные как FEVE (виниловые эфиры фторэтилена), имеют превосходную стойкость к действию атмосферных условий, характерную для фторполимеров, и одновременно – свойства, близкие к обычным полиуретановым покрытиям. Долговечность систем ЛКП на основе FEVE оценивается более чем в 60 лет [23].

С помощью силиконов можно контролировать химическую и топографическую природу поверхности ЛКП, что позволяет разрабатывать материалы с заданными лиофильными свойствами. В настоящее время за рубежом появился новый класс ЛКМ на основе модификации традиционных пленкообразователей (эпоксидов, уретанов, акрилатов) силиконами, так называемые гибридные ЛКМ.

Благодаря уникальной химической природе силиконов стало возможным получение полимера, в котором силоксан выступает в роли матрицы, а эпоксидные смолы являются модификаторами его боковых цепей. Силиконэпоксидная смола сочетает в себе достоинства эпоксидов

с прочностью и атмосферостойкостью полисилоксанов. Низкая вязкость силоксанового полимера позволяет сократить количество летучих компонентов в составе ЛКМ и значительно увеличить его сухой остаток. Внедрение в эпоксидное покрытие силоксанового компонента резко уменьшает поглощение воды покрытием за счет снижения поверхностной энергии и увеличения лиофобности покрытия [24]. Низкая поверхностная энергия покрытия

позволяет значительно повысить антикоррозийную защиту сооружений морских нефтедобывающих платформ, одновременно защищая их от биообрастания.

Таким образом, для противокоррозионной защиты металлоконструкций нефтегазовой отрасли необходимо применять эпоксидные, полиуретановые, фторсодержащие, органосиликатные и гибридные полимерные ЛКМ на основе силиконов. Срок службы современных

эпоксидных, органосиликатных и полиуретановых покрытий составляет не менее 15 лет при эксплуатации в промышленной атмосфере. Более длительная противокоррозионная защита металлоконструкций нефтегазовой отрасли может быть осуществлена применением гибридных силикон- и фторсодержащих полимеров, а также систем ЛКП, обеспечивающих катодную защиту металла (цинксодержащих).

Литература:

1. Фомин Г.С. Коррозия и защита от коррозии. Энциклопедия международных стандартов. – М.: Протектор, 2013. – 720 с.
2. Розенфельд И.Л., Рубинштейн Ф.И., Жигалова К.А. Защита металлов от коррозии лакокрасочными покрытиями. – М.: Химия, 1987. – 224 с.
3. Каверенский В.С. «Холодное цинкование» – псевдоцинкование // Промышленная окраска. – 2009. – № 1. – С. 22–24.
4. Риитта Пайяри. Цинксодержащие грунтовки с пониженным содержанием цинка // Промышленная окраска. – 2005. – № 3. – С. 38–40.
5. Бакаева Р.Д., Максенов О.В. Холодное цинкование как метод защиты от коррозии (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2004. – № 6. – С. 30–32.
6. Двоглазов А.Б. Современные методы и системы защиты строительных конструкций зданий, сооружений и технологического оборудования от коррозии однокомпонентными влагоотверждаемыми полиуретановыми материалами фирмы Steelpaint GmbH // Черная металлургия. – 2005. – № 1. – С. 69–73.
7. Васильев С.А. Холодное цинкование. Теория и практика // Машиностроитель. – 2005. – № 4. – С. 26–29, 63.
8. Фришберг И.В., Субботина О.Ю. Цинкнаполненные материалы ВМП для защиты от коррозии // Промышленная окраска. – 2005. – № 3. – С. 26–31.
9. Лялякин В.П., Литовченко Н.Н. Эффективный путь решения проблемы долговечность стальных труб в подземных коммуникациях города // Коррозия: материалы, защита. – 2005. – № 9. – С. 12–16.
10. Монов Б.Н., Ликверман А.И., Ройтман Б.И. и др. Опыт защиты конструкций мостов от коррозии // Транспортное строительство. – 2005. – № 5. – С. 10–13.
11. Савинкин Ю.С. Системы покрытий для защиты от коррозии методом холодного цинкования // Мир техники и технологии. – 2005. – № 6. – С. 32–35.
12. Прыгаев А.К., Ефремов А.П., Бакаева Р.Д. // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. – 2005. – № 1–2. – С. 77–84.
13. Защитные покрытия от ВМП для увеличения срока эксплуатации металлоконструкций // Практика противокоррозионной защиты. – 2005. – № 4. – С. 56–57.
14. Prokes P., Rflendova A. Anticorrosion efficiency of coatings containing metallic pigments // J. Phys. Chem. Solids. – 2007. – Vol. 68. – № 5–6. – P. 1083–1086.
15. Фришберг И.В., Субботина О.Ю., Павлюкова О.Н. и др. Новые отечественные цинкнаполненные материалы // Промышленная окраска. – 2003. – № 1. – С. 8–15.
16. Заявка 2 400 371 Великобритании; МПК 7 C 09 D 17/00, B 02 C 15/00. Metall flake pigment composition / Wheeler Ian Robert, Kryszczuk Michail Richard; заявитель Silberline Ltd. – № 0307890.4; заявлен. 04.04.2003; опубл. 13.10.2004.
17. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И., Богословский К.Г. Современные лакокрасочные материалы для антикоррозионной защиты металлоконструкций в атмосферных условиях // Технология лакокрасочных покрытий: сборник научных трудов / Науч.-произв. об-ние «Лакокраспокрытие». – М.: Пэйнт-Медиа, 2012. – С. 4–20.
18. Миронова Г.А., Ильдарханова Ф.И. Лакокрасочные материалы для долговременной антикоррозионной защиты металлоконструкций в атмосферных условиях // Промышленная окраска. – 2012. – № 2. – С. 8–12.
19. www.plastinfo.ru/ (обращение – 26.08.2011 г.).
20. Сергеева В.В. Органосиликатные композиции – современные индустриальные лакокрасочные материалы для антикоррозионной защиты // Лакокрасочная промышленность. – 2007. – № 8. – С. 8–10.
21. Сусоров И.А., Ефимов Д.Ю., Хаит Е.Л. и др. Полимочевинуретановое изоляционное покрытие для антикоррозионной защиты объектов инфраструктуры морских нефтегазовых платформ // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2007. – № 2. – С. 34–38.
22. James R., Krakowski Frank J. Room temperature curable fluoropolymer coating // Патент 6 838 407 США. МПК7 C08 F 14/22.
23. J. Prof. Coat. Liniggs. – 2008. – Vol. 25. – № 5. – P. 32.
24. Je Wei-Gang, Hu Ji-Ming, Zhang Jian-Qing et al. Reducing the water absorption epoxy coatings by silane monomer incorporation // Corros. Sci. – 2006. – Vol. 48. – № 11. – P. 3731–3739.