

Иванов Е.С.
ОАО Всероссийский научно-
исследовательский институт коррозии
Франк Мюллер
«Stelpaint GmbH»

34

Исследование защитных свойств лакокрасочных полиуретановых покрытий STELPANT в водонефтяных эмульсиях систем нефтесбора

Нефтепромысловое оборудование, трубопроводы, резервуары хранения нефти, водонефтяных эмульсий, сточных вод подвержены интенсивным коррозионным разрушениям. Надежная защита от коррозии и коррозионно-механического разрушения позволяет не только избежать значительных потерь металла и обеспечить длительную безаварийную работу, но и улучшить экологическую обстановку.

В настоящее время одним из прогрессивных направлений повышения сроков службы резервуаров хранения нефти, нефтепродуктов, водонефтяных эмульсий является использование высокоэффективных изолирующих защитных покрытий. Эти покрытия должны обладать высокой атмосферо- и влагостойкостью, стойкостью к таким агрессивным системам как нефть-вода, сероводородсодержащие пластовые воды, быть беспористыми, иметь высокую адгезию к металлической поверхности, достаточно высокую прочность на изгиб и удар, длительные сроки эксплуатации.

Изучение отечественного и зарубежного опыта показывает, что наиболее эффективными и противокоррозионными материалами являются системы лакокрасочных покрытий на основе полиуретановых полимеров. Среди этих материалов широко известны высокоэффективные полиуретановые материалы фирмы Stelpaint GmbH. В последнее время этой фирмой разработаны новые эффективные материалы и системы покрытий.

Цель настоящей работы – комплексная оценка защитных противокоррозионных свойств некоторых систем полиуретановых лакокрасочных покрытий в жидких агрессивных солевых сероводородсодержащих средах, водонефтяных эмульсиях и углеводородах; дать прогноз сроков службы этих систем покрытий.

Таблица 1. Характеристика образцов систем покрытий PU-Stelpant

Обозначение	Система покрытия	Толщина, мкм	Внешний вид покрытий
Система I (Tank Ix4)	PU-Zink 80 мкм × 4	320	Сплошное, матовое, серого цвета
Система II (Tank-Ix2 + Tank-IIx2)	PU-Zink 80 мкм × 2 + PU-Combination 150 мкм × 2	460	Сплошное, ровное, полуглянцевое, черного цвета
Система III	PU-Zink 80 мкм × 2 + PU-Cover 50 мкм × 2	260	Сплошное, ровное, глянцевое, белого цвета

Для испытаний использовали стальные образцы 50×20×24, 150×50×2 мм из Ст3 с тремя системами покрытий. Перед покрытием стальные образцы были опескоструены до степени Sa2; покрытия наносили безвоздушным напылением.

Характеристика систем покрытий приведена в табл. 1.

В связи с необходимостью дать комплексную оценку эффективности защитного действия систем покрытий Stelpant были выбраны следующие агрессивные среды:

- Сероводородсодержащая агрессивная среда по американскому стандарту NACE TM-01-77. Эта среда рекомендуется для испытаний материалов (покрытий, ингибиторов и т.п.), предназначенных для защиты трубопроводов, резервуаров, оборудования, эксплуатирующихся в нефтегазодобывающей промышленности. Состав раствора, г/л: NaCl – 50; CH₃COOH – 5; H₂S до насыщения (2,8 – 3,0); pH = 3,0 ÷ 4,0;

- Модель сточной воды Самотлорского месторождения, имеющая следующий состав, г/л: NaCl – 17; NaHCO₃ – 0,6; CaCl₂ – 0,2; MgCl₂ – 0,2; H₂S – 10-30; pH = 6,5. Эта среда рекомендуется для испытаний трубных сталей, используемых на нефтегазовых месторождениях Западной Сибири;

- Модель сточной воды Усинского нефтегазового месторождения (Север РФ), имеющая следующий состав, г/л: Cl⁻ - 34,79; SO₄²⁻ - 0,675; HCO₃⁻ - 0,451; Ca₂₊ - 5,0; Mg²⁺ - 1,58; H₂S – 50 мг/л; общая минерализация – 56,8; pH = 6.1.

- Для оценки защитной способности вышеуказанных систем покрытий для резервуаров хранения нефтепродуктов использовали Нефрас С2, представляющий смесь алифатических предельных углеводородов (заменитель уайт-спирита). В соответствии с ТУ38.40125-82, Нефрас С2 имеет пределы кипения 160 – 215°C и плотность 0,78 г/см³.

Коррозионные испытания проводили в сосудах с обратными холодильни-

ками емкостью 300 мл. В сосуд заливали агрессивную среду и помещали на стеклянных подвесках 3 образца. Сосуды термостатировали в водяном термостате с точностью ±2°C. Образцы выдерживали в течение 60 суток.

Образцы сталей перед испытаниями обезжиривали ацетоном, затем содовым раствором, промывали проточной водопроводной водой, затем дистиллятом, высушивали фильтровальной бумагой и после выдержки в течение суток в эксикаторе с CaCl₂, взвешивали на аналитических весах ВЛР-200 с точностью до четвертого знака. По завершении испытаний образцы вынимали, осушали фильтровальной бумагой и подвергали внешнему осмотру под микроскопом. Далее удаляли продукты коррозии вначале мягкой карандашной резинкой, а затем, то, что не удалось, в растворе следующего состава: H₂SO₄ – 84 г/л; лимонная кислота – 100 г/л; тиомочевина – 10 г/л. После удаления продуктов коррозии образцы промывали в проточной водопроводной воде, затем дистиллятом, осушали фильтровальной бумагой и выдерживали сутки в эксикаторе с плавленным CaCl₂. Далее образцы осматривали под микроскопом МБС-9, определяли потерю массы стали и рассчитывали скорость коррозии:

$$K = \Delta m \cdot 10^4 / S \cdot \tau, \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}, \text{ где:}$$

m – потеря массы образца, г;

S – площадь поверхности образца, см²;

τ – время испытания, ч.

Результат – среднее арифметическое из 3-х измерений; относительная погрешность результата не превышала 5 %.

Наряду с гравиметрическими испытаниями, проводили определение скорости коррозии стали методом поляризационного сопротивления. Электрод из Ст3 с системой покрытия Stelpant выдерживали в агрессивной среде сутки и затем поляризовали небольшим током порядка 100–500 мкА, что при большой поверхности электрода обеспечивало плотность тока порядка единиц мкА/см²; получали линейные участки поляризационных кривых. Экстра-

поляцией линейных участков катодный и анодных поляризационных кривых до их пересечения определяли ток коррозии и потенциал коррозии стали под пленкой покрытия. Ток коррозии, в соответствии с законом Фарадея, пересчитывали на потерю массы металла и скорость коррозии, которую выражали в мм/год. Испытания проводили в течение 60 суток с периодическими измерениями через 4, 10, 15, 20, 25, 30, 45 и 60 суток.

Для оценки механизма защитного действия покрытий Stelpant использовали импедансный метод. Сущность импедансного метода заключается в измерении емкости Cd и сопротивления R окрашенного металла, изменяющихся под воздействием коррозионной среды. Система металл – покрытие – электролит рассматривается как конденсатор с потерями, в котором металл и жидкая коррозионная среда являются обкладками, а диэлектрической прокладкой является лакокрасочное покрытие. По мере увеличения несплошности покрытия и появления участков с прямой проводимостью, электролит достигает поверхности металла и измеряемая емкость будет определяться суммой электрической и электрохимической составляющих. Электрическая емкость мала по величине и не зависит от частоты накладываемого переменного тока, а электрохимическая емкость Cd зависит от частоты и возрастает по мере проникновения электролита через покрытие. Сопротивление R зависит от частоты переменного тока в том случае, когда покрытие обладает высокими изоляционными свойствами, что характерно для начального момента воздействия электролита на лакокрасочное покрытие или для покрытий с высокими защитными свойствами. Для покрытий со слабыми защитными свойствами характерно отсутствие или малая зависимость сопротивления R от частоты.

Исходя из вышесказанного, за критерий оценки защитных свойств лакокрасочных покрытий в этом методе, принимается изменение частотной

лакокрасочные материалы

зависимости емкости и сопротивления окрашенного металла C_d , $R=f(\omega)$ и изменение зависимости сопротивления во времени $R=f(\tau)$ в коррозионной среде при фиксированной частоте переменного тока.

Импедансные измерения проводили с помощью моста переменного тока Р-5021 в интервале частот от 0,5 до 50 кГц; амплитуда переменного тока ~3 мВ; вспомогательный электрод – платиновая фольга $S = 2 \text{ см}^2$. На поверхности образца с системой лакокрасочного покрытия Stelpant выбрали участок без механических повреждений, на который приклеивали прямоугольную ячейку из оргстекла. В ячейку заливали коррозионно-активную среду и периодически проводили импедансные измерения.

Адгезию систем покрытий Stelpant определяли после завершения испытаний методом решетчатых надрезов в соответствии с ГОСТ 15140-78 (стандарт СЭВ 2545-80). В соответствии с этим документом, балл 1 имеют покрытия с максимальной адгезией, балл 4 – покрытия с минимальной адгезией (полное отслаивание от подложки).

До и после климатических испытаний определяли следующие физико-химические свойства пленок систем лакокрасочных покрытий Stelpant:

- прочность пленки покрытия при ударе в соответствии с ГОСТ 4765-73 на приборе У-1;

- твердость покрытия по маятниковому прибору М-3 в соответствии с ГОСТ 5233-67;

- прочность пленки покрытия на изгиб в соответствии с ГОСТ 6806-73;

- удельное объемное электрическое сопротивление (ρ_v), в соответствии с ГОСТ 6433.2-71, ГОСТ 6433.4-71 на приборе тераомметр Е6-13А со специальной рабочей площадкой для закрепления образцов.

Испытания в Нефрасе С2 осуществляли в сосудах со шлифами, объемом 500 мл, в которые помещали образцы с покрытиями и заливали Нефрас С2 до полного погружения образцов. Образцы выдерживали при комнатной температуре в течении 30 суток, затем извлекали, производили внешний осмотр на наличие дефектов покрытия (вспучивание, отслаивание, пузырение и т.п.), выдерживали на воздухе в помещении лаборатории ($20 \pm 2^\circ\text{C}$) в течении 24 часов и взвешивали на аналитических весах.

На рис. 1 представлены линейные участки поляризационных кривых, полученные после 4 суток выдержки образцов с покрытиями Stelpant в модельной

среде Усинского месторождения. Подобные зависимости получали для более длительного времени выдержки покрытий в агрессивных средах.

В области небольших поляризации (10–20 мкА/см²) хорошо соблюдается линейная зависимость потенциал-плотность тока. Экстраполяцией катодных и анодных линейных участков до их пересечения находили токи коррозии и, соответственно, скорость коррозии.

На рис. 2 представлены зависимости скорости коррозии стали под различными системами покрытий PU-Stelpant от времени выдержки в агрессивной среде, моделирующей среду Усинского месторождения. Видно, что для систем покрытия II и III в течение первых 240 часов испытаний наблюдается возрастание скорости коррозии под покрытиями, а затем, при продолжении испытаний постепенное уменьшение скорости коррозии, которая после 60 суток испытаний не превысила $10^{-4} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$. Четырехслойное монопокрытие PU-Zink менее стойко в этой среде, нежели системы покрытий II и III; начальная скорость коррозии под этим покрытием после 4 суток испытаний составляет $\sim 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ против $1,5 \cdot 10^{-4}$ и $2,3 \cdot 10^{-4} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ под покры-

Таблица 2. Результаты коррозионных испытаний стальных образцов с системами покрытий PU-Stelpant в водных агрегатах

Система покрытий PU-Stelpant, общая толщина, мкм	Агрессивная среда	Скорость коррозии, $K \cdot 10^{-4} \text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ за время испытаний, сут						
		4	10	15	20	30	45	60
Система I PU-Zink, 80 мкм×4 320 мкм	Среда по стандарту NACE TM 01-77	3,8	4,8	3,9	3,5	3,7	3,6	3,6
	Модель сточной воды Усинского нефтегазового месторождения	2,1	2,9	2,5	2,4	2,5	2,2	2,3
	Модель сточной воды Самотлорского нефтегазового месторождения	2,0	2,3	2,0	1,5	1,7	1,5	1,5
Система II PU-Zink, 80 мкм×4 + PU-Combination 150 мкм×2 460 мкм	Среда по стандарту NACE TM 01-77	4,2	5,1	4,5	4,1	3,8	3,7	3,8
	Модель сточной воды Усинского нефтегазового месторождения	3,0	3,5	3,0	2,8	2,5	2,5	2,5
	Модель сточной воды Самотлорского нефтегазового месторождения	1,8	2,2	2,2	1,5	1,5	1,2	1,3
Система III PU-Zink, 80 мкм×4 + PU-Cover 50 мкм×2 460 мкм	Среда по стандарту NACE TM 01-77	1,5	1,7	1,7	1,2	1,0	1,0	1,0
	Модель сточной воды Усинского нефтегазового месторождения	1,0	1,5	1,0	0,6	0,5	0,3	0,3
	Модель сточной воды Самотлорского нефтегазового месторождения	1,0	0,8	0,5	0,3	0,2	0,1	0,1

Таблица 3. Результаты коррозионных испытаний стальных образцов с системами покрытий PU-Stelpant в Нефрасе С2 (неподвижная жидкость), при $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$

Система покрытия	Потеря массы образца (-) или привес (+) $\Delta m/S$, г/см ² и внешний вид покрытия за время испытания						Адгезия покрытия, балл, после 30 сут. испытаний
	10 суток		20 суток		30 суток		
	$\Delta m/S$	внешний вид	$\Delta m/S$	внешний вид	$\Delta m/S$	внешний вид	
Система I	+1,5	без изм.	+2,3	без изм.	+3,4	без изм.	1
Система II	+2,3	без изм.	+2,8	без изм.	+3,7	без изм.	1
Система III	+0,5	без изм.	+1,1	без изм.	+1,8	без изм.	1

тиями системы II и III. Скорость коррозии стали под PU-Zink плавно уменьшается со временем, хотя и остается несколько выше, чем под покрытиями II и III. Наличие максимума скорости коррозии стали под системами покрытий II и III, по нашему мнению, связано вначале с проникновением агрессивной среды в поры покрытия и активным развитием коррозионного процесса, последующее уменьшение – с образованием продуктов коррозии, которые заполняют поры и препятствуют проникновению агрессивной среды к поверхности стали. Видимо, покрытия PU-Stelpant имеют изначально определенную небольшую степень пористости (свою собственную для определенного вида покрытия), которая не изменяется со временем воздействия агрессивной среды, а снижение коррозионных

потерь со временем связано с диффузионными ограничениями подвода деполяризатора катодной реакции за счет закрытия имеющихся пор продуктами коррозии. Если бы количество пор в покрытии со временем испытаний возрастало, то возрастала бы и скорость коррозии, чего не наблюдается в действительности.

На рис. 3 показано влияние агрессивности среды на защитные свойства системы покрытия II за время испытаний 30 суток. Видно, что для этой системы наиболее агрессивной является сероводородсодержащая среда по стандарту NACE TM 01-77, менее агрессивными – среды, моделирующие подтоварные воды Усинского и затем Самотлорского месторождений. Однако, скорости коррозии стали под исследованной системой покрытий II в вышеуказанных средах не превыша-

ют $(1:3) \cdot 10^{-4}$ мм/год, т.е. является весьма малыми. Более высокая агрессивность среды NACE по TM 01-77 обусловлена низким значением pH и высокой концентрацией H₂S. Аналогичное влияние агрессивных сред наблюдали и для системы покрытий I и III.

По данным поляризационных измерений были вычислены поляризационные сопротивления катодного и анодного процессов под покрытием PU-Zink в модельной среде Усинского месторождения (рис. 4). Как следует из рис. 4, первые 10 суток поляризационные сопротивления R_p^a и R_p^k несколько уменьшаются, а затем возрастают, и после 15 суток испытаний остаются неизменными, равными $\sim 10^9$ Ом·см; R_p^a и R_p^k незначительно отличаются друг от друга, что свидетельствует о примерно равных скоростях катодного и анодного процессов

в агрессивных средах при полном погружении образцов; $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$.

Внешний вид покрытия после 60 сут. испытаний
На поверхности образца черная плотная пленка с вкраплениями белых точек. Продукты коррозии стали отсутствуют; поверхность стали под покрытием чистая.
Поверхность покрытия имеет отдельные белые и черные пятна; видимых следов коррозии стали под покрытием не наблюдается.
Поверхность покрытия слегка потемнела; видимые следы коррозии основного металла отсутствуют.
На поверхности покрытия небольшой черный налет, удаляется легко, отдельные белые точки; видимых следов коррозионного поражения на поверхности стали нет.
Несколько темных пятен на поверхности покрытия; видимых следов коррозии стали под покрытием не обнаружено.
Поверхность покрытия без изменения; коррозии основного металла под покрытием не обнаружено
Поверхность покрытия без изменения; видимые следы коррозии под покрытием отсутствуют
Поверхность покрытия без изменения; видимых следов коррозии стальной подложки не обнаружено.
Поверхность покрытия без изменения; следов коррозии основного металла не обнаружено

лакокрасочные материалы

под пленкой покрытия. Довольно высокое значение Rp обусловлено хорошими изолирующими свойствами покрытия PU-Stelpant, малой пористостью покрытия.

В табл. 2 приведены результаты коррозионных испытаний систем покрытий PU-Stelpant в трех агрессивных средах. В целом, эти данные подтверждают результаты электрохимических исследований; значение скоростей коррозии не сильно отличаются между собой. Следует отметить, что после удаления покрытий, видимых следов коррозии на стальной подложке не наблюдали, сами покрытия незначительно изменили свой

вид, особенно в среде NACE по стандарту TM 01-77. Наилучшие декоративные свойства показала система покрытий III, внешний вид которой практически не изменился во всех агрессивных средах после 60 суток испытаний. Адгезия покрытий после 60 суток испытаний в исследованных агрессивных средах составила балл 1, т.е. все системы PU-Stelpant имеют высокие адгезионные свойства к стальной подложке.

В табл. 3 приведены результаты испытаний систем покрытий PU-Stelpant в Нефрасе С2. Видно, что за все время испытаний наблюдался привес массы $(0,5-3,7) \cdot 10^{-4}$ г/см², что связано с не-

большим набуханием пленки покрытия. За время испытаний (30 суток) не наблюдалось изменения поверхности систем покрытия I – III, пузырения, отслаивания; адгезия покрытия осталась на исходном уровне (балл 1).

Учитывая, что потери массы систем покрытий I – III за время испытаний в жидких агрессивных средах невелики, а в Нефрасе С2 – отсутствуют, под покрытием не обнаружено коррозии стали, адгезия сохранилась на исходном уровне, можно считать, что исследованные системы PU-Stelpant обладают высокими защитными свойствами.

По окончании коррозионных испыта-

Таблица 4. Физико-механические свойства систем PU-Stelpant на стальной подложке до и после испытаний в различных агрессивных жидких средах

Вид покрытия	Состояние покрытия	Прочность покрытия при ударе, кг•см	Прочность покрытия на изгиб, мм	Твердость по маятниковому прибору М-3, усл. ед.	Удельное объемное электрическое сопротивление, Ом•м	Адгезия покрытия по ГОСТ 15140-78, балл
Система I (320 мкм)	- исходное состояние	не менее 50	не более 1	0,65	$8,0 \cdot 10^{10}$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Самотлорской воды	45	не более 1	0,62	$6,1 \cdot 10^9$	1
	- после 60 сут. испытаний в среде NACE по TM 01-77	45	не более 1	0,60	$4,2 \cdot 10^9$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Усинской воды	50	не более 1	0,60	$1,3 \cdot 10^9$	1
	- после 30 сут. испытаний в Нефрасе С2	45	не более 1	0,60	$1,2 \cdot 10^9$	1
Система II (460 мкм)	- исходное состояние	не менее 50	не более 1	0,67	$9,5 \cdot 10^{10}$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Самотлорской воды	45	не более 1	0,65	$8,5 \cdot 10^9$	1
	- после 60 сут. испытаний в среде NACE по TM 01-77	45	не более 1	0,63	$3,5 \cdot 10^9$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Усинской воды	50	не более 1	0,60	$6,1 \cdot 10^9$	1
	- после 30 сут. испытаний в Нефрасе С2	45	не более 1	0,60	$6,5 \cdot 10^9$	1
Система III (260 мкм)	- исходное состояние	> 50	не более 1	0,68	$9,0 \cdot 10^{10}$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Самотлорской воды	50	не более 1	0,65	$8,5 \cdot 10^{10}$	1
	- после 60 сут. испытаний в среде NACE по TM 01-77	45	не более 1	0,65	$8,0 \cdot 10^{10}$	1
	- после 60 сут. испытаний в модели Усинской воды	45	не более 1	0,65	$8,0 \cdot 10^{10}$	1
	- после 30 сут. испытаний в Нефрасе С2	45	не более 1	0,62	$8,0 \cdot 10^{10}$	1

ний были определены физико-механические характеристики систем покрытий PU-Stelpant. В табл. 4 представлены результаты, из которых следует, что прочность покрытия при ударе, на изгиб, твердость, адгезия к подложке практически не изменились по сравнению с исходным состоянием. Удельное объемное сопротивление после испытаний в исследованных средах уменьшилось ~ на порядок, однако, осталось на достаточно высоком уровне $(1,3-8,0) \cdot 10^9$ Ом·м, что свидетельствует о высоких диэлектрических и изолирующих свойствах систем покрытия PU-Stelpant.

Это подтверждается измерениями частотной зависимости сопротивления покрытий систем I и II в модельной среде Усинского месторождения и среде NACE по ТМ 01-77. Как следует из рис. 5 зависимость $\lg(R) - \lg(\omega)$ имеет высокий угол наклона, что свидетельствует о высоких изолирующих свойствах систем покрытий PU-Stelpant.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что полиуретановые покрытия PU-Stelpant обладают высокой эффективностью противокоррозионной защиты за счет высоких адгезионных и изолирующих свойств.

Были проведены длительные коррозионные испытания систем покрытий PU-Stelpant в вышеуказанных средах в течение более 150 суток. На основе рекомендаций ГОСТ 9401-91 были определены прогнозные сроки службы исследованных систем покрытий PU-Stelpant. По нашим данным защитные свойства исследованных покрытий составляют не менее 10 лет, а в зависимости от системы покрытия и агрессивности среды могут составлять 15-20 лет. Вышеуказанные системы покрытий можно рекомендовать для защиты внутренних поверхностей резервуаров хранения водносолевых сероводородсодержащих нефтяных эмульсий, нефти, некоторых нефтепродуктов на длительные сроки (не менее 10 лет).

Необходимо также отметить, что наряду с высокими защитными свойствами системы полиуретановых материалов фирмы Stelpant обладают высокими технологическими свойствами, технология их нанесения может быть осуществлена любыми существующими в настоящее время способами. По сравнению с существующими материалами подобного класса они имеют ряд существенных преимуществ: они одноупаковочные, отверждаются влагой воздуха, могут наноситься на металлические поверхности в условиях влажной атмосферы.

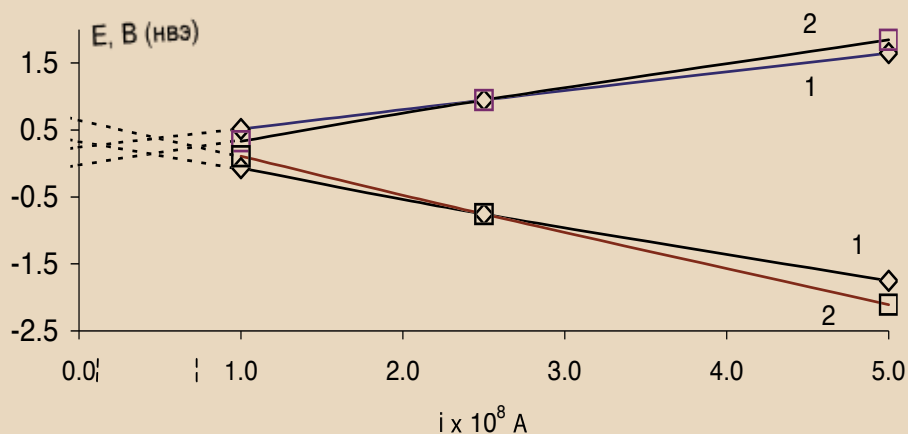


Рис. 1. Линейные участки гальваностатических поляризационных кривых, снятых в модельной воде Усинского месторождения для систем покрытий: 1 – система II; 2 – система I

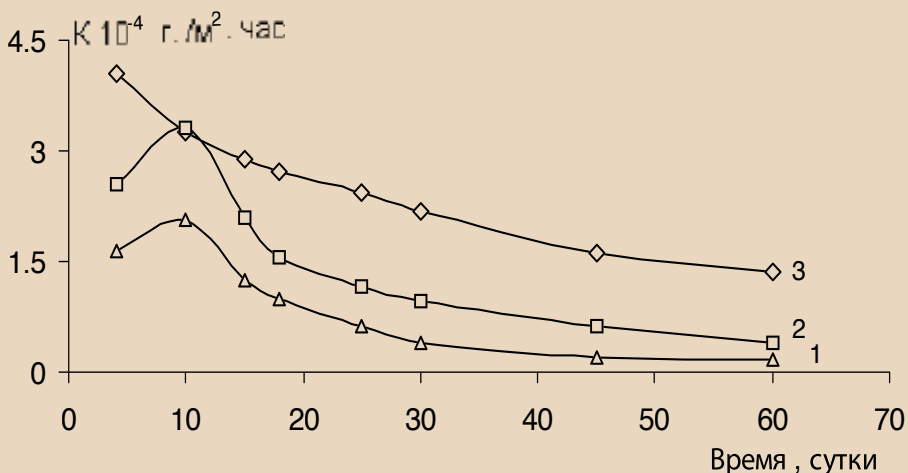


Рис. 2. Зависимость скорости коррозии от времени испытаний в модельной среде Усинского месторождения: 1 – система I; 2 – система II; 3 – система III

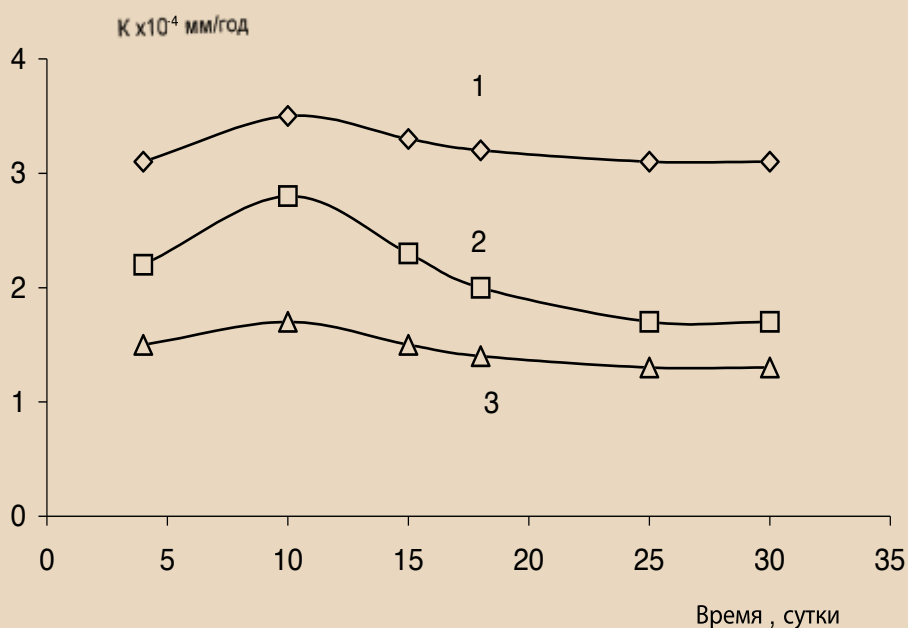


Рис. 3. Влияние агрессивности среды на защитные свойства системы покрытий Stelpant-II:
1 – среда по стандарту NACE TMOI - 77;
2 – модель воды Усинского месторождения;
3 – модель воды Самотлорского месторождения

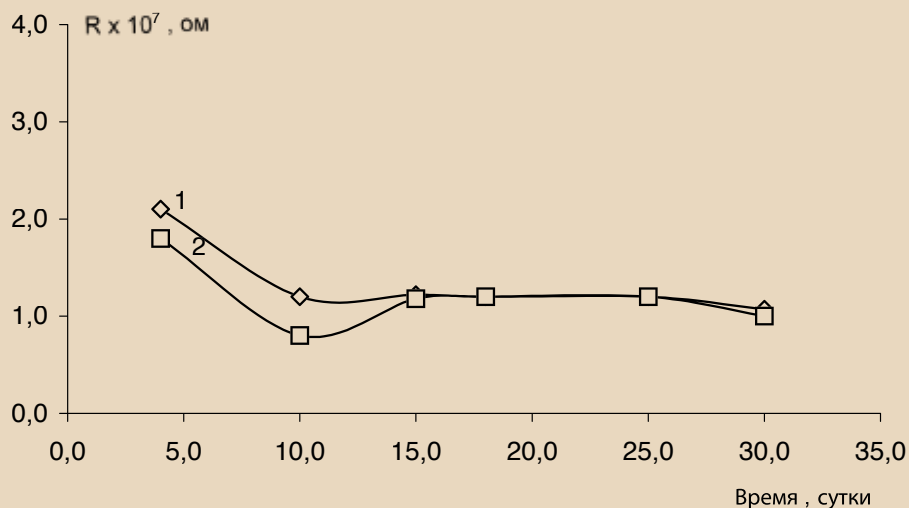


Рис. 4. Зависимость анодного (1) и катодного (2) поляризационных сопротивлений от времени выдержки в модельной воде Усинского месторождения для системы покрытия I (площадь образца 50 см^2 , толщина покрытия 320 мкм)

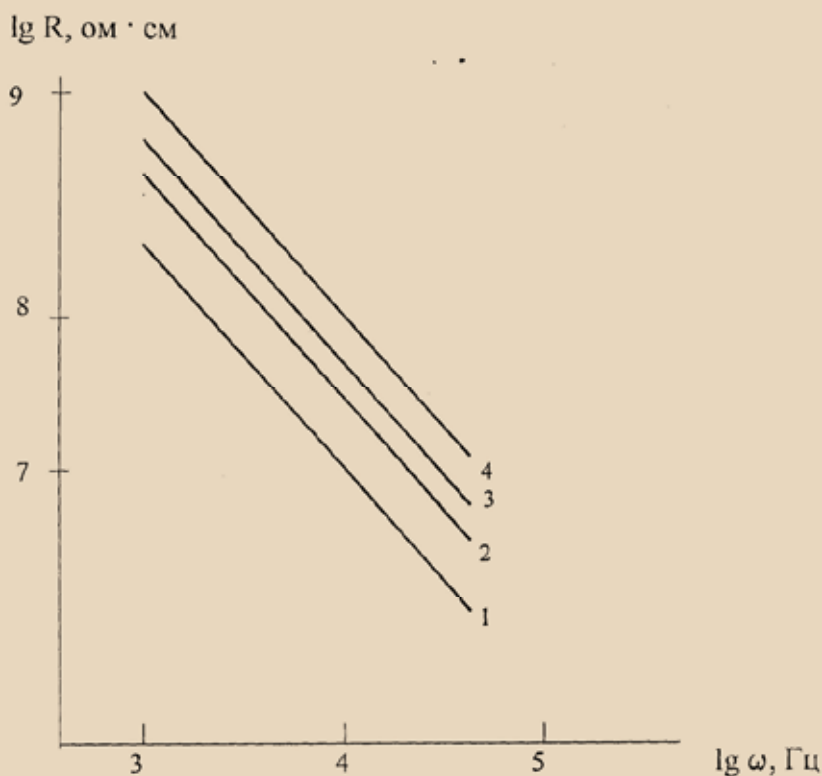


Рис. 5. Частотная зависимость сопротивления покрытия PU-Stelpant после 60 суток испытаний в агрессивных средах при $20 \text{ }^\circ\text{C}$. 1, 2 — система I; 3, 4 — система II; 1, 3 — среда NACE; 2, 4 — модельная среда Усинского месторождения

ры (при наличии на металле капиллярной, конденсационной влаги), а также при низких температурах (при минус 5°C); температурный интервал эксплуатации – от минус 50°C до $+120^\circ\text{C}$; системы покрытий PU-Stelpant имеют высокую адгезионную прочность к металлу, малопористые.

ВЫВОДЫ

1. Проведены лабораторные испытания трех систем покрытий фирмы Stelpaint GmbH с целью оценки возможности их использования для противокоррозионной защиты стальных резервуаров хранения нефти, нефтепродуктов, сероводородсодержащих, водонефтяных эмульсий, а также оборудования нефтепромыслов, трубопроводов, соприкасающихся с агрессивными средами.

2. Установлено, что системы покрытий: 1) PU-Zink, толщиной 320 мкм ; 2) PU-Zink, 160 мкм + PU-Combination, 300 мкм ; 3) PU-Zink, 160 мкм + PU-Cover, 100 мкм показали высокие защитные свойства в жидких агрессивных средах, имитирующих сточные воды Самотлорского и Усинского месторождений, в сероводородсодержащей среде по стандарту NACE TM-01-77, Нефрасе C2.

3. Электрохимическими и импедансными измерениями показано, что вышеуказанные покрытия являются малопористыми, обладают высокими изолирующими и адгезионными свойствами, что обуславливает высокую эффективность защиты.

4. Показано, что физико-механические свойства исследованных систем покрытий, такие как прочность при ударе, изгибе, твердость, адгезия после испытаний в агрессивных жидких средах практически не изменились по сравнению с исходными значениями.

5. Прогнозируемый срок службы исследованных систем покрытий PU-Stelpant в агрессивных сероводородсодержащих солевых, водно-нефтяных эмульсиях, нефти, нефтепродуктах составляет не менее 10 лет. Исследованные системы покрытий можно рекомендовать для защиты внутренних поверхностей труб, резервуаров, соприкасающихся с вышеуказанными агрессивными средами.