

УДК 661.1:541.18

## ИЗУЧЕНИЕ СМАЧИВАНИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ И СТАЛЬНОЙ ПОДЛОЖЕК ПОЛИОРГАНОСИЛОКСАНАМИ В ПРИСУТСТВИИ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ

Тюканько Виталий Юрьевич<sup>1</sup>,  
vetal3333@mail.ru

Дюрягина Антонина Николаевна<sup>2</sup>,  
adyuryagina@inbox.ru.

Островной Кирилл Александрович<sup>2</sup>,  
kostrovnoy@mail.ru

Демьяненко Александр Валентинович<sup>2</sup>,  
demianenkoav@mail.ru

<sup>1</sup> АО «Казнефтегазмаш»,  
Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Новая, 122.

<sup>2</sup> Северо-Казахстанский университет им. М. Козыбаева,  
Республика Казахстан, 150000, г. Петропавловск, ул. Абая, 18.

Актуальность работы обусловлена необходимостью создания новых антикоррозионных лакокрасочных материалов, с повышенным ресурсом эксплуатации, для защиты от коррозии газо-нефтепроводов и устьевого оборудования нефтяных скважин.

**Целью** работы являлось увеличение ресурса эксплуатации кремнийорганических лакокрасочных покрытий, основанное на изучении влияния азотсодержащих поверхностно-активных веществ на смачивание алюминиевой и стальной подложек в кремнийорганических лакокрасочных материалах.

**Методы исследования:** анализ поверхностного натяжения в статическом режиме на приборе Ребиндера, на границе фаз «раствор полифенилсилоксана/вода» и «раствор полифенилсилоксана/воздух». Замер и анализ краевых углов смачивания на границе «раствор полифенилсилоксана/алюминий/вода» и «раствор полифенилсилоксана/сталь/вода». Фотографирование поверхностей покрытий и электрохимическое определение пористости покрытий.

Представлены **результаты** исследований влияния азотсодержащих поверхностно-активных веществ на смачивание алюминиевой и стальной подложек растворами полифенилсилоксанов, рассчитано изменение работы смачивания, и показано их влияние на пористость покрытий. Введение поверхностно-активных веществ улучшает смачивание металлических подложек в растворах полиорганосилоксанов, что выражается в изменении краевого угла смачивания. Для алюминиевой подложки данное изменение составляет 22°, для стальной – 32,5°. Анализ изменения работы смачивания позволяет говорить, что наибольшую смачивающую активность проявляют полиэтиленполиамины (при их содержании в растворе до 0,5 г/дм<sup>3</sup>), а в более концентрированных растворах (с содержанием добавок более 0,5 г/дм<sup>3</sup>) – низкомолекулярные амины. Выведены уравнения, описывающие влияние на краевые углы смачивания содержания аддитивов и полифенилсилоксанов, и на их основе построены номограммы. Введение поверхностно-активных веществ вызывает уменьшение пористости и шероховатости покрытий (в 2,5 раза).

### Ключевые слова:

Алюминиевая и стальная подложка, кремнийорганические покрытия, азотсодержащие поверхностно-активные вещества, смачивание, изменение работы смачивания, пористость покрытий, блеск.

### Введение

Кремнийорганические лакокрасочные материалы исторически занимают значительную долю рынка лакокрасочных материалов [1]. Данный тип лакокрасочных материалов является переходной группой между органическими (физико-механические свойства) и неорганическими покрытиями (высокая термостойкость, обусловленная формированием при нагревании «кварцеподобных» структур), поэтому данные композиты имеют хорошие перспективы для разработки новых защитных покрытий [2–4]. Помимо основного требования к пигментированным покрытиям – способности формировать покрытия с заданными защитными характеристиками [5] (цвет, блеск) и структурно-механическими (твёрдость, прочностью, к ним предъявляются требования, связанные с де-

коративными (цвет, блеск) и структурно-механическими (твёрдость, прочность) свойствами. Качество покрытий по этим параметрам во многом зависит от степени дисперсности пигментов и смачиваемости подложки, обеспечивающей адгезионные характеристики покрытия. Для формирования высокодисперсной суспензии пигмента в кремнийорганическом лаке и хорошей адгезии покрытий на стальной подложке металлические поверхности должны хорошо смачиваться растворами лакокрасочных материалов. В кремнийорганических лакокрасочных эмалях традиционно используется в качестве пигмента алюминиевая пудра. Кремнийорганические эмали наносятся преимущественно на стальные подложки, поверхностные слои которых содержат значительное количество адсорбционных полярных центров. Поэтому

смачивание металлических поверхностей, как результирующая величина, зависит от полярности смачивающей среды, в нашем случае полиорганосилоксановые растворы являются малополярными системами и, следовательно, имеют низкие адсорбционные характеристики на гидрофильных поверхностных слоях алюминия и стали. Для увеличения гидрофобности алюминиевого пигмента и стальной подложки (и, следовательно, увеличения их смачиваемости растворами полиорганосилоксанов) может быть рекомендовано применение азотсодержащих поверхностно-активных веществ (ПАВ), образующих «привитый слой». Модифицирование лакокрасочных материалов поверхностно-активными веществами отличается большим технологическим (увеличивается ресурс покрытий) и экономическим эффектом (уменьшаются затраты на приготовление и применение лакокрасочных материалов) [6]. В литературных источниках сообщается о разработке кремнийорганических составов с применением различных азотсодержащих соединений [7–12]. Кроме того, есть ряд работ, посвящённых изучению различных факторов, таких как содержание и вид ПАВ, типа полиорганосилоксана и наполнителя на смачивание различных подложек лакокрасочными составами [13–16]. Барьерные свойства кремнийорганических покрытий, наносимых совместно с оксидными плёнками, были исследованы в работе [17], показано большое влияние внутренних напряжений формируемых покрытий на проницаемость пленок и их эксплуатационный ресурс.

Не смотря на значительное количество работ в области химического модифицирования силоксановых смол и композиций, введение азотсодержащих ПАВ представляется довольно перспективным направлением улучшения качества силиконовых покрытий.

#### Экспериментальная часть

Использованные материалы

В качестве пленкообразователя использовали полифенилсилоксановый лак К0-85 (далее ПФС) по ГОСТ 11066–74, производитель – фирма «Спектр», Россия. В качестве растворителя использовали толуол по ГОСТ 14710–78 (плотность 0,866 г/см<sup>3</sup> (при 20 °С); содержание толуола 99,80 %), производитель – фирма «Славнефть», Россия.

В качестве азотсодержащих ПАВ использовали:

- 1) смесь первичных и вторичных аминов – «АС-1» (молекулярная масса 250 а.е.м.; аминное число (мг HCl/г) 30), синтезирована лабораторией физико-химических методов исследований кафедры химической технологии Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева.

- 2) технический продукт конденсации растительных масел с диаминами под торговой маркой «Диспергатор Телаз Д» (молекулярная масса 2121 а.е.м.; аминное число (мг HCl/г) 32), производитель – «Автоконтинвест», Россия.

- 3) технический продукт, смесь высокомолекулярных аминов – ПЭПА (молекулярная масса 4950 а.е.м.; аминное число (мг HCl/г) 31), производитель – ОАО «УралХимПласт», Россия.

Методика и проведение экспериментов

В качестве подложек применяли алюминиевый сплав марки А85 по ГОСТ 11069 (массовая доля алюминия в сплаве не менее 99,85 %) и стальные пластины, марки 08кп ГОСТ 1050 (содержание железа в сплаве ≈98 %).

При проведении исследований определяли:

- поверхностное натяжения в статическом режиме на приборе Ребиндера, на границе фаз – «раствор полифенилсилоксана/вода»  $\delta_{жж}$  (мДж/м<sup>2</sup>) и «раствор полифенилсилоксана/воздух»  $\delta_{жг}$  (мДж/м<sup>2</sup>);
- краевые углы смачивания на границе «раствор полифенилсилоксана/алюминий/вода» ( $\theta'$ ) и «раствор полифенилсилоксана/сталь/вода» ( $\theta''$ ) при постоянной температуре 25 °С [18].

Поверхностное натяжение определяли в системах:

- 1) толуол/вода, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и полифенилсилоксанов от 0 до 30 % (по массе);
- 2) раствор полифенилсилоксана в толуоле/вода, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и ПФС от 0 до 30 % (по массе);
- 3) толуол/воздух, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и полифенилсилоксанов от 0 до 30 % (по массе);
- 4) раствор полифенилсилоксана в толуоле/воздух, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и ПФС от 0 до 30 % (по массе);

Краевые углы смачивания определяли на границах фаз:

- 1) раствор полифенилсилоксана/алюминий/вода, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и ПФС от 0 до 30 % (по массе);
- 2) раствор полифенилсилоксана/сталь/вода, при концентрациях ПАВ от 0 до 2 г/дм<sup>3</sup> и ПФС от 0 до 30 % (по массе);

Исследование поверхностного натяжения растворов

Введение азотсодержащих поверхностно-активных веществ в растворы полифенилсилоксанов уменьшает поверхностное натяжение на границе фаз «раствор полифенилсилоксана/вода» и «раствор полифенилсилоксана/воздух». Максимальная депрессия поверхностного натяжения наблюдалась для всех исследованных ПАВ в растворителе при их концентрации 0,5 г/дм<sup>3</sup>, а в растворах полифенилсилоксан/толуол – на уровне от 0,25 до 0,5 г/дм<sup>3</sup>.

Исследование смачивания алюминиевой подложки

Краевой угол смачивания толуолом алюминия 116,3°, что говорит о его малой гидрофильности. Для справки, капля воды на фторопласте имеет краевой угол смачивания от 112° до 130°. При добавлении в толуол полифенилсилоксанов наблюда-

ется рост краевого угла смачивания с  $116^\circ$  до  $126^\circ$ , что свидетельствует о дополнительном уменьшении гидрофильности поверхности алюминиевого пигмента. Однако при добавлении поверхностно-активных веществ наблюдается увеличение гидрофильности поверхности пигмента. Краевой угол смачивания водой при введении в толуол АС-1 в концентрациях до  $2 \text{ г/дм}^3$  уменьшается на  $16,5^\circ$ ; для ПЭПА и Телазы –  $14,5^\circ$ . В растворах полифенилсилоксанов (с концентрацией 30 % по массе), т. е. в промышленном лаке, предназначенном для изготовления кремнийорганической эмали КО-814 по ГОСТ 11066–74, гидрофилизующий эффект поверхностно-активных веществ несколько возрастает. Так, для АС-1 изменение краевого угла смачивания составляет  $22^\circ$ , для ПЭПА и Телазы –  $14^\circ$ . Поэтому можно заключить, что введение поверхностно-активных веществ в растворы полифенилсилоксанов вызывает рост гидрофильности алюминиевого пигмента.

Исследование смачивания стальной подложки

Краевой угол смачивания толуолом стали/в воде  $134^\circ$ , что говорит о его низкой гидрофильности. При добавлении в толуол полифенилсилоксанов (до 30 %) наблюдается рост краевого угла смачивания с  $134^\circ$  до  $153^\circ$ , что свидетельствует об уменьшении гидрофильности поверхности стали. Однако при добавлении поверхностно-активных веществ наблюдается рост гидрофильности поверхности стали; краевой угол смачивания водой при введении в

толуол АС-1 в концентрациях до  $2 \text{ г/дм}^3$  уменьшается на  $32,5^\circ$ ; для ПЭПА –  $23^\circ$  и Телазы –  $14,5^\circ$ . В растворах полифенилсилоксанов (с концентрацией 30 % по массе), т. е. в промышленном лаке, предназначенном для изготовления кремнийорганической эмали КО-814 по ГОСТ 11066–74, гидрофилизующий эффект поверхностно-активных веществ сохраняется. Поэтому можно заключить, что введение поверхностно-активных веществ в растворы полифенилсилоксанов вызывает рост количества адгезионных контактов, между формируемым покрытием и поверхностью окрашенной детали.

### Результаты и их обсуждение

Расчет влияния содержания поверхностно-активных веществ на смачивание металлических поверхностей

Взаимодействие подложки с жидкой фазой можно количественно оценить по работе смачивания ( $W_{\text{см}}$ ). Работа смачивания рассчитывается по уравнению (1):

$$W_{\text{см}} = \delta\mathcal{J}_1\mathcal{J}_2 \cdot \cos\theta, \quad (1)$$

где  $\delta\mathcal{J}_1\mathcal{J}_2$  – поверхностное натяжение на границе жидкость/жидкость,  $\text{мДж/м}^2$ ;  $\theta$  – краевой угол смачивания твёрдой поверхности, град.

Однако на практике большее применение нашла не сама работа смачивания ( $W_{\text{см}}$ ), а её изменение ( $\Delta W_{\text{см}}$ ), рассчитанное по формуле (2):

$$\Delta W_{\text{см}} = W_{\text{см ПАВ}} - W_{\text{см}}, \quad (2)$$

где  $W_{\text{см ПАВ}}$  – работа смачивания на поверхности, покрытой адсорбционным слоем поверхностно-ак-

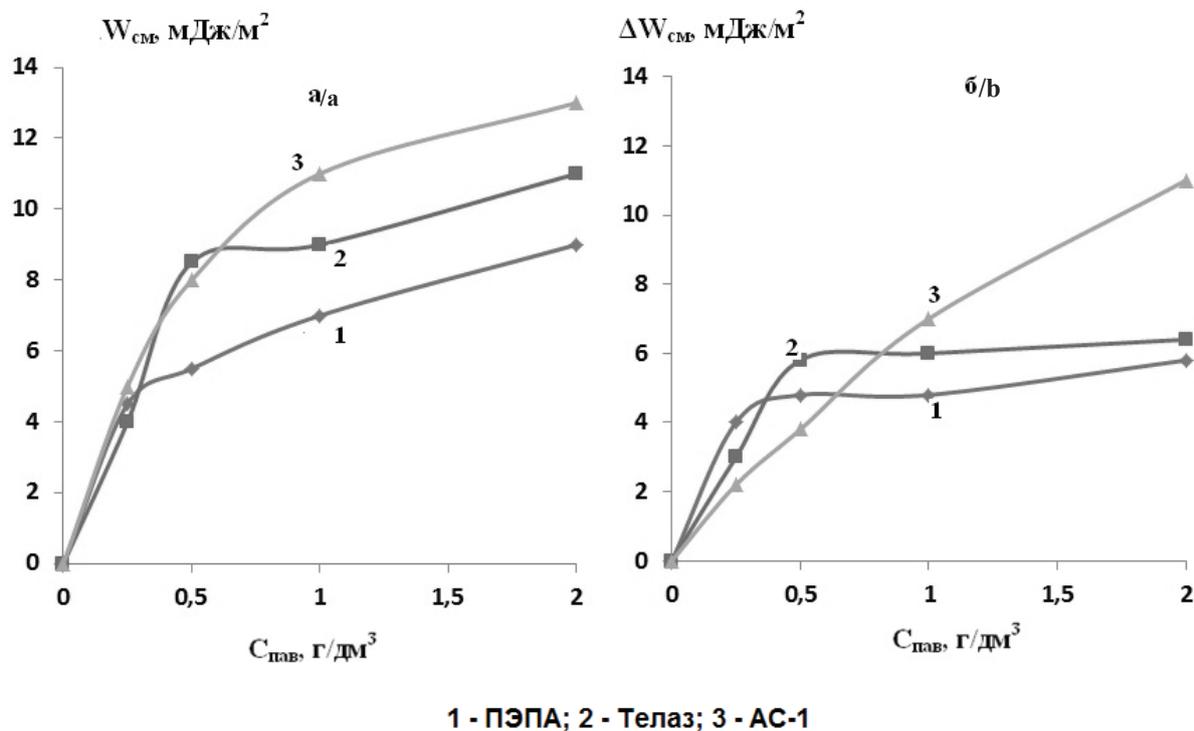


Рис. 1. Влияние поверхностно-активных веществ на изменение работы смачивания ( $\Delta W_{\text{см}}$ ) в отношении алюминия (а) и стали (б) (содержание полифенилсилоксанов 30 % (по массе)) при  $t=25^\circ\text{C}$

Fig.1. Influence of surface-active agents on the change of wetting ( $\Delta W_{\text{см}}$ ) in respect of aluminium (a) and steel (b) (the content of polyphenylsiloxane is 30 % (by weight)) at  $t=25^\circ\text{C}$

тивных веществ, мДж/м<sup>2</sup>;  $W_{см}$  – работа смачивания на поверхности, не покрытой адсорбционным слоем поверхностно-активных веществ, мДж/м<sup>2</sup>.

Следовательно, по характеру изменения  $\Delta W_{см}$  можно оценить влияние поверхностно-активных веществ на поверхностное натяжения на границе «раствор полифенилсилоксана/алюминиевая подложка» и «раствор полифенилсилоксана/стальная подложка». На рис. 1 представлено влияние содержания поверхностно-активных веществ на изменение работы смачивания на металлических поверхностях, рассчитанное по формуле (2).

Влияние различных поверхностно-активных веществ на смачивание в промышленном лаке (содержание полифенилсилоксанов 30 % (по массе)) неоднозначно, так ПЭПА и Телаз имеют максимальное изменение работы смачивания при их концентрациях в растворах до 0,5 г/дм<sup>3</sup>, что согласуется с результатами ранее проведенных исследований – влияния данных поверхностно-активных веществ на диспергирование алюминиевого пигмента, наибольший эффект наблюдается в присутствии ПЭПА и Телаз при их содержании 0,25 г/дм<sup>3</sup> [19]. В растворах полифенилсилоксанов с содержанием поверхностно-активных веществ более 0,5 г/дм<sup>3</sup> максимальное изменение работы смачивания характерно уже для АС-1, что может говорить о влиянии молекулярной массы поверхностно-активных веществ на процессы адсорбции ПАВ и на смачивание поверхностей в данных системах.

#### Определение оптимальных режимов смачивания

По результатам экспериментов выведено уравнение, описывающее влияние на краевые углы смачивания алюминия и стали, концентрации полифенилсилоксанов и поверхностно-активных веществ (3):

$$\theta = \frac{k(C_{ПФС})^3 - t(C_{ПФС})^2 + s(C_{ПФС}) + y}{(z(C_{ПАВ})^2 - g(C_{ПАВ}) + f)^{-1}W}, \quad (3)$$

**Таблица.** Значение коэффициентов  $k, t, s, y, z, g, f, w$  для различных поверхностно-активных веществ

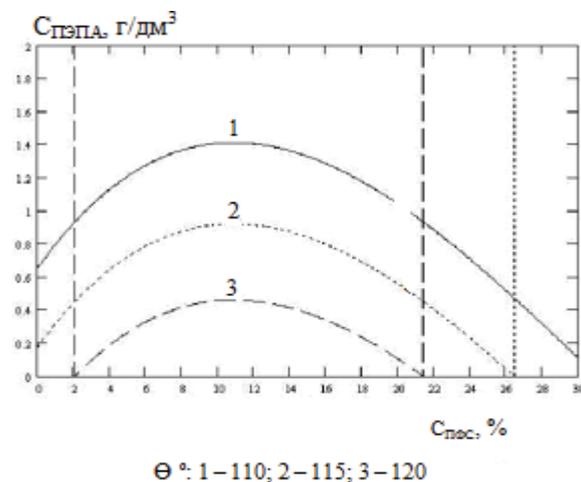
**Table.** Value of the coefficients  $k, t, s, y, z, g, f, w$  for different surfactants

ПАВ (Surfactant)	$k$	$t$	$s$	$y$	$z$	$g$	$f$	$w$
ПЭПА РЕРА (polyethylenepolyamine)	для алюминиевой подложки for aluminum substrate							
	0,003	0,149	1,840	111,89	1,00	8,990	121,94	116,30
Телаз (Telaz)	для стальной подложки for steel substrate							
	0,003	0,14	1,76	127,9	5,67	21,83	142,35	132,1
АС-1 (AS-1)	для алюминиевой подложки for aluminum substrate							
	0,001	0,088	1,562	109,33	0,717	11,69	123,53	115,51
	для стальной подложки for steel substrate							
	0,004	0,2	3,1	120,7	4,91	23,56	142,50	130

где  $\theta$  – краевой угол смачивания, град;  $k, t, s, y, z, g, f, w$  – коэффициенты (табл. 1);  $C_{ПАВ}$  – содержание поверхностно-активных веществ, г/дм<sup>3</sup>;  $C_{ПФС}$  – содержание полифенилсилоксанов (по массе), %.

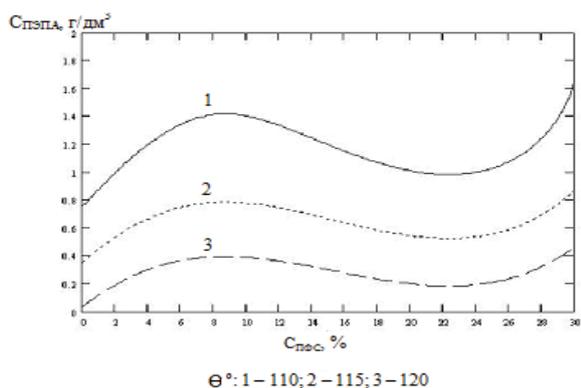
В таблице представлены коэффициенты, входящие в уравнение (3), для различных поверхностно-активных веществ.

На основе уравнения (3), и учитывая максимальный смачивающий эффект ПЭПА (как на алюминиевой, так и на стальной подложках), получены номограммы (рис. 2, 3), позволяющие определить в производственных условиях краевой угол смачивания ( $\theta$ ) в зависимости от содержания ПЭПА и полифенилсилоксанов (при  $T=25$  °С). Анализ номограмм подтверждает, что для сохранения значения краевого угла на определенном уровне, по мере разведения композиций, требуется строго дозировать поверхностно-активные вещества.



**Рис. 2.** Двухфакторная номограмма:  $\theta=f(C_{ПЭПА}; C_{ПФС};$  при  $T=25$  °С) для алюминиевой подложки

**Fig. 2.** Two-factor nomogram:  $\theta=f(C_{PEPA}; C_{PPS};$  at  $T=25$  °C) for aluminum substrate



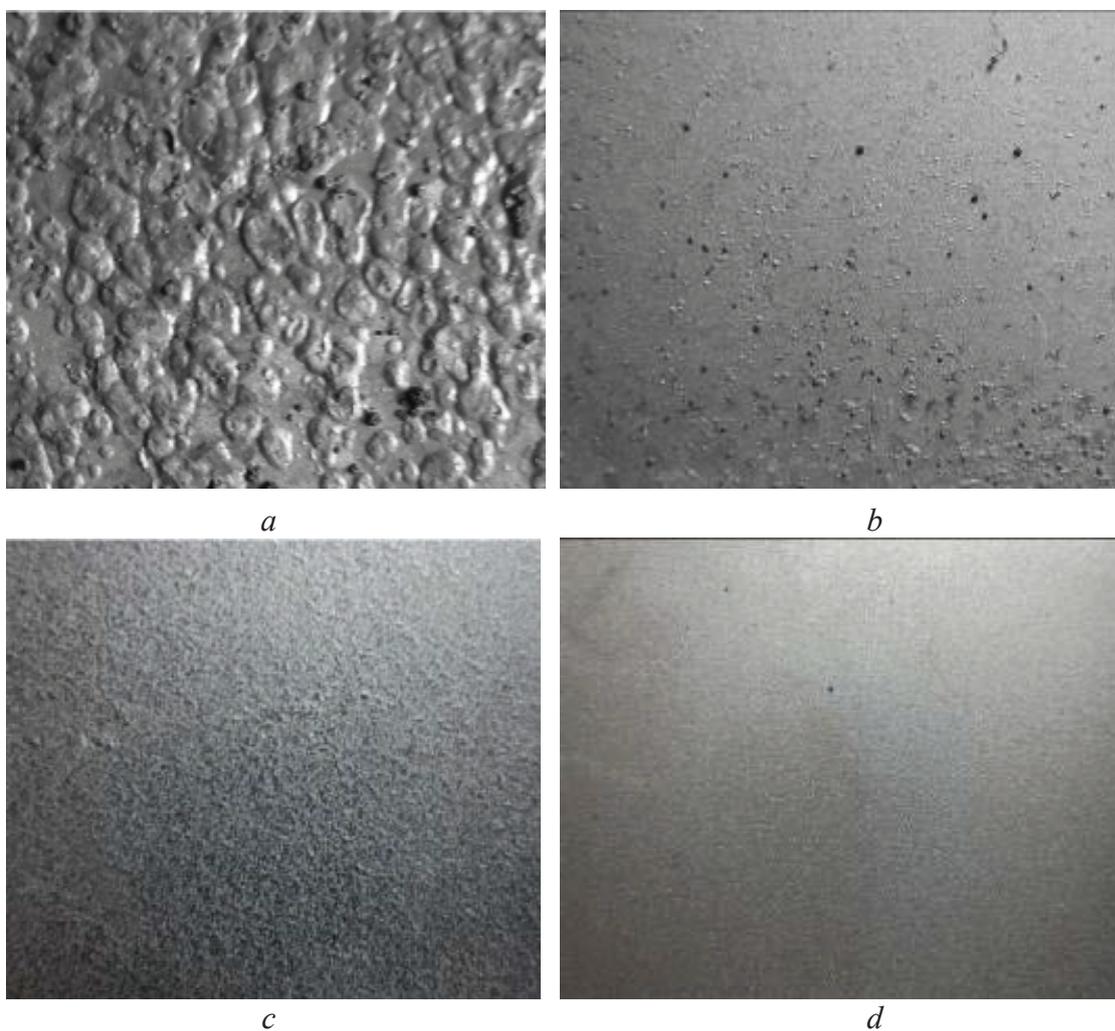
**Рис. 3.** Двухфакторная номограмма:  $\theta=f(C_{\text{ПЭПА}}, C_{\text{ПЭС}})$  при  $T=25^\circ\text{C}$  для стальной подложки

**Fig. 3.** Two-factor nomogram:  $\theta=f(C_{\text{PEPA}}, C_{\text{PPS}})$  at  $T=25^\circ\text{C}$  for steel substrate

#### Технологические испытания покрытий

Как отмечено выше, поверхностно-активные вещества улучшают смачивание металлических подложек растворами полифенилсилоксанов, поэтому целесообразным представлялась проверка защитных характеристик покрытий, полученных из модифицированных составов. Лакокрасочные покрытия получают по ГОСТ11066–74. Для косвенной оценки смачиваемости пигмента и подложки раствором пленкообразующего определяли пористость покрытия электрохимическим методом [20].

Введение ПАВ вызывает уменьшение пористости покрытий (рис. 5) и увеличение их блеска (за счёт уменьшения шероховатости пленок в 2,5 раза) рис. 4.



a)  $C_{\text{ПАВ}}=0$  г/дм<sup>3</sup>; b)  $C_{\text{ПЭПА}}=0,25$  г/дм<sup>3</sup> – выдержка в сульфате меди  
c)  $C_{\text{ПАВ}}=0$  г/дм<sup>3</sup>; d)  $C_{\text{ПЭПА}}=0,25$  г/дм<sup>3</sup> – без выдержки в сульфате меди

a)  $C_{\text{surfactant}}=0$  g/liter; b)  $C_{\text{PEPA}}=0,25$  g/liter – exposure in copper sulfate  
c)  $C_{\text{surfactant}}=0$  g/liter; b)  $C_{\text{PEPA}}=0,25$  g/liter – without exposure in copper sulfate

**Рис. 4.** Фотографии покрытий до («с» и «d») и после выдержки в течение 12 часов в 5 % растворе сульфата меди («а» и «b»)

**Fig. 4.** Pictures of coating before («c» и «d») and after aging for 12 hours in 5 % copper sulfate solution («a» и «b»)

### Заключение

1. Все исследованные поверхностно-активные вещества улучшают смачиваемость алюминиевой и стальной подложек в растворах полифенилсилоксанов. Наибольшую смачивающую активность проявляют ПЭПА и Телаз, при их концентрации менее 0,5 г/дм<sup>3</sup>, а в более концентрированных растворах ( $C_{\text{ПАВ}} \geq 0,5 \text{ г/дм}^3$ ) – АС-1.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов Г.Л. Силиконовые смолы и модификаторы для промышленных лакокрасочных материалов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2009. – № 2. – С. 32–34.
2. Гибридные наноструктуры на основе слоистых силикатов и азотсодержащих органических соединений / О.Ю. Голубева, О.С. Доманова, В.Л. Уголков, В.В. Гусаров // Журнал общей химии. – 2007. – Т. 77. – Вып. 2. – С. 246–251.
3. Ubong Eduok, Omar Faye, Jerzy Szpunar. Recent developments and applications of protective silicone coatings: a review of PDMS functional materials // Progress in Organic Coatings. – October 2017. – V. 111. – P. 124–163.
4. Development and evaluation of an eco-friendly hybrid epoxy-silicon coating for the corrosion protection of aluminium alloys / G. Luciano, A. Brinkmann, S. Mahanty, M. Echeverria // Progress in Organic Coatings. – September 2017. – V. 110. – P. 78–85.
5. Development of polyorganosilazane-silicone marine coatings / S. Marceaux, Ch. Bressy, F.-X. Perrin, C. Martin, A. Margailan // Progress in Organic Coatings. – November 2014. – V. 77. – Iss. 11. – P. 1919–1928.
6. Болатбаев К.Н., Дюрягина А.Н., Островной К.А. Модифицирование композитов поверхностно-активными веществами. – Петропавловск: Изд-во ККТУ, 2005. – 184 с.
7. Diffusion of surface-active amphiphiles in silicone-based fouling-release coatings / C. Noguier, S.M. Olsen, S. Hvilsted, S. Kiil // Progress in Organic Coatings. – May 2017. – V. 106. – P. 77–86.
8. Ляпишев В.М., Сорокин М.Ф., Иванов С.А. Влияние природы отвердителя на термодеструкцию эпоксикремнийорганических композиций // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1983. – № 4. – С. 10–12.
9. Ananda Kumar A. Sasikumar. Studies on novel silicone/phosphorus/sulphur containing nano-hybrid epoxy anticorrosive and antifouling coatings // Progress in Organic Coatings. – July 2010. – V. 68. – Iss. 3. – P. 189–200.
10. Chattopadhyay D.K., Dean C. Dean C. Webster Hybrid coatings from novel silane-modified glycidyl carbamate resins and amine crosslinkers // Progress in Organic Coatings. – September 2009. – V. 66. – Iss. 1. – P. 73–85.
11. Atul Tiwari, Ryan Sugamoto, Lloyd H. Hihara. Analysis of molecular morphology and permeation behavior of polyimide-siloxane molecular composites for their possible coatings application //

2. Улучшение смачивания металлических подложек растворами полифенилсилоксанов в присутствии поверхностно-активных веществ подтверждается и уменьшением шероховатости и пористости покрытий, полученных из модифицированных составов. Данные лакокрасочные составы могут быть использованы для защиты от коррозии газо-нефтепроводов и устьевого оборудования нефтяных скважин.

- Progress in Organic Coatings. – 1 November 2006. – V 57. – Iss. 3. – P. 259–272.
12. Development and characterization of silicone/phosphorus modified epoxy materials and their application as anticorrosion and antifouling coatings / A. Kumara, T. Balakrishna, M. Alagarb, Z. Denchevc // Progress in Organic Coatings. – 1 March 2006. – V. 55. – Iss. 3. – P. 207–217.
13. Self-assembled perfluoroalkylsilane films on silicon substrates for hydrophobic coatings / Lu Cai, Anqi Liu, Yanhua Yuan, Li Dai, Zhanxiong Li // Progress in Organic Coatings. – January 2017. – V. 102. – P. B. – P. 247–258.
14. Seyedmehdi S.A., Hui Zhang, Jesse Zhu. Influence of production method, silicone type and thickness on silicon rubber superhydrophobic coatings // Progress in Organic Coatings. – January 2016. – V. 90. – P. 291–295.
15. Arianpour F., Farzaneh M., Kulinich S.A. Hydrophobic and ice-retarding properties of doped silicone rubber coatings // Applied Surface Science. – 15 January 2013. – V. 265. – P. 546–552.
16. Photocurable resin/nanocellulose composite coatings for wood protection / A. Cataldi, C.E. Corcione, M. Frigione, A. Pegoretti // Progress in Organic Coatings. – May 2017. – V. 106. – P. 128–136.
17. Barrier property and mechanical flexibility of stress controlled organosilicon/silicon oxide coatings on plastic substrates / Shao-Kai Lu, Shun-Chi Chen, Tai-Hong Chen, Li-Wen Lai, Ren-Mao Liao, Day-Shan Liu // Surface and Coatings Technology. – 25 October 2015. – V. 280. – P. 92–99.
18. Малахова А.Я. Практикум по физической и коллоидной химии. – Минск: Вышэйш. школа, 1974. – 366 с.
19. Дюрягина А.Н., Островной К.А., Тюканько В.Ю. Применение аминов для дезагрегации алюминиевой пудры в кремнийорганических лакокрасочных материалах // Современные проблемы науки о полимерах: Сборник трудов IV Санкт-Петербургской международной конференции молодых учёных. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 63.
20. Карякина М.И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий. – М.: Химия, 1977. – 240 с.

Поступила 11.09.2017 г.

### Информация об авторах

**Тюканько В.Ю.**, кандидат технических наук, инженер-технолог по лакокрасочным покрытиям АО «Казнефтегазмаш».

**Дюрягина А.Н.**, кандидат химических наук, доцент, заведующая кафедрой органической химии и химии ВМС Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева.

**Островной К.А.**, преподаватель кафедры органической химии и химии ВМС Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева.

**Демьяненко А.В.**, кандидат технических наук, доцент, декан инженерного факультета Северо-Казахстанского университета им. М. Козыбаева.

UDC 661.1:541.18

## STUDY OF WETTING OF ALUMINUM AND STEEL SUBSTRATES WITH POLYORGANOSILOXANES IN THE PRESENCE OF NITROGEN-CONTAINING SURFACTANTS

Vitaliy Y. Tyukanko<sup>1</sup>,  
vetal3333@mail.ru

Antonina N. Duryagina<sup>2</sup>,  
adyuryagina@inbox.ru

Kirill A. Ostrovnoy<sup>2</sup>,  
kostrovnoy@mail.ru

Alexander V. Demyanenko<sup>2</sup>,  
demianenkoav@mail.ru

<sup>1</sup> JSC «Kazneftegazmash»,  
122, Novaya street, 150000, Petropavlovsk, Republic of Kazakhstan.

<sup>2</sup> M. Kozybaev North Kazakhstan University,  
18, Abay street, Petropavlovsk, 150000, Kazakhstan.

**The relevance** of the work is caused by the necessity to develop a new anti-corrosion paints, with increased resource exploitation to protect gas pipelines and wellhead equipment of oil wells from corrosion.

**The main aim** of the study is to increase the service life of silicone coatings based on the study of the influence of nitrogen-containing surfactants on wetting of aluminum and steel substrates in silicon-organic paint materials.

**The methods used in the study:** analysis of surface tension in static mode on the device Reh binder, on the border of phases – solution of polyphenylsiloxane/water and polyphenylsiloxane/air solution and the contact angle of wetting on the border – solution of polyphenylsiloxane/aluminum/water and polyphenylsiloxane/steel/water solution; photographing the surfaces of the coatings and electrochemical determination of coating porosity.

The paper introduces the results of the study of nitrogen-containing surfactants effect on wetting of aluminum and steel substrates with solutions of polyphenylsiloxane. The authors have calculated the change in wetting and shown their influence on porosity of coatings. Introduction of surfactants improves wetting of metal substrates in solutions of polyorganosiloxanes, which is expressed in the change of wetting angle. It is to 22° for aluminum substrate and 32,5° for steel one. Analysis of changes in wetting functioning allows supposing that polyethylenpolyamines demonstrate the greatest wetting activity (if their content in the solution is to 0,5 g/dm<sup>3</sup>), and low molecular weight amines in more concentrated solutions (with added content more than 0,5 g/dm<sup>3</sup>). The authors derived the equations describing the effect of additives and polyphenylsiloxane contents on wetting angles and developed the nomograms. The introduction of surfactants causes decrease in porosity and roughness of the surfaces (in 2,5 times).

### Key words:

Aluminum and steel substrate, silicone coating, nitrogen-containing surfactants, wetting, changing the performance of wetting, porosity of the coating, gloss.

### REFERENCES

1. Artamonov G.L. Silicone resins and modifiers for industrial paints and varnishes. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 2009, no. 2, pp. 32–34. In Rus.
2. Golubeva O.Yu., Domanova O.S., Ugolkov V.L., Gusarov V.V. Hybrid nanostructures based on layered silicates and nitrogen-containing organic compounds. *Zhurnal obshchey khimii*, 2007, vol. 77, pp. 246–251. In Rus.
3. Ubong Eduok, Omar Faye, Jerzy Szpunar. Recent developments and applications of protective silicone coatings: a review of PDMS functional materials. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 111, pp. 124–163.
4. Luciano G., Brinkmann A., Mahanty S., Echeverria M. Development and evaluation of an eco-friendly hybrid epoxy-silicon coating for the corrosion protection of aluminium alloys. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 110, pp. 78–85.
5. Marceaux S., Bressy C., Perrin F., Martin C., Margaillan A. Development of polyorganosilazane-silicone marine coatings. *Progress in Organic Coatings*, vol. 77, 2014, pp. 1919–1928.
6. Bolatbaev K.N., Dyuryagina A.N., Ostrovnoy K.A. *Modifitsirovanie kompozitov poverkhnostno-aktivnymi veshchestvami* [Composite modification with surface active substances]. Petropavlovsk, SKGU Publ., 2005. pp. 184.
7. Noguer C., Olsen S.M., Hvilsted S., Kiil S. Diffusion of surface-active amphiphiles in silicone-based fouling-release coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 106, pp. 77–86.
8. Lyapishev V.M., Sorokin M.F., Ivanov S.A. Vliyanie prirody otverditelya na termodestruktsiyu epoksikremniyorganicheskikh kompozitsy [Influence of hardened nature on thermal destruction of epoxy-silicon compositions]. *Lakokrasochnye materialy i ikh primeneniye*, 1983, no. 4. pp. 10–12.
9. Ananda Kumar A. Sasikumar. Studies on novel silicone/phosphorus/sulphur containing nano-hybrid epoxy anticorrosive and antifouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2010, vol. 68, pp. 189–200.
10. Chattopadhyay D.K., Webster D.C. Hybrid coatings from novel silane modified glycidyl carbamate resins and amine crosslinkers. *Progress in Organic Coatings*, September 2009, vol. 66, pp. 73–85.
11. Atul Tiwari, Ryan Sugamoto, Lloyd H. Hihara Analysis of molecular morphology and permeation behavior of polyimide-siloxane molecular composites for their possible coatings application. *Progress in Organic Coatings*, 2006, vol. 57, pp. 259–272.

12. Ananda Kumara, Balakrishnana T., Alagarb M., Denchevc Z. Development and characterization of silicone/phosphorus modified epoxy materials and their application as anticorrosion and anti-fouling coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2006, vol. 55, pp. 207–217.
13. Lu Cai, Anqi Liu, Yanhua Yuan, Li Dai, Zhanxiong Li. Self-assembled perfluoroalkylsilane films on silicon substrates for hydrophobic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 102, pp. 247–258.
14. Seyedmehdi S.A., Hui Zhang, Jesse Zhu. Influence of production method, silicone type and thickness on silicon rubber superhydrophobic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 2016, vol. 90, pp. 291–295.
15. Arianpour F., Farzaneh M., Kulinich S.A. Hydrophobic and ice-retarding properties of doped silicone rubber coatings. *Applied Surface Science*, 2013, vol. 265, pp. 546–552.
16. Cataldi A., Corcione E.C., Frigione M., Pegoretti A. Photocurable resin/nanocellulose composite coatings for wood protection. *Progress in Organic Coatings*, 2017, vol. 106, pp. 128–136.
17. Shao-Kai Lu, Shun-Chi Chen, Tai-Hong Chen, Li-Wen Lai, Ren-Mao Liao, Day-Shan Liu. Barrier property and mechanical flexibility of stress controlled organosilicon/silicon oxide coatings on plastic substrates. *Surface and Coatings Technology*, 2015, vol. 280, pp. 92–99.
18. Malakhova A.Ya. *Praktikum po fizicheskoy i kolloidnoy khimii* [Practice in physical and colloid chemistry]. Minsk, Vyshehysh. Shkola Publ., 1974. 366 p.
19. Dyuryagina A.N., Ostrovnoy K.A., Tyukanko V.Yu. Primenenie aminov dlya dezagregatsii alyuminievoy pudry v kremniyorganicheskikh lakokrasochnykh materialakh [Amine application for disintegration of aluminum powder in organosilicon paint materials]. *Sovremennye problemy nauki o polimerakh. Sbornik trudov IV Sankt-Peterburgskoy mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchennykh* [Current issues in the science of polymers. Proceedings of the IV St. Petersburg International conference of young scientists]. St-Petersburg, 2008. pp. 63.
20. Karyakina M.I. *Laboratorny praktikum po ispytaniyu lakokrasochnykh materialov i pokryty* [Laboratory course in testing paint materials and coatings]. Moscow, Khimiya Publ., 1977. 240 p.

Received 11 September 2017.

#### Information about the authors

**Vitaliy Y. Tyukanko**, Cand. Sc., coating engineer-technologist, JSC «Kazneftegazmash».

**Antonina N. Duryagina**, Cand. Sc, associate professor, head of the department, M. Kozybaev North Kazakhstan University.

**Kirill A. Ostrovnoy**, professor, M. Kozybaev North Kazakhstan University.

**Alexander V. Demyanenko**, Cand. Sc., associate professor, dean, M. Kozybaev North Kazakhstan University.