



**МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ
ЗАЩИТЫ**

Тип статьи: научная, оригинальная

**MATERIALS AND EQUIPMENT
FOR CORROSION PROTECTION**

Articale type: original

<https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-5>

**Масляные композиции с парафином и присадкой М-531
для защиты меди от атмосферной коррозии**

Л.Г. Князева¹, Н.А. Курьято¹, А.В. Дорохов¹, В.А. Брыксина² ✉

¹Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве,
РФ, 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, д. 28

²Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина,
РФ, 392008, г. Тамбов, Комсомольская площадь, д. 5

e-mail: victoria_98.bryksina@mail.ru

Аннотация. Ингибированные масляные композиции широко используют для противокоррозионной защиты металлов от атмосферной коррозии.

В работе исследовали композиции на основе индустриального И20-А, моторного М10Г2к, свежего и отработанного (ММО), масел с добавлением импортного комбинированного ингибитора коррозии М-531, а также отечественного парафина П-2 в количестве 3...10 мас. % для защиты меди. Кинематическую вязкость измеряли по методу Брукфильда на ротационном вискозиметре, краевые углы смачивания – на приборе Easy Drop.

Поляризационные измерения проводили с использованием потенциостата IPC-Pro MF в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 0,66 мВ/с в растворе 0,5 М NaCl. Были получены эмпирические уравнения, представляющие собой частный случай уравнения Рейнольдса – Филонова, описывающие вязкостно-температурные зависимости для масляных композиций с высокой достоверностью линейной аппроксимации в диапазоне температур 20...60 °С. Исследование краевых углов смачивания показало, что вода активно смачивает исследуемые масляные покрытия. Максимальные значения краевых углов смачивания водной масляных покрытий были достигнуты через 1 сутки. Защитные покрытия на металле формировали в течение суток. По данным электрохимических исследований использование комбинированного импортного ингибитора коррозии М-531 и отечественного парафина П-2 в масляных композициях для противокоррозионной защиты меди одинаково эффективно при концентрации 10 мас. %.

Таким образом, показана принципиальная возможность конкурирования отечественного парафина П-2 как контактной присадки с импортной комбинированной присадкой М-531.

Ключевые слова: коррозия, масла, комбинированный ингибитор, вязкость, краевые углы смачивания, медь

Для цитирования: Князева Л.Г., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Масляные композиции с парафином и присадкой М-531 для защиты меди от атмосферной коррозии // Практика противокоррозионной защиты. – 2024. – Т. 29, № 1. – С. 46-57. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-5>

Получена 09.10.2023. Принята к публикации 30.01.2024. Опубликовано 01.03.2024.

**Oil Compositions with Paraffin and Additive M-531
to Protect Copper from Atmospheric Corrosion**

Larisa G. Knyazeva¹, Nikolay A. Kur'yato¹, Andrey V. Dorokhov¹, Victoria A. Bryksina² ✉

¹All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum Products in Agriculture,
28, Novo-Rubezhny lane, Tambov, 392022, Russian Federation

²Derzhavin State University,
5, Komsomolskaya square, Tambov, 392008, Russian Federation

e-mail: victoria_98.bryksina@mail.ru

Abstract. Inhibited oil compositions are widely used for anticorrosion protection of metals from atmospheric corrosion.

Compositions based on industrial I20-A, motor M10G2k, fresh and waste (WMO), oils with the addition of an

imported combined corrosion inhibitor M-531, as well as domestic P-2 paraffin in an amount of 3...10 wt. % for the protection of copper was investigated in the work. The kinematic viscosity was measured by the Brookfield method on a rotational viscometer, the contact angles were measured on an Easy Drop device.

Polarization measurements were carried out using an IPC-Pro MF potentiostat in the potentiodynamic mode with a potential sweep rate of 0.66 mV/s in a 0.5 M NaCl solution. Empirical equations were obtained, which are a special case of the Reynolds-Filonov equation, describing the viscosity-temperature dependences for oil compositions with a high reliability of linear approximation in the temperature range of 20...60 °C. The study of the contact angles of wetting showed that water actively wets the studied oil coatings. The maximum values of the contact angles of wetting with water of oil coatings were reached after 1 day. Protective coatings on the metal were formed during the day. According to electrochemical studies, the use of a combined imported corrosion inhibitor M-531 and domestic paraffin P-2 in oil compositions for anticorrosive protection of copper is equally effective at a concentration of 10 wt. %.

Thus, the fundamental possibility of competing the domestic P-2 paraffin as a contact additive with the imported combined additive M-531 is shown.

Keywords: corrosion, oils, combined inhibitor, viscosity, contact angles, copper

For citation: Knyazeva, L. G., Kuriato, N. A., Dorokhov, A. V. & Bryksina, V. A. (2024). Oil Compositions with Paraffin and Additive M-531 to Protect Copper from Atmospheric Corrosion. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 29(1), 46-57. <https://doi.org/10.31615/j.corros.prot.2024.111.1-5>

Received October 09, 2023. Accepted for publication January 30, 2024. Published March 01, 2024.

Введение

Медь и ее сплавы находят широкое применение в промышленном и сельскохозяйственном производстве, благодаря высокой электро- и теплопроводности, коррозионной стойкости, легкости механической обработки и пайки. Хотя в атмосферных условиях медь и ее сплавы отличаются достаточно высокой коррозионной стойкостью из-за образования защитных пленок из оксидов меди на их поверхности, под действием всевозможных стимуляторов коррозии (СК), присутствующих в воздухе, и температуры они также подвергаются коррозионному разрушению.

При воздействии воздуха с фоновыми концентрациями СК, как указывают авторы работы [1], средняя величина скорости общей коррозии меди составляет $\sim 1,3 \cdot 10^{-3}$ мм/г, а сама коррозия носит равномерный характер.

Зарубежные авторы часто связывают скорость атмосферной коррозии меди с концентрацией СК через уравнения ФДО (функция доза-ответ) [2]. В ранних работах предлагались простые линейные зависимости ФДО типа:

$$\Delta m = a + b \cdot C(CK),$$

где Δm – потери массы;

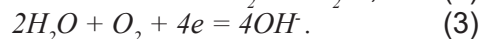
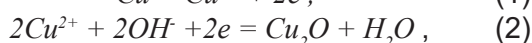
a и b – константы;

$C(CK)$ – равновесная концентрация в воздухе одного СК. Вначале в качестве СК рассматривали оксид серы (IV) (мкг/м³). Затем в этих зависимостях стали учитывать влияние концентрации ионов хлора, относительного

времени увлажнения поверхности (годовая суммарная длительность воздействия на металл воздуха с относительной влажностью $H > 80\%$ при температуре > 0 °C), количество осадков (мм/год) и т. п. Можно отметить, что повышенные концентрации NaCl наблюдаются, например, в воздушной атмосфере регионов с морским климатом. С коррозией меди в среде хлорида натрия сталкиваются при эксплуатации морских судов, перевозках оборудования и металлоизделий морским путем.

В работе [3] показано изменение скорости коррозии (K) меди в атмосфере со 100 %-ной влажностью при комнатной температуре (рис. 1).

В начальный момент скорость коррозии на меди и ее сплавов падает из-за образования защитных пленок из продуктов коррозии, природа которых зависит от присутствующих в атмосфере СК. Почти всегда при соприкосновении поверхности меди с водой или разбавленными растворами в результате протекания анодных (1, 2) и катодной (3) реакций образуются слои куприта Cu_2O , обладающего хорошими защитными свойствами, толщиной от мономолекулярного до 10 нм [1]:



Кристаллическая решетка куприта незначительно отличается от кристаллической решетки меди. Кислород внедряется, из-

меняя параметры её единичной ячейки от 0,36 до 0,425 нм (~ 18 %) [1]. Существует предположение, что после того, как куприт в первых 10 молекулярных слоях пленки перейдет в тенорит (CuO), скорость коррозии будет определяться диффузией ионов меди через эту пленку [1].

Присутствие во влажном воздухе углекислого газа приводит к образованию на поверхности малахита ($CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$). Сульфиды, хлориды, находящиеся в воздухе, разрушают малахит, ускоряя атмосферную коррозию меди и ее сплавов [4].

Наиболее проста и эффективна ингибиторная защита меди от атмосферной коррозии. При транспортировке медных изделий в экстремальных климатических условиях в качестве ингибитора коррозии (ИК) широко используют композиции азолов в воде или органических растворителях. Так, например, уже при погружении меди в любую композицию с бензотриазолом происходит мгновенная пассивация меди [5, 6]. Однако бензотриазол, как большинство азолов, достаточно токсичен, что ограничивает возможность его использования. Установлено, что для этих целей подходят различные менее токсичные амины и производные синтетических жирных кислот [4, 7-12].

Для временной противокоррозионной защиты меди от атмосферной коррозии

успешно применяются ингибированные масляные композиции [9-12]. Их преимущества – в технической простоте приготовления, легкости нанесения, эффективности действия.

Чаще всего для этих целей используют нефтяные масла, представляющие собой смеси высокомолекулярных углеводородов различных классов [13,14]; циклических нафтенных; моно-, ди- трициклических ароматических углеводородов с нафтенными кольцами; полициклических ароматических соединений с большим числом колец; парафиновых цепей; изопарафинов. В товарных нефтяных маслах, кроме того, имеются многочисленные функциональные заводские присадки – антиокислительные, ингибирующие, пластифицирующие, модифицирующие и др., как правило, представляющие собой поверхностно активные вещества (ПАВ) [14, 15]. Их качественный и количественный состав может существенно различаться, влияя на их адсорбционную способность из масляных пленок и противокоррозионную эффективность масел. Нефтяные масла сами по себе обладают недостаточной защитной эффективностью, даже отработанные [16-18].

Маслорастворимые ингибиторы коррозии полностью растворяются в маслах за счет углеводородной части молекулы и уси-

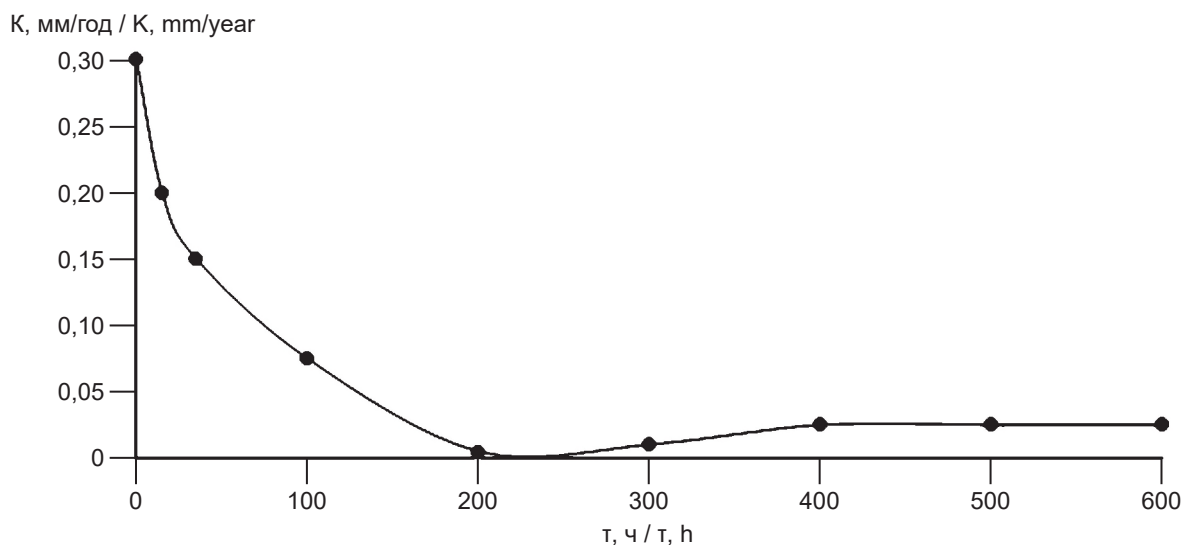


Рис. 1. Скорость коррозии меди М1 в 0,1 М растворе $NaCl$ в условиях 100%-ной влажности при комнатной температуре

Fig. 1. Corrosion rate of copper M1 in 0,1 M $NaCl$ solution under conditions of 100% humidity at room temperature

ливают их противокоррозионные свойства, образуя хемосорбционные и адсорбционные пленки на металле [1, 2]. Еще большего эффекта можно ожидать от комбинированных материалов, которые, помимо маслорастворимого компонента, содержат еще и летучий ингибитор коррозии, благодаря которому осуществляется противокоррозионная защита в труднодоступных местах.

Целью данной работы является изучение вязкостно-температурных свойств и противокоррозионной эффективности на меди масляных композиций с импортным комбинированным ингибитором коррозии М-531 и отечественным парафином П-2.

Методики экспериментов

В работе использованы нефтяные масла: моторное М10Г2к товарное и отработанное (ММО), индустриальное И20-А (ГОСТ 20799-88) и ингибиторы коррозии (ИК): импортная комбинированная противокоррозионная добавка М-531 (производитель компания Cortec Corporation, USA, на территории России официальным представителем компании является общество ООО «Кортек Рус»), а также парафин П-2 отечественного производства в количестве 3...10 мас. %.

Некоторые физико-химические характеристики исходных масел приведены в *табл. 1*.

Масляные композиции готовили перемешиванием при комнатной температуре. Кинематическую вязкость (в мм²/с) масляных композиций измеряли по методу Брукфильда на ротационном вискозиметре «Smart L», производства фирмы Fungilab.

Краевые углы смачивания (θ) водой пленок из масляных композиций определяли с помощью прибора Easy Drop.

Поляризационные измерения проводили с использованием потенциостата IPC-Pro MF в потенциодинамическом режиме со скоростью развертки потенциала 0,66 мВ/с в электрохимической ячейке. В качестве исследуемого раствора использовали 0,5 М раствор NaCl. После погружения в раствор рабочие электроды из меди М2, армированные в оправку из эпоксидной смолы, выдерживали 10...15 мин для установления квазистационарного потенциала.

Результаты и их обсуждение

Изучали вязкостно-температурные зависимости как функции природы масла и концентрации ИК. На *рис. 2а, б* приведены вязкостно-температурные зависимости масел индустриального И-20А, моторного

Таблица. 1. Некоторые физико-химические характеристики используемых масел

Table 1. Some physico-chemical characteristics of the oils used

Характеристики масел / Characteristics of oils	Масла / Oils		
	М10Г2(к) / М-10G2(k)	ММО / WMO	И-20А / I-20A
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² с ⁻¹ / Kinematic viscosity at 40 °C, mm ² s ⁻¹	11	99	30
Массовая доля воды, % / Mass fraction of water, %	-	0,10	-
Содержание механических примесей, % / Content of mechanical impurities, %	-	0,25	-
Плотность при 20 °С, кг/м ³ / Density at 20 °C, kg/m ³	882	887	882
Зольность, % / Ash content, %	1,0	1,1	0,002

М10Г2(к) свежего и ММО в полулогарифмических координатах с результатами их линейной аппроксимации.

Вязкостно-температурная зависимость в полулогарифмических координатах для индустриального масла И-20А носит линейный характер в диапазоне температур 20...60 °С с высоким показателем достоверности аппроксимации $R^2 = 0,9951$ (рис. 2а). Согласно этой зависимости, в указанном диапазоне температур возможно использование для расчета кинематической вязкости формулы Рейнольдса – Филонова [11], которую в общем виде можно записать следую-

щим образом:

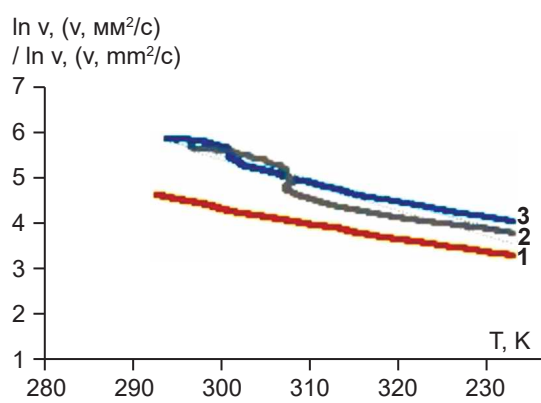
$$\ln v = a + bT,$$

где v – кинематическая вязкость жидкости; T – температура жидкости.

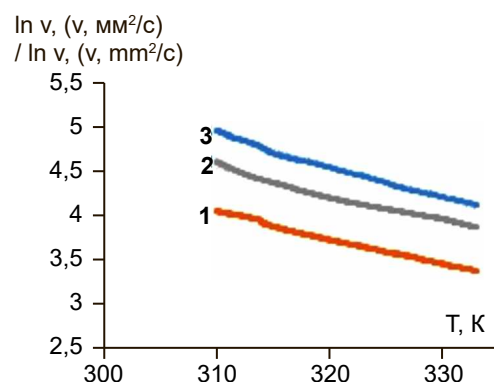
Для масла И-20А $a = 14,397$, $b = -0,0335$ и эмпирическое выражение для зависимости $\ln v$ будет иметь вид (табл. 2):

$$\ln v = 14,397 - 0,0335T.$$

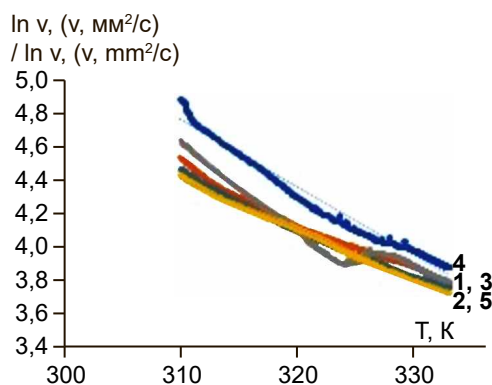
На вязкостно-температурных кривых моторного масла М10Г2(к) свежего и ММО появляются изломы (рис. 2а), вызванные структурными изменениями в этих маслах при изменении температуры, из-за присутствия в маслах присадок и продуктов старе-



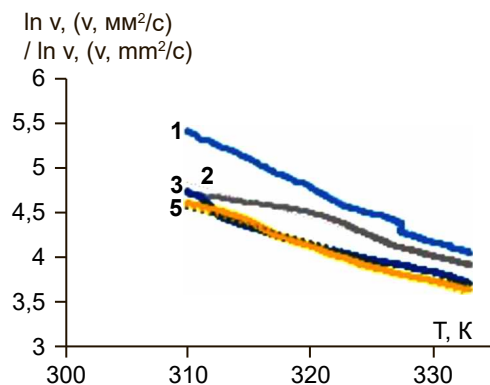
а



б



с



д

Рис. 2. Вязкостно-температурные зависимости в полулогарифмических координатах для исследуемых масел: 1 – И-20А, 2 – ММО, 3 – М-10Г2(к) в диапазоне температур: а – 293...333 К (20...60 °С) и б – 310...333 К (37...60 °С); для композиций на основе ММО с М-531 (с) и парафином П-2 (д), масс. %: 1 – 0; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7; 5 – 10 в диапазоне температур 310...333 К. Точками обозначены линии аппроксимации

Fig. 2. Viscosity-temperature dependences in semilogarithmic coordinates for the studied oils: 1 – I-20A, 2 – WMO, 3 – M-10G2(k) in the temperature range: а – 293...333 K (20...60 °С) and б – 310...333 K (37...60 °С); for compositions based on WMO with M-531 (с) and paraffin P-2 (д), wt. %: 1 – 0; 2 – 3; 3 – 5; 4 – 7; 5 – 10 in the temperature range 310...333 K. The dots indicate the approximation lines

Таблица. 2. Эмпирические уравнения, связывающие кинематическую вязкость масляной композиции с температурой в диапазоне температур 20...60 °С

Table 2. Empirical equations relating the kinematic viscosity of the oil composition with temperature in the temperature range 20...60 °C

Состав / Compound		Композиции с М-531 / Composition with M-531		Композиции с парафином / Compositions with paraffin	
Масло / Oil	ИК, мас. % / Corrosion inhibitor wt. %	Эмпирические уравнения / Empirical equations	R^2 / Reliability approximations R^2	Эмпирические уравнения / Empirical equations	R^2 / Reliability approximations R^2
И-20А	0	$\ln v = 14,397 - 0,0335T$	0,9951		
М10Г2(к)	0	$\ln v = 13,522 - 0,0293T$	0,9862		
ММО	0	$\ln v = 21,875 - 0,0550T$	0,9279		
И-20А / I20-A	3	$\ln v = 13,478 - 0,0308T$	0,9842		
	5	$\ln v = 14,219 - 0,0331T$	0,9835		
	7	$\ln v = 14,146 - 0,0326T$	0,9958		
	10	$\ln v = 14,634 - 0,0341T$	0,9892		
М10Г2(к) / M10G2(k)	3	$\ln v = 14,0354 - 0,0241T$	0,9664	$\ln v = 19,786 - 0,0486T$	0,9242
	5	$\ln v = 14,0742 - 0,0241T$	0,9541	$\ln v = 18,452 - 0,0447T$	0,8309
	7	$\ln v = 14,1457 - 0,0244T$	0,9093	$\ln v = 12,791 - 0,0270T$	0,9891
	10	$\ln v = 14,0831 - 0,0222T$	0,9928	$\ln v = 18,716 - 0,0459T$	0,8950
ММО / WMO	3	$\ln v = 18,809 - 0,0456T$	0,9662	$\ln v = 23,239 - 0,0595T$	0,9946
	5	$\ln v = 18,591 - 0,0449T$	0,9733	$\ln v = 17,353 - 0,0404T$	0,9804
	7	$\ln v = 19,813 - 0,0482T$	0,9839	$\ln v = 16,968 - 0,0391T$	0,9796
	10	$\ln v = 18,545 - 0,0440T$	0,9644	$\ln v = 17,862 - 0,0417T$	0,9851

ния. Эти зависимости более близки к линейным в диапазоне температур 25...60 °С для М10Г2(к), 35...60 °С – для ММО (рис. 2б). А уравнение Филонова–Рейнольдса принимает вид для этих зависимостей в указанных

выше диапазонах температур, соответственно:

$$\ln v = 16,135 - 0,0364T$$

с $R^2 = 0,9947$ в первом случае.

$$\ln v = 13,135 - 0,0334T$$

с $R^2 = 0,9926$ – во втором.

Линейное аппроксимирование возможно и в диапазоне $20...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ для этих масляных композиций, но достоверность аппроксимации в этом случае уменьшится (табл. 2).

Вязкостно-температурные кривые в полуподлогарифмических координатах для композиций на основе И-20А и комбинированного ингибитора коррозии М-531 в концентрации $3...10\text{ мас. \%}$ близки между собой и могут быть аппроксимированы прямыми линиями с близкими средними значениями коэффициентов $a_{cp} = 14,17$ и $b_{cp} = -0,0328$ в диапазоне температур $20...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ с высоким показателем достоверности аппроксимации, среднее значение $R^2 = 0,9897$ (табл. 2). С ростом концентрации ИК в И-20А кинематическая вязкость масляных композиций имеет тенденцию к незначительному росту.

Линейная аппроксимация вязкостно-температурных кривых с получением уравнения Филонова – Рейнольдса возможна для композиций на основе масел М-10Г2(к) и ММО с добавками комбинированного ингибитора коррозии М-531 и парафина (рис. 2с и 2д, табл. 2). Кривые более неравномерны, чем для случая композиций на основе И-20А, поэтому аппроксимирование проходит с большими ошибками (табл. 2). Достоверность аппроксимации в диапазоне температур $20...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ при разных концентрациях М-531 в этих маслах составляет $0,9093...0,9928$, при разных концентрациях парафина – $0,8309...0,9946$. С ростом концентрации ИК кинематическая вязкость масляных композиций в М-10Г2(к) также возрастает. Меньшие колебания по достоверности аппроксимации характерны для композиций на основе как импортного, так и отечественного ИК в ММО. В диапазоне температур $20...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ при разных концентрациях М-531 средние значения коэффициентов равны: $a_{cp} = 18,9395$, и $b = -0,0459$, а среднее значение достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,9720$, а для композиций с парафином: $a_{cp} = 18,8555$, и $b = -0,0452$, а среднее значение достоверности аппроксимации составляет $R^2 = 0,9849$.

Таким образом, вязкостно-температурные кривые для масляных композиций с М-531 и парафином П-2 близки, описываются уравнением Филонова – Рейнольдса в интервале температур $20...60\text{ }^{\circ}\text{C}$ с высокой

степенью достоверности.

На внешний вид, сплошность, адгезионную прочность и защитную способность покрытий влияет качество смачивания и растекания композиций по поверхности металла. Были изучены краевые углы смачивания (θ) водой масляных композиций на основе М-531 и парафина П-2 на меди М2. Значения θ , полученные с помощью прибора «Easy Drop» для всех покрытий не превышают 70° , следовательно, вода активно смачивает исследуемые покрытия. Некоторые результаты приведены в табл. 3. Максимальные значения краевых углов смачивания водой масляных покрытий были достигнуты через 1 сутки для композиций с моторными маслами. Для масляных композиций, ингибированных М-531 и парафином, были получены близкие значения углов смачивания.

Электрохимические исследования позволяют дать экспресс-оценку защитных свойств исследуемых масляных композиций. Поляризационные кривые медного электрода с покрытием масляными композициями в $0,5\text{ M}$ растворе NaCl , измеренные после 15-минутной экспозиции, показаны на рис. 3.

Стационарный потенциал коррозии ($E_{кор}$) меди М2 составляет $-0,023\text{ В}$, плотность тока коррозии в фоновом растворе ($i_{кор}$) – $0,0000159\text{ А/м}^2$. Наклон тафелевского участка (рис. 3, табл. 4), имеющегося на анодной поляризационной кривой, составляет 55 мВ , катодного – 92 мВ . После нанесения пленки свежего масла И-20А $E_{кор}$ увеличивается до $-0,025\text{ В}$, а $i_{кор}$ снижается почти вдвое до $0,0000089\text{ А/м}^2$. Защитная эффективность покрытия только этим маслом на меди составляет $\sim 44\text{ \%}$. Наклон тафелевского участка на анодной поляризационной кривой (рис. 3, табл. 4) практически не изменился. Ингибирование индустриального масла М-531 позволяет снизить токи коррозии и, соответственно, повысить защитную эффективность масляной пленки (рис. 3а, табл. 4). С ростом концентрации ингибитора в И-20А, защитная эффективность растет и достигает максимума $Z = 98...99\text{ \%}$ при $7...10\text{ мас. \%}$ М-531. Экспериментальные исследования показали, что композиция с $10\text{ мас. \%}$ отечественного парафина в этом масле практически не уступает композиции

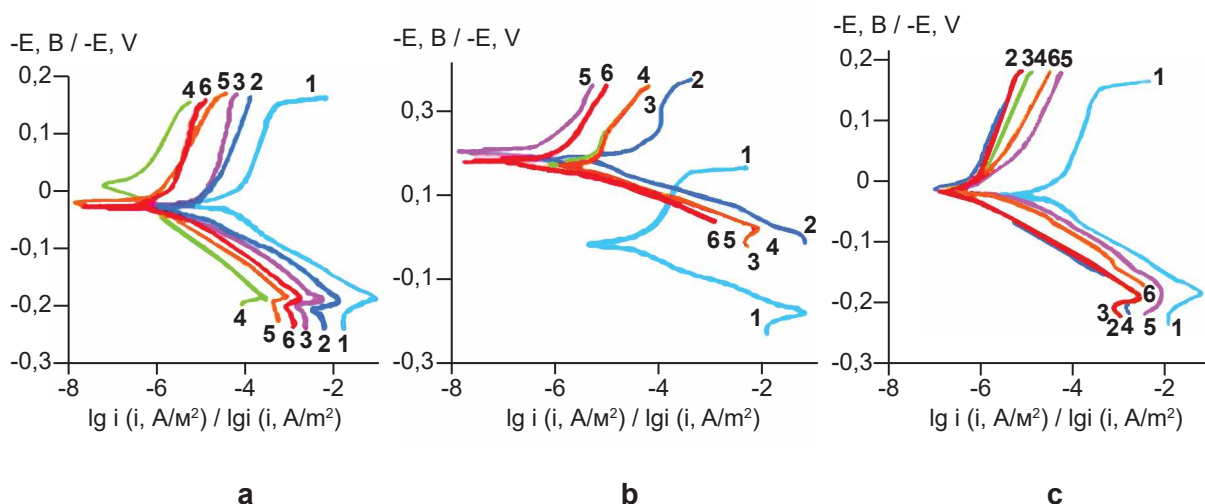


Рис. 3. Поляризационные кривые в 0,5 М растворе NaCl на меди М2, покрытой защитными композициями на основе И20А (а), М10Г2к (б), ММО (с) с М-531, мас. %: 1 – без покрытия, 2 – 3, 3 – 5, 4 – 7, 5 – 10, 6 – с парафином 10 мас. %

Fig. 3. Polarization curves in 0,5 M NaCl solution on copper M2 coated with protective compositions based on I20A (a), M10G2k (b), WMO (c), with M-531 wt. %: 1 – uncoated, 2 – 3, 3 – 5, 4 – 7, 5 – 10, 6 – with 10 wt. % paraffin

Таблица. 3. Краевые углы смачивания водой масляных покрытий с М-531 на меди
Table 3. Wetting angles of water for oil coatings with M-531 on copper

Покрытие / Surface		Краевые углы смачивания каплями воды (градус) масляных покрытий, сформированных в течение / The contact angles of wetting with water drops (degrees) of oil surface formed during		
Масло / Oil	М-531, мас. % / M-531 wt. %	15 мин. / 15 min	1 сутки / 1 day	2 суток / 2 days
И20-А/ М10Г2к/ ММО / I20-A/ M10G2k/ WMO	0	47/31/29	30/56/45	78/77/76
	3	44/70/26	68/83/83	66/76/73
	5	44/48/50	75/86/76	64/78/78
	7	56/48/43	70/74/75	68/71/75
	10	50/52/26	73/75/80	60/67/76
	Парафин, мас. % / paraf. wt. %	15 мин. / 15 min	1 сутки / 1 day	2 суток / 2 days
	10	52/54/56	72/74/74	60/65/70

Таблица. 4. Результаты электрохимических измерений на меди М2 с масляным покрытием на основе ингибитора М-531 в 0,5 М растворе NaCl

Table 4. The results of electrochemical measurements on copper M2 with oil coating based on M-531 inhibitor in 0,5 M NaCl solution

Покрытие / Surface		$-E_{кор}, В$ / $-E_{cor}, V$	$i_{кор}, А/м^2$ / $i_{cor}, A/m^2$	$b_a, В$ / b_a, V	$b_k, В$ / b_k, V	$Z, \%$
Покрытие / Surface	М-531, мас. % / М-531 wt. %					
Без покрытия		0,0230	0,0000159	0,055	0,092	-
И20-А / I20-A	0	0,0250	0,0000089	0,060	0,040	44
	3	-0,0938	0,00000251	0,167	0,038	84
	5	-0,0433	0,00000158	0,029	0,027	90
	7	0,0245	0,00000013	0,048	0,055	99
	10	0,0200	0,00000032	0,048	0,055	98
	10*	0,0200	0,00000039	0,040	0,041	97
М10Г ₂ к / M10G ₂ k	0	0,0200	0,00000631	0,050	0,050	60
	3	-0,0094	0,0000060	0,087	0,038	79
	5	0,0180	0,0000050	0,086	0,100	82
	7	0,0190	0,0000030	0,086	0,100	89
	10	0,0210	0,00000030	0,048	0,089	99
	10*	0,0170	0,00000030	0,041	0,036	99
ММО / WMO	0	0,0150	0,00000025	0,060	0,040	98
	3	0,0150	0,00000025	0,060	0,040	98
	5	0,0200	0,00000032	0,167	0,038	99
	7	0,0210	0,00000032	0,029	0,027	99
	10	0,0220	0,00000200	0,048	0,055	99
	10*	0,0100	0,00000063	0,042	0,070	99
* – парафин / paraffin						

с импортным М-531 по защитной эффективности, для нее $Z = 97\%$ (рис. 3а, табл. 4).

Результаты поляризационных исследований защитных композиций на основе М10Г₂к представлены на рис. 3б и в табл. 4. Максимальная защитная эффективность пленки наблюдается при 10 мас. % М-531 и пара-

фина, $Z = 99\%$ в обоих случаях.

Отработанное моторное масло (ММО) даже без добавок М-531 обеспечивает высокую защитную эффективность на меди, $Z = 98\%$, а при введении М-531 в концентрации 5...10 мас. %, $Z = 99\%$ (табл. 4). Поляризационные кривые для масляных композиций при концентрации

М-531 и П-2 10 мас. % близки (рис. 3с). Для масляных композиций с 10 масс. % парафина также $Z = 99\%$.

Выводы

1. Показана принципиальная возможность конкурирования отечественного парафина П-2 как контактной присадки с импортной комбинированной присадкой М-531 в масляных композициях для противокоррозионной защиты меди. Доказана применимость формулы Филонова – Рейнольдса для вязкостно-температурных зависимостей масляных композиций на основе М-531 и П-2 в интервале температур 20...60 °С с высокой степенью достоверности.

2. Исследование краевых углов смачивания показало, что вода активно смачивает исследуемые масляные покрытия. Максимальные значения краевых углов смачивания водой масляных покрытий были достигнуты через 1 сутки.

3. По данным электрохимических исследований, использование комбинированного ингибитора коррозии М-531 и парафина П-2 в масляных композициях для противокоррозионной защиты меди одинаково эффективно при концентрации 10 мас. %.

Литература

1. Тодт Ф. Коррозия и защита от коррозии. / Под ред. Н.Н. Мамота. – Л.: Химия, 1967. – 709 с.
2. Михайлов А.А. Атмосферная коррозия и защита металлов / А.А. Михайлов, Ю.М. Панченко, Ю.И. Кузнецов. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2016. – 555 с.
3. Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Урядников А.А., Дорохов А.В. / Коррозия и защита металлов летучими ингибиторами в условиях животноводческих помещений (Монография). – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2019. – 221 с.
4. Вигдорович В.И. Коррозия и защита металлов в условиях повышенной концентрации оксида серы (IV) и продуктов его гидратации / В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова, П.Н. Бернацкий, Н.В. Шель. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 364 с.
5. Кузнецов Ю.И., Агафонкина, М.О., Шихалиев, Х.С., Андреева, Н.П., Потапов, А.Ю. Адсорбция и пассивация меди триазиолами в

нейтральных водных растворах // Коррозия: материалы, защита. – 2014. – № 7. – С. 33-37.

6. Цыганкова Л. Е., Румянцев, Ф. А. Влияние масляного покрытия и анионного состава электролита на ингибирование коррозии меди бензотриазолом в кислых средах // Коррозия: материалы, защита. – 2006. – № 12. – С. 31-36.

7. Урядников А.А., Камышова А.А. Защита меди антикоррозионными покрытиями на основе синтетического моторного масла с добавками Эмульгина в 0,5 М подкисленном растворе NaCl // Практика противокоррозионной защиты. – 2017. – № 3 (85). – С. 65-70.

8. Вerveкин А.С, Шель Н.В. Влияние масляных композиций ИФХАН-29А на коррозию меди в присутствии SO₂ // Вестник Тамбовского Университета. – 2004. – Т. 9, № 1. – С. 67-68.

9. Vigdorovich V.I., Shel' N.V. Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials // Protection of Metals. – 2005. – Т. 41, № 4. – С. 394-401.

10. Vigdorovich V.I., Shel' N.V., Tsygankova L.E., Bernatskii P.N., Zarapina I.V. Features of Electrochemical and Physicochemical Processes on Metals Coated with Oil Films // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2008. – Т. 44, № 5. – С. 344-351.

11. Vigdorovich V.I., Tanygin A.Yu., Tanygina E.D., Selemenev V.F., Nazarova A.A. Rapeseed-Oil Mixtures for Protecting Metals from Atmospheric Corrosion // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2009. – Т. 45, № 2. – С. 103-114.

12. Ines Dhouibi, Fatma Masmoudi, Mohamed Bouaziz, Mohamed Masmoudi A study of the anti-corrosive effects of essential oils of rosemary and myrtle for copper corrosion in chloride media // Arabian Journal of Chemistry. – 2021. – Vol. 14, Iss. 2. – P. 102961.

13. Волкова К.В., Успенская М.В., Глазачева Е.Н. Химия нефти и моторного топлива. Лабораторный практикум. Учебное пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 89 с.

14. Черноухов Н. И. Технология переработки нефти и газа. Ч. 3-я Очистка и разделение нефтяного сырья, производство товарных нефтепродуктов. – М.: Химия, 1978. – 424 с.

15. Шехтер Ю. Н., Ребров И. Ю., Тычкин И. А. Муравьева С. И. Ингибиторы коррозии и противокоррозионные присадки. // Практика противокоррозионной защиты. – 1997, № 1. – С. 28-31.

16. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Ostrikov V.V., Petrashev A.I. Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2019. – Т. 55, № 4. – С. 412-423.

17. Knyazeva L.G. Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur'yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2021. – Vol. 10, Iss. 2. – P. 551-561.

18. Сурин С. А. Отработанные масла: вторая жизнь // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2000. – № 2. – С. 22-24.

References

1. Todt, F. (1967). *Corrosion and corrosion protection*. Ed. N.N. Mamota L.: Chemistry. (in Russ.)

2. Mikhailov, A. A., Panchenko, Yu. M., & Kuznetsov, Yu. I. (2016). *Atmospheric corrosion and protection of metals*. Tambov: Publishing house Pershina R.V. (in Russ.)

3. Vigdorovich, V. I., Tsygankova, L. E., Knyazeva, L. G., Shel, N. V., Uryadnikov, A. A., & Dorokhov, A. V. (2019). *Corrosion and protection of metals by volatile inhibitors in livestock buildings* (Monograph). Tambov: Pershina R.V. Publishing House. (in Russ.)

4. Vigdorovich, V. I., Tsygankova, L. E., Bernatsky, P. N., & Shel, N. V. (2015). *Corrosion and protection of metals under conditions of increased concentration of sulfur oxide (IV) and its hydration products*. Tambov: Pershin R.V. Publishing House. (in Russ.)

5. Kuznetsov, Yu. I., Agafonkina, M. O., Shikhaliev, Kh. S., Andreeva, N. P., & Potapov, A. Yu. (2014). Adsorption and passivation of copper by triazoles in neutral aqueous solutions. *Corrosion: materials, protection*, 7, 33-37, doi: 10.17675/2305-6894-2014-3-2-137-148(in Russ.)

6. Tsygankova, L. E., Rumyantsev, F. A. (2006). Influence of oil coating and anionic composition of electrolyte on inhibition of copper corrosion by benzotriazole in acidic media. *Corrosion:*

materials, protection, 12, 31-36. (in Russ.)

7. Uryadnikov, A. A., Kamyshova, A. A. (2017). Protection of copper with anti-corrosion coatings based on synthetic motor oil with Emulgin additives in 0.5 M acidified NaCl solution. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, 3(85), 65-70. (in Russ.)

8. Vervekin, A. S., Shel, N. V. (2004). Influence of IFKhAN-29A oil compositions on copper corrosion in the presence of SO₂. *Bulletin of the Tambov University*, 9,(1). 67-68. (in Russ.)

9. Vigdorovich, V. I., Shel, N. V. (2005). Theoretical Foundations and Practical Development of Few-Component Anticorrosive Oil-Based Conservation Materials. *Protection of Metals*, 41(4), 394-401.

10. Vigdorovich, V. I., Shel, N. V., Tsygankova, L. E., Bernatskii, P. N., Zarapina, I. V. (2008). Features of Electrochemical and Physicochemical Processes on Metals Coated with Oil Films. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 44(5), 344-351, doi: 10.1007/s10553-008-0061-y

11. Vigdorovich, V. I., Tanygin, A. Yu., Tanygina, E. D., Selemenev, V. F., & Nazarova, A. A. (2009). Rapeseed-Oil Mixtures for Protecting Metals from Atmospheric Corrosion. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 45(2), 103-114, doi: 10.1007/s10553-009-0105-y.

12. Ines Dhouibi, Fatma Masmoudi, Mohamed Bouaziz, Mohamed Masmoudi A study of the anti-corrosive effects of essential oils of rosemary and myrtle for copper corrosion in chloride media (2021). *Arabian Journal of Chemistry*, 14(2), 102961, doi:10.1016/j.arabjc.2020.102961

13. Volkova, K. V., Uspenskaya, M. V., & Glazacheva, E. N. (2015). *Chemistry of oil and motor fuel*. Laboratory practice. Textbook - St. Petersburg: ITMO University. (in Russ.)

14. Chernoukhov, N. I. (1978). *Technology of oil and gas processing. Part 3 Purification and separation of petroleum feedstock, production of marketable petroleum products*. Moscow: Chemistry. (in Russ.)

15. Shekhter, Yu. N., Rebrov, I. Yu., Tychkin, I. A. & Muravyova, S. I. (1997). Corrosion inhibitors and anti-corrosion additives. *Theory and Practice of Corrosion Protection*, (1), 28-31. (in Russ.)

16. Vigdorovich, V. I., Knyazeva, L. G., Tsygankova, L. E., Ostrikov, V. V., & Petrashev, A. I. (2019). Properties of Petroleum and Synthetic Oils as Bases for Anticorrosion Materials. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 55(4), 412-423, doi: 10.1007/s10553-019-01046-0

17. Knyazeva, L. G. Tsygankova, L. E.,

Dorokhov, A. V., & Kur'yato, N. A. (2021). Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCI-368D. *International Journal of Corrosion and Scale Inhibition*, 10(2), 551-561, doi: 10.35887/2305-2538-2019-5-125-133

18. Surin, S. A. (2000). Waste oils: a second life. *World of oil products. Bulletin of oil companies*, (2), 22-24. (in Russ.)

Информация об авторах

Князева Лариса Геннадьевна, д.т.н., гл.н.с., Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ВНИИТИН), г. Тамбов, Российская Федерация

Курьято Николай Алексеевич, м.н.с., ВНИИТИН, г. Тамбов, Российская Федерация

Дорохов Андрей Валерьевич, с.н.с., ВНИИТИН, г. Тамбов, Российская Федерация

Брыксина Виктория Александровна, аспирант, Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, г. Тамбов, Российская Федерация

Information about authors

Larisa G. Knyazeva, Doctor of Technical Sciences, principal researcher, All-Russian Research Institute for Use Machinery and Petroleum Products in Agriculture (VNIITIN), Tambov, Russian Federation

Nikolay A. Kuryato, junior researcher, VNIITIN, Tambov, Russian Federation

Andrey V. Dorokhov, senior researcher, VNIITIN, Tambov, Russian Federation

Victoria A. Bryksina, graduate student, Tambov State University named after G.R. Derzhavina, Tambov, Russian Federation

В.И. Вигдорович, Л.Е. Цыганкова,
Н.В. Шель, Л.Г. Князева, А.Н. Зазуля

Защита металлов от атмосферной коррозии масляными покрытиями

Объем издания: 14,5 п.л. (232 стр.)
Стоимость 520 руб.

В монографии обобщены литературные данные и результаты собственных исследований авторов, проводимых ими более пятнадцати лет и касающихся кинетики реакции восстановления растворенного кислорода и анодной ионизации металлов под тонкими пленками влаги и защитных неметаллических покрытий на основе товарных и отработанных нефтяных и синтетических масел.

Приводится классификация и свойства широкого круга защитных неметаллических составов. Рассматриваются атмосферная коррозия некоторых конструкционных материалов, защитные свойства композиций, содержащих полиамиды, безоксидная пассивация стали азотсодержащими соединениями – компонентами масляных фаз, результаты многолетних промышленных испытаний эффективности некоторых антикоррозионных покрытий подобного рода.

Впервые в отечественной литературе приводятся подобные данные для поли- α -олефиновых синтетических масел и их тонких поверхностных пленок на основе Мобил-1. Сообщаются вязкостнотемпературные и реологические характеристики неингибированных и ингибированных защитных масляных композиций и тонких пленок, их влаго- и кислородопроницаемость и структура.

Рассматривается кинетика электродных процессов на углеродистой стали, покрытой масляными пленками в нейтральных и кислых хлоридных средах с изменяющейся и постоянной ионной силой. Оцениваются кинетические параметры электродных реакций в подобных условиях.