

Тип статьи: научная
УДК 620.193
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-2-86-97

ПРОТИВОКОРРОЗИОННАЯ ЗАЩИТА МЕДИ МАСЛЯНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ С КОМБИНИРОВАННОЙ ДОБАВКОЙ М-531

*Николай Алексеевич Курьято*¹, *Лариса Геннадьевна Князева*²,
*Андрей Валерьевич Дорохов*³, *Виктория Александровна Брыксина*⁴
^{1,2,3} Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и
нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация
⁴ Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина,
г. Тамбов, Российская Федерация
¹cska-sparta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1319-7370>
²Knyazeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3232-2210>
³dorokhov.andryusha@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1778-457X>
⁴bryksina_98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1264-1310>

Автор ответственный за переписку: Лариса Геннадьевна Князева, Knyazeva27@mail.ru
Corresponding author: Larisa Knyazeva, Knyazeva27@mail.ru

Реферат. Для поддержания работоспособности сельскохозяйственной техники и оборудования, необходимо применение противокоррозионной защиты. Была изучена эффективность масляных композиций с добавкой М-531 по отношению к меди. Составы были получены на основе индустриального и моторного М10Г₂К (как свежего, так и отработанного) масел. Их защитную способность изучали с использованием гравиметрических и электрохимических методов (поляризационных и импедансных) исследования. По полученным данным коррозионных гравиметрических испытаний в 0,5 М NaCl отмечено, что наиболее эффективными оказались композиции на основе масла М10Г₂К, при введении в них 5 масс. % добавки защитная эффективность (Z) составила 63 %, дальнейшее увеличение концентрации привело к незначительному увеличению до Z = 65 % при 10 масс. % М-531. Данные электрохимических измерений качественно подтверждают данные гравиметрических испытаний. Различия в величине защитной эффективности связаны прежде всего с разным временем воздействия агрессивной среды: продолжительность эксперимента в первом случае – 15 минут, во втором – 14 суток. По результатам поляризационных измерений наиболее эффективны были составы на основе ММО, уже при содержании 5 масс. % добавки величина Z = 98 %, в то время как композиции, содержащие 5 масс. % М-531 в И20-А и в М10Г₂К имели Z = 90 %. Результаты импедансных исследований показали, что добавление ингибитора М-531 в масла ММО, М10Г₂К и И20-А влияет на годографы импеданса меди. Концентрация ингибитора оказывала значительное влияние на изменение диаграмм Найквиста. При 3 масс. % М-531 наблюдалось умеренное изменение импеданса медного покрытия, указывающее на то, что ингибитор обладает некоторой защитной способностью против коррозии, но его эффективность может быть недостаточной для полной защиты меди. При увеличении концентрации ингибитора до 5 - 7 масс. % заметное увеличение изменения импеданса свидетельствовало о том, что большая концентрация ингибитора М-531 способствует улучшению защитных свойств медного покрытия.

Ключевые слова: атмосферная коррозия, сельскохозяйственная техника и оборудование, медь, масляные композиции, М-531.

ANTI-CORROSION PROTECTION OF COPPER WITH OILS COMPOSITIONS CONTAINING ADDITIVE M-531

*Larisa Knyazeva*¹, *Nikolay Kur'yato*², *Andrey Dorokhov*³, *Viktoriya Bryksina*⁴

^{1,2,3} *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture,
Tambov, Russian Federation*

⁴ *Tambov State University named after G.R. Derzhavin, Tambov, Russian Federation*

¹cska-sparta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1319-7370>

²Knyazeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3232-2210>

³dorokhov.andryusha@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1778-457X>

⁴bryksina_98@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1264-1310>

Abstract. *The use of anti-corrosion protection is necessary to maintain the performance of agricultural machinery and equipment. The effectiveness of oil compositions with the addition of M-531 in relation to copper was studied. The compositions were obtained on the basis of industrial and motor M10G2k (both fresh and used) oils. Their protective ability was studied using gravimetric and electrochemical methods (polarization and impedance) studies. According to the data obtained from corrosion gravimetric tests in 0.5 M NaCl, it was noted that compositions based on M10G2k oil turned out to be the most effective when 5 wt. % of the additive, the protective effectiveness (Z) was 63%, a further increase in concentration led to a slight increase to Z = 65% at 10 wt. % M-531. The data from electrochemical measurements qualitatively confirm the data from gravimetric tests. Differences in the magnitude of protective effectiveness are associated primarily with different times of exposure to an aggressive environment: the duration of the experiment in the first case was 15 minutes, in the second - 14 days. According to the results of polarization measurements, compositions based on MMO were the most effective, already at a content of 5 wt. % additive value Z = 98%, while compositions containing 5 wt. % M-531 in I20-A and M10G2k had Z = 90%. The results of impedance studies showed that the addition of the M-531 inhibitor to MMO, M10G2K and I20-A oils affects the copper impedance hodographs. The inhibitor concentration had a significant effect on the change in Nyquist diagrams. At 3 wt. % M-531, a moderate change in copper plating impedance was observed, indicating that the inhibitor has some protective ability against corrosion, but its effectiveness may not be sufficient to fully protect copper. When the inhibitor concentration increases to 5 - 7 wt. % noticeable increase in the change in impedance indicated that a higher concentration of the M-531 inhibitor helps to improve the protective properties of the copper coating.*

Keywords: *atmospheric corrosion, agricultural machinery, copper, oil compositions, M-531.*

Для цитирования: Курьято Н.А., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Противокоррозионная защита меди масляными композициями, содержащие добавку М-531 // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 68, № 2. С. 86-97. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-86-97>.

For citation: Kur'yato N., Knyazeva L., Dorokhov A., Bryksina V. Anti-corrosion protection of copper with oils compositions containing additive M-531. *Nauka v central'noj Rossii = Science in the Central Russia*: 2024; 68(2): 86-97. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-2-86-97>.

Введение. Медь является достаточно широко используемым металлом как в различных отраслях промышленности, так и в сельском хозяйстве. Этот металл обладает рядом преимуществ, делающих его незаменимым для машин и оборудования аграрного сектора. Медь обладает неплохой устойчивостью к коррозии, что позволяет использовать медные трубы и фитинги для систем полива и орошения. Медные инструменты и резервуары также отличаются долговечностью и устойчивостью к коррозии, что делает их привлекательными при обработке почвы и уходе за животными. Также медь можно использовать для производства медных сеток, которые используются в качестве подстилок для животных. Медь является важным и востребованным материалом в производстве сельскохозяйственной техники и оборудования, благодаря своим уникальным свойствам. Ее применение позволяет улучшить эффективность и экологичность сельскохозяйственного производства, а также способствует развитию инновационных технологий в аграрном секторе. Но при эксплуатации в агрессивных условиях, медь подвергается коррозионному воздействию. Для того чтобы замедлить коррозионные разрушения возможно применение различных методов: использование летучих ингибиторов коррозии (ЛИК) [1-9],

получение супергидрофобного покрытия [10-12], нанесение битумных покрытий [13], применение масляных композиций [14-18] и т.д. Целью настоящей работы является исследование эффективности консервационных составов на масляной основе с добавлением противокоррозионной комбинированной (содержит контактные и летучие компоненты) добавки М-531 по отношению к меди.

Материалы и методы. Для исследования были получены композиции, где в роли растворителя-основы использовали масла: индустриальное И20-А, моторное М10Г₂К и отработанное, а в роли добавки – комбинированный ингибитор коррозии (ИК) - М-531 производства компании Cortec Corporation, USA (на территории России и стран СНГ официальный представитель – компания ООО «КОРТЕК РУС» в концентрации от 3 до 10 масс. %).

Для нанесения покрытия образцы из меди М2 опускали в ванну консервации на 10 секунд, после чего оставляли на воздухе в подвешенном вертикальном положении на 1 сутки для стекания избытка композиции и формирования защитной пленки [17, 18]. Через 5 дней после полного высыхания, проводили испытания.

Коррозионные испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl (ГОСТ 9.042-75). Скорость коррозии рассчитывали по потере массы образцов в процессе эксперимента по формуле:

$$K = \frac{\Delta m}{S \cdot \tau},$$

где Δm - потеря массы образца, г; S – площадь поверхности, м²; τ – длительность испытаний, часы.

Защитное действие определяли по формуле:

$$Z = \frac{K_0 - K_1}{K_0} \cdot 100 \%,$$

где K_0 , K_1 – скорости коррозии в отсутствие и при наличии пленки исследуемых составов.

Для поляризационных измерений использовали потенциостат 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.

Спектры импеданса изучали в диапазоне частот ($\omega/2\pi$) 60 кГц - 10 МГц с амплитудой переменного напряжения 10 мВ, используя электрохимический измерительный комплекс Solartron (Великобритания) состоящий из анализатора импеданса SI 1255 и потенциостата SI 1287.

Образцы полировали и обезжиривали ацетоном. Измерения частотных спектров импеданса проводили через 15 минут после погружения электрода в рабочий раствор. Результаты измерения импеданса обрабатывали по программе ZView 3.0, позволяющей вести расчеты по эквивалентным схемам с числом элементов до 20. Во избежание ситуации нахождения локального минимума функции расчет повторяли несколько раз с различными начальными значениями элементов схемы.

Результаты и их обсуждение. Результаты гравиметрических исследований масляных композиций в среде 0,5М NaCl при комнатной температуре в течение 14 суток приведены в таблицах 1 - 4.

Исследование защитной эффективности неингибированных масел на меди показало, что максимальным защитным действием обладает покрытие на основе масла М10Г₂К (таблица 1). Его защитный эффект $Z = 25 \%$, при этом скорость коррозии меди $K = 2,75 \cdot 10^{-6}$ г/(м²·ч). Близкую защитную эффективность обеспечивает ММО, для которого $Z = 24 \%$, $K = 2,80 \cdot 10^{-6}$ г/(м²·ч).

Таблица 1 – Скорости коррозии и защитная эффективность меди, покрытой различными нефтяными маслами, полученные в 0,5 М растворе NaCl.

Покрытие	K, (г/м ² ·ч)	Z, %
Без покрытия	$3,67 \cdot 10^{-6}$	-
И20-А	$3,19 \cdot 10^{-6}$	13
М10Г ₂ К	$2,75 \cdot 10^{-6}$	25
ММО	$2,80 \cdot 10^{-6}$	24

Дальнейшие исследования проводили на основе этих масел с введением комбинированного

ингибитора М-531. Данные показаны в таблицах 2-4. Во всех маслах наблюдается рост защитной эффективности с увеличением концентрации добавки.

Таблица 2 – Скорости коррозии и защитная эффективность меди, покрытой составами на основе индустриального масла И20-А и ингибитора М-531 в среде 0,5М NaCl

Покрытие	К, (г/м ² ·ч)	Z, %
Без покрытия	$3,67 \cdot 10^{-6}$	-
3% М-531 в И20-А	$3,30 \cdot 10^{-6}$	10
5% М-531 в И20-А	$3,10 \cdot 10^{-6}$	16
7% М-531 в И20-А	$2,75 \cdot 10^{-6}$	25
10% М-531 в И20-А	$0,80 \cdot 10^{-6}$	51

Таблица 3 – Скорости коррозии и защитная эффективность меди, покрытой составами на основе М10Г₂к и ингибитора М-531 в среде 0,5М NaCl

Покрытие	К, (г/м ² ·ч)	Z, %
Без покрытия	$3,67 \cdot 10^{-6}$	-
3% М-531 в М10Г ₂ к	$2,14 \cdot 10^{-6}$	42
5% М-531 в М10Г ₂ к	$1,36 \cdot 10^{-6}$	63
7% М-531 в М10Г ₂ к	$1,30 \cdot 10^{-6}$	65
10% М-531 в М10Г ₂ к	$1,29 \cdot 10^{-6}$	65

Таблица 4 – Скорости коррозии и защитная эффективность меди, покрытой составами на основе ММО и ингибитора М-531 в среде 0,5М NaCl

Покрытие	К, (г/м ² ·ч)	Z, %
Без покрытия	$3,67 \cdot 10^{-6}$	-
3% М-531 в ММО	$2,07 \cdot 10^{-6}$	44
5% М-531 в ММО	$1,69 \cdot 10^{-6}$	54
7% М-531 в ММО	$1,68 \cdot 10^{-6}$	54
10% М-531 в ММО	$1,66 \cdot 10^{-6}$	55

Максимальное защитное действие у композиций на основе И20-А наблюдается при концентрации ингибитора М-531 10 масс. % и составляет Z = 51 % (таблица 2). Для композиций на основе М10Г₂к уже при 7 масс. % ингибитора Z возрастает до 65%, дальнейшее увеличение концентрации добавки не приводит к существенному увеличению защитного действия (таблица 3). Защитное действие масляных композиций на основе ММО ниже, чем композиций на основе М10Г₂к, как и в случае неингибированных масел. Из результатов испытаний с покрытиями на основе ММО (таблица 4) видно, что при введении 5 масс. % ингибитора Z = 54%, дальнейшее увеличение концентрации М-531 не приводит к существенному увеличению защитного эффекта.

Были проведены поляризационные исследования защитных свойств масляных пленок, ингибированных М-531, на меди М2. Стационарный потенциал коррозии ($E_{кор}$) меди М2 составляет -0,023 В, плотность тока коррозии в фоновом растворе ($i_{кор}$) – 0,00159 А/м². Наклон тафелевского участка (рисунок 1, таблица 5), имеющегося на анодной поляризационной кривой, составляет 60 мВ, эти значения мало зависят от типа масла и концентрации ИК. После нанесения пленки свежего масла И-20А $E_{кор}$ увеличивается до -0,025 В, а $i_{кор}$ - снижается до 0,00089·А/м². Защитная эффективность покрытия маслом И-20А на меди составляет 44 %. Введение М-531 в И-20А позволяет снизить токи коррозии и, соответственно, повысить защитную эффективность покрытия (рисунок 1, таблица 5). С ростом концентрации М-531 в И-20А, защитная эффективность на меди М2 растет и достигает максимума Z = 99 % при 7 масс. % М-531. Для композиций в М10Г₂к максимальная защитная эффективность (99 %) наблюдается при 10 масс. % М-531, а для композиций в ММО - при 5 или 7 масс. % М-531 (рисунок 1, таблица 5).

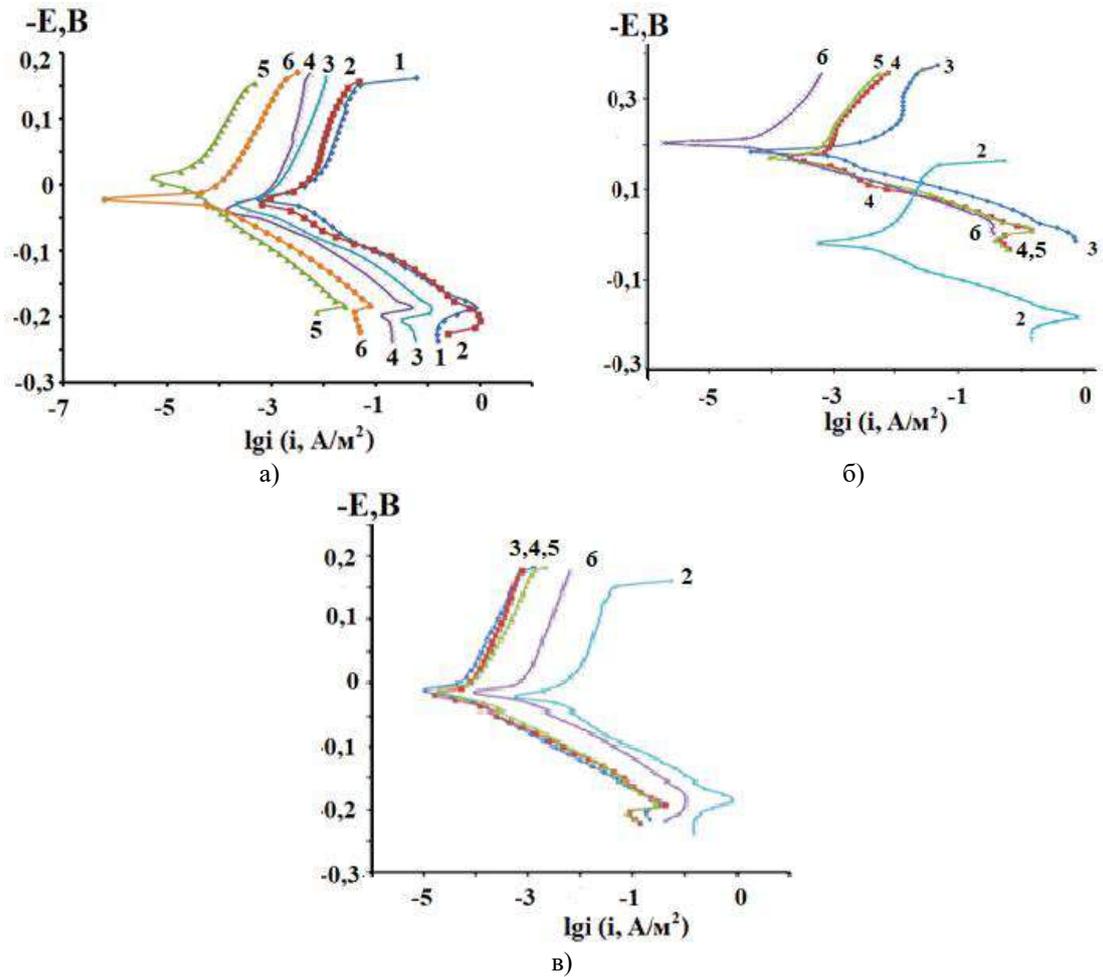


Рисунок 1 – Поляризационные кривые в 0,5М растворе NaCl на меди М2 с композициями на основе И20А(а), М10Г₂к (б), ММО (в) с М-531, масс. %:
 1 – без покрытия, 2 – 0, 3 – 3, 4 – 5, 5 – 7, 6 – 10.

Таблица 5 – Результаты электрохимических измерений на меди с покрытием на основе М531 в 0,5М растворе NaCl при комнатной температуре

Покрытие	$-E_{кор}, В$	$i_{кор}, A/m^2$	b_a	$Z, \%$
Без покрытия	0,0230	0,00159	0,060	-
И20А	0,0250	0,00089	0,060	44
И20-А + 3% М-531	-0,0938	0,00025	0,060	84
И20-А + 5% М-531	0,0433	0,00016	0,057	90
И20-А + 7% М-531	0,0245	0,00001	0,062	99
И20-А + 10% М-531	0,0200	0,00003	0,059	98
М10Г ₂ к	0,0180	0,00095	0,055	40
М10Г ₂ к + 3% М-531	-0,0094	0,00060	0,060	79
М10Г ₂ к + 5% М-531	0,0180	0,00050	0,065	82
М10Г ₂ к + 7% М-531	0,0190	0,00030	0,065	89
М10Г ₂ к + 10% М-531	0,0210	0,00003	0,052	99

ММО	0,0150	0,000025	0,055	98
ММО + 3% М-531	0,0150	0,000025	0,055	98
ММО + 5% М-531	0,0200	0,000032	0,055	99
ММО + 7% М-531	0,0210	0,000032	0,055	99
ММО + 10% М-531	0,0220	0,000200	0,055	88

Таким образом, по данным поляризационных исследований, масляные композиции на основе М-531 эффективны на меди. Масляные композиции с 7-10 масс. % М-531 позволяют почти полностью защитить медную поверхность в 0,5М растворе NaCl. Различные значения защитной эффективности, полученных при электрохимических и гравиметрических испытаниях может быть обусловлены разным временем воздействия агрессивной среды: продолжительность эксперимента в первом случае – 15 минут, во втором – 14 суток.

Также с исследуемыми композициями проводили импедансные электрохимические измерения. Для описания импеданса на меди, покрытых масляными пленками, используют схему (рисунок 1). Точки соответствуют экспериментальным результатам, а сплошные линии – расчетам на основе эквивалентной схемы. Как следует из приведенных данных, используемая в работе эквивалентная схема удовлетворительно описывает экспериментальные спектры импеданса медного электрода без покрытия и покрытого масляными пленками. На рисунке 2 приведены Диаграммы Найквиста меди для композиций с И20-А, в 0,5 М растворе NaCl. Они представляют собой комбинацию полуокружностей.

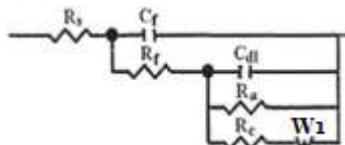


Рисунок 1 - Эквивалентная электрическая схема медного и латунного электродов с пленкой масляной композиции, в порах которой коррозионный процесс протекает по тому же механизму, что и на электроде без покрытия, где R_s – сопротивление раствора,

R_a и R_c – сопротивление переноса заряда в анодной и катодной реакциях соответственно,

C_{dl} - емкость двойного слоя (ДЭС), W_1 - конечный импеданс диффузии катодных деполаризаторов, C_f и R_f – соответственно емкость конденсатора с пленкой масла в качестве диэлектрика и сопротивление раствора в порах пленки.

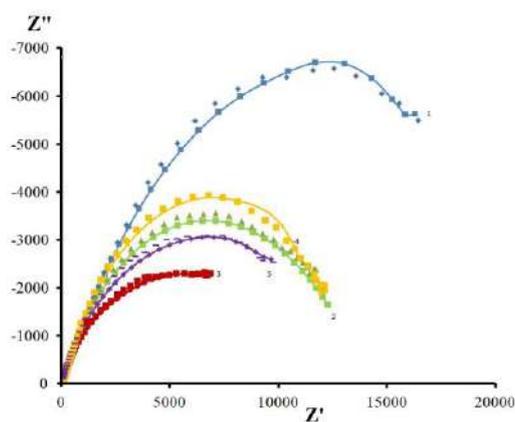


Рисунок 2 – Диаграммы Найквиста на меди под пленками масла в И20-А с добавлением ингибитора М-531: 1 – И20А без ингибитора, 2 – И20А + 3% М-531, 3 – И20А + 5% М-531, 4 – И20А + 7% М-531, 5 – И20А + 10% М-531

Начальные линейные участки годографов говорят о пористой структуре покрытий. Из рисунка

2 видно, что нанесение пленки масла И20-А, ингибированного М-531 вызывает уменьшение радиуса полуокружностей. Это свидетельствует об уменьшении общего сопротивления системы. Числовые значения элементов эквивалентных схем, приведены в таблице 6. Нанесение покрытия на медный электрод вызывает существенное уменьшение сопротивления переноса заряда в анодной и катодной реакции. Сопротивление диффузионного переноса при наличии пленки на медном электроде увеличивается, емкость ДЭС уменьшается.

Таблица 6 – Численные значения параметров эквивалентной схемы на меди М2 покрытой И20-А с добавкой комбинированного ингибитора М-531 в 0,5М NaCl

	И20-А				
	Без покрытия	3%	5%	7%	10%
R_s	16,2	21,24	14,4	21,99	6,21
C_f	$6,579210^{-7}$	$6,490910^{-7}$	$4,744310^{-7}$	$4,501310^{-7}$	$2,108610^{-7}$
R_f	261,9	200,6	285,5	224	444,1
C_{dl}	$7,897110^{-7}$	$4,13310^{-7}$	$4,666510^{-7}$	$2,989310^{-7}$	$2,765510^{-7}$
R_a	22644	12353	10549	12538	12378
R_c	332,7	0,00011231	185,6	0,00065466	575,6
W_1-R	92325	658,2	71827	93752	57583
W_1-T	3,59	0,00044348	9,034	1,646	0,990542
W_1-P	0,61758	0,27772	0,45761	0,62239	0,50374

На рисунке 3 приведены Диаграммы Найквиста меди в ММО, в 0,5 М растворе хлорида натрия. При сравнении годографов на рисунках 2 и 3 можно сделать вывод о том, что композиции на основе И20-А с добавкой комбинированного ингибитора М-531 в 0,5М NaCl среде соответствуют более высокие величины общего сопротивления системы.

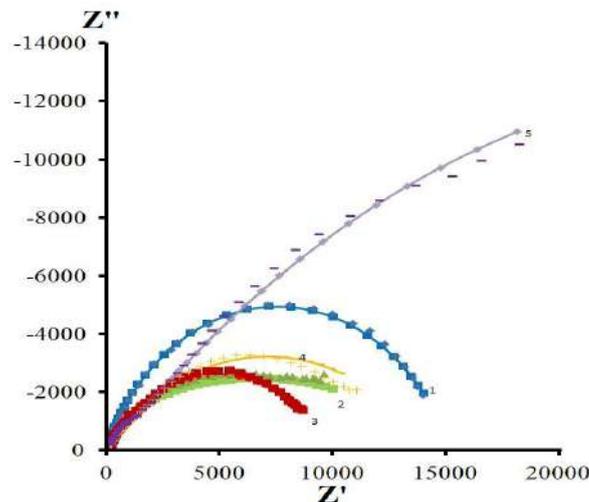


Рисунок 3 – Диаграммы Найквиста на меди, покрытой пленками ММО с добавлением ингибитора М-531: 1 – ММО без ингибитора, 2 – ММО + 3% М-531, 3 – ММО + 5% М-531, 4 – ММО + 7% М-531, 5 – ММО + 10% М-531.

Величины R_a и R_c для ММО выше, чем в И20А (таблица 7), что согласуется с более высоким защитным эффектом этих покрытий, полученным гравиметрическим методом.

Таблица 7 – Численные значения параметров эквивалентной схемы на меди М2, покрытой ММО с добавкой комбинированного ингибитора М-531 в 0,5М NaCl

	ММО				
	Без покрытия	3%	5%	7%	10%
Rs	29	4,9	5,66	13,78	19,13
Cf	3,8228E-7	5,63E-7	7,808E-14	8,4042E-7	4,7654E-7
Rf	190	244,4	1,163	70,96	428,7
Cdl	2,225E-13	3,4263E-7	8,707E-7	1,5993E-8	1,7268E-8
Ra	14793	14040	9741	13806	62942
Rc	2209	0,00045909	585,6	249,1	239
W _{1-R}	3,033	62,77	87,54	83,47	197,8
W _{1-T}	3,3124E-8	4,0179E-7	2,5705E-5	3,263E-5	6,8366E-5
W _{1-P}	0,34192	0,20388	0,30533	0,28144	0,26528

Нанесение покрытия на медный электрод вызывает существенное уменьшение сопротивления переноса заряда в катодной реакции. Сопротивление диффузионного переноса при наличии пленки на медном электроде увеличивается. Емкость двойного слоя уменьшается с увеличением концентрации ингибитора.

На рисунке 4 приведены Диаграммы Найквиста меди в М10Г₂К, в 0,5М растворе хлорида натрия. Величины элементов эквивалентных схем, описывающих годографы (рисунок 4), приведены в таблице 8. Сопротивления переноса заряда в анодной и катодной реакциях больше, чем в маслах И20-А и ММО, что согласуется с более высокой защитной эффективностью данных покрытий, как и в случае поляризационных исследований.

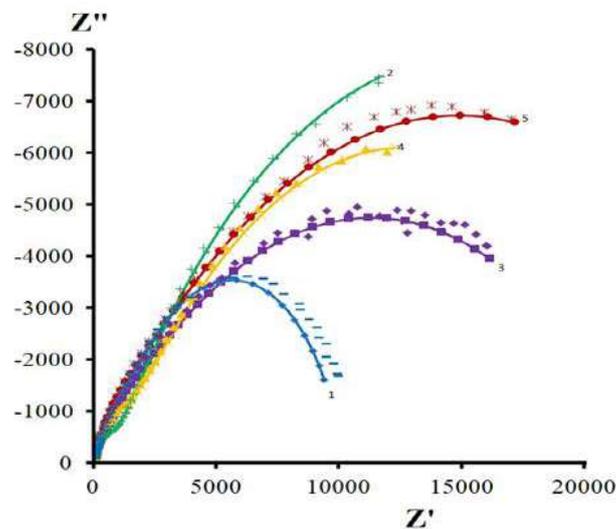


Рисунок 4 – Диаграммы Найквиста на меди, покрытой пленками масла М10Г₂К с добавлением ингибитора М-531: 1 – М10Г₂К без ингибитора, 2 – М10Г₂К + 3% М-531, 3 – М10Г₂К + 5% М-531, 4 – М10Г₂К + 7% М-531, 5 – М10Г₂К + 10% М-531

Таблица 8 – Численные значения параметров эквивалентной схемы на меди М2 покрытые М10Г₂К с добавкой комбинированного ингибитора М-531 в 0,5М NaCl

	М10Г ₂ К				
	Без покрытия	3%	5%	7%	10%
Rs	19,63	12,31	36,92	5,91	16,8
Cf	8,962E-7	8,9378E-7	7,5741E-8	4,837E-7	1,8282E-7
Rf	491,9	106,9	750,1	275,2	633,4
Cdl	1,0781E-6	2,5814E-7	1,6009E-7	2,5421E-7	1,978E-7
Ra	8700	28141	19534	22098	26199
Rc	5,097E-5	179,4	1,4021E-5	9,8757E-6	0,00098307
W ₁ -R	5080	1509	2730	3463	3419
W ₁ -T	0,026781	0,026608	0,0015186	0,031381	0,0037903
W ₁ -P	0,4064	0,30675	0,25821	0,30432	0,27391

Таким образом, результаты импедансных электрохимических исследований подтвердили результаты поляризационных исследований. Как было показано, добавление ингибитора М-531 в масла ММО, М10Г₂К и И20-А влияет на годографы импеданса меди. Концентрация ингибитора имела значительное влияние на изменение диаграмм Найквиста. При концентрации 3 масс. % ингибитора М-531 наблюдалось умеренное изменение импеданса медного покрытия. Это указывает на то, что ингибитор обладает некоторой защитной способностью против коррозии, но его эффективность может быть недостаточной для полной защиты меди. При увеличении концентрации ингибитора до 5 масс. % и 7 масс. %, наблюдалось заметное увеличение изменения импеданса. Это говорит о том, что большая концентрация ингибитора М-531 способствует улучшению защитных свойств покрытия меди от коррозии. В данном случае, масла ММО, М10Г₂К и И20-А с 5 масс. % и 7 масс. % концентрацией ингибитора показали наибольшую эффективность. Однако, при дальнейшем увеличении концентрации ингибитора до 10 масс. % наблюдалось незначительное улучшение в сравнении с концентрацией 7 масс. %. Это может указывать на насыщение системы ингибитором, при котором дальнейшее увеличение концентрации не приводит к значительному изменению значений импеданса.

Заключение. Исходя из электрохимических измерений можно отметить, что все составы имеют высокую защитную эффективность по отношению к меди, при поляризационных измерениях она составляет $Z = 90-99\%$ при 7-10 масс. % добавки. В 0,5 NaCl наиболее эффективны оказались составы на основе моторного масла М10Г₂к. При увеличении концентрации ингибитора до 5 масс. % и 7 масс. %, наблюдалось заметное увеличение изменения импеданса, дальнейшее увеличение концентрации ингибитора можно считать неоправданным с точки зрения повышения защитной эффективности. Данные электрохимических измерений качественно сочетались со значениями защитной эффективности, полученных при гравиметрических испытаниях, различия связаны с разным временем воздействия агрессивной среды: продолжительность эксперимента в первом случае – 15 минут, во втором – 14 суток.

Список источников

1. Vigdorovich V.I., Knyazeva L. G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorochoy A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A. Use of IFKHAN Type of Volatile Inhibitors for Protection of Steel Equipment in the Atmosphere of the Livestock Premises//Russian Agricultural Sciences. 2017. Т. 43. № 2. С. 184.
2. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorokhov A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A., Goncharova O.A.//Suppresion of Atmospheric Corrosion of Brass Using Volatile Inhibitors//Russian Agricultural Sciences. 2017. Т. 43. № 4. С. 342-346.
3. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel Against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at

High Concentrations of CO₂, H₂S and NH₃//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Т. 7. № 2. С. 175-184.

4. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Dorohova A.N., Dorohov A.V., Knyazeva L.G., Uryadnikov A.A. Protective Ability of Volatile Inhibitors of IFKHAN Series in Atmospheric Corrosion of Brass and Copper at High Concentrations of CO₂, NH₃ and H₂S in Air// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. Т. 7. № 3. С. 331-339.

5. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Uryadnikova A.A. The Influence of the Volatile IFKHAN-114 Inhibitor on the Efficiency of a Number of Contact Galvanic Metal Pairs and Rate of Corrosion of their Constituents in the Atmosphere of livestock premises// Russian Agricultural Sciences. 2019. Т. 45. № 1. С. 99.

6. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G. Universality of Volatile Corrosion Inhibitors in Terms of Agricultural Production Requirements//Russian Agricultural Sciences. 2019. Т. 45. № 3. С. 307.

7. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Suppression of Local Corrosion of Steel, brass and copper with ifkhan-114 volatile INHIBITOR//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2019. Т. 8. № 1. С. 42-49.

8. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Shel' N.V., Tsygankova L.E. Permeability of Oil Films with Molecules of Water, Sulfur (IV) Oxide, and Oxygen//Polymer Science, Series D. 2019. Т. 12. № 1. С. 105-109.

9. Оценка защитной эффективности летучего ингибитора ИФХАН-114 посредством поляризационных измерений в условиях атмосферной коррозии меди. Вигдорovich В.И., Цыганкова Л.Е., Князева Л.Г., Шель Н.В., Дорохов А.Н., Вигдорovich М.В. // Наука в центральной России. 2023. № 1(61). С. 133-146.

10. Антикоррозионные свойства супергидрофобных покрытий на меди, полученных электроосаждением / Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Урядников А.А., Дорохова А.Н. // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2019. № 1. С. 25-31.

11. Цыганкова Л.Е., Урядников А.А., Дорохов А.В., Князева Л.Г., Шель Н.В., Родионова Л.Д. Защита стали супергидрофобным покрытием в атмосфере с повышенным содержанием агрессивных компонентов//Коррозия: материалы, защита. 2021. № 9. С. 33-38.

12. Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Курьято Н.А., Дорохов А.В., Урядников А.А., Дорохова А.Н. Антикоррозионные свойства супергидрофобных покрытий на меди, полученных электроосаждением// Коррозия: защита, материалы. Приложение к журналу "Технология металлов". 2023. № 13. С. 4-12.

13. Курьято Н.А., Князева Л.Г., Дорохов А.В., Брыксина В.А. Противокоррозионная защита стали составами на основе битумного праймера // Наука в центральной России. 2023. № 5(65). С. 112-118.

14. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А. К оценке ингибиторной защиты сельскохозяйственной техники и оборудования // Наука в центральной России. 2023. № 1(61). С. 133-146.

15. 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.

16. Князева Л.Г., Цыганкова Л.Е., Дорохов А.В., Курьято Н.А. Масляные композиции, модифицированные летучим ингибитором, для защиты металлов от атмосферной коррозии// Коррозия: материалы, защита. 2022. № 6. С. 29-37

17. Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А., Прохоренков В.Д. Исследование эффективности составов на основе CORTEC VpCl-368 и CORTEC VpCl-369 для противокоррозионной защиты сельскохозяйственной техники // Наука в центральной России. 2019. № 5. С. 69-80.

18. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur'yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCl-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

References

1. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorochoy A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A. Use of IFKHAN Type of Volatile Inhibitors for Protection of Steel Equipment in the Atmosphere of the Livestock Premises//Russian Agricultural Sciences. 2017. T. 43. No. 2. P. 184.
2. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Zazulya A.N., Prokhorenkov V.D., Dorokhov A.V., Kuznetsova E.G., Uryadnikov A.A., Goncharova O.A.//Suppresis of Atmospheric Corrosion of Brass Using Volatile Inhibitors//Russian Agricultural Sciences. 2017. T. 43. No. 4. P. 342-346.
3. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Shel N.V., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A. Protection of Carbon Steel Against Atmospheric Corrosion by Volatile Inhibitors of IFKHAN Series at High Concentrations of CO₂, H₂S and NH₃//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. T. 7. No. 2. P. 175-184.
4. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Dorohova A.N., Dorokhov A.V., Knyazeva L.G., Uryadnikov A.A. Protective Ability of Volatile Inhibitors of IFKHAN Series in Atmospheric Corrosion of Brass and Copper at High Concentrations of CO₂, NH₃ and H₂S in Air// International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2018. T. 7. No. 3. P. 331-339.
5. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Uryadnikova A.A. The Influence of the Volatile IFKHAN-114 Inhibitor on the Efficiency of a Number of Contact Galvanic Metal Pairs and Rate of Corrosion of their Constituents in the Atmosphere of livestock premises // Russian Agricultural Sciences. 2019. T. 45. No. 1. P. 99.
6. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G. Universality of Volatile Corrosion Inhibitors in Terms of Agricultural Production Requirements//Russian Agricultural Sciences. 2019. T. 45. No. 3. P. 307.
7. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Dorokhova A.N., Vigdorowitsch M.V. Suppression of Local Corrosion of Steel, brass and copper with ifkhan-114 volatile INHIBITOR//International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2019. T. 8. No. 1. P. 42-49.
8. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Ostrikov V.V., Shel N.V., Tsygankova L.E. Permeability of Oil Films with Molecules of Water, Sulfur (IV) Oxide, and Oxygen//Polymer Science, Series D. 2019. Vol. 12. No. 1. pp. 105-109.
9. Assessment of the protective effectiveness of the volatile inhibitor IFKhan-114 through polarization measurements under conditions of atmospheric corrosion of copper. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V., Dorokhov A.N., Vigdorovich M.V. // Science in central Russia. 2023. No. 1(61). pp. 133-146.
10. Anticorrosion properties of superhydrophobic coatings on copper obtained by electrodeposition / Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Kuryato N.A., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A., Dorokhova A.N. // All materials. Encyclopedic reference book. 2019. No. 1. P. 25-31.
11. Tsygankova L.E., Uryadnikov A.A., Dorokhov A.V., Knyazeva L.G., Shel N.V., Rodionova L.D. Protection of steel with a superhydrophobic coating in an atmosphere with a high content of aggressive components // Corrosion: materials, protection. 2021. No. 9. pp. 33-38.
12. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Kuryato N.A., Dorokhov A.V., Uryadnikov A.A., Dorokhova A.N. Anti-corrosion properties of superhydrophobic coatings on copper obtained by electrodeposition // Corrosion: protection, materials. Supplement to the journal "Technology of Metals". 2023. No. 13. P. 4-12.
13. Kuryato N.A., Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Bryksina V.A. Anti-corrosion protection of steel with compositions based on bitumen primer // Science in Central Russia. 2023. No. 5(65). pp. 112-118.
14. Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Kuryato N.A. Towards the assessment of inhibitor protection of agricultural machinery and equipment // Science in Central Russia. 2023. No. 1(61). pp. 133-146.
15. 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. T. 55. No. 4. P. 412-423.
16. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kuryato N.A. Oil compositions modified with a volatile inhibitor to protect metals from atmospheric corrosion // Corrosion: materials, protection. 2022. No. 6. P. 29-37

17. Knyazeva L.G., Dorokhov A.V., Kuryato N.A., Prokhorenkov V.D. Study of the effectiveness of compositions based on CORTEC VpCl-368 and CORTEC VpCl-369 for anti-corrosion protection of agricultural machinery // Science in Central Russia. 2019. No. 5. P. 69-80.

18. Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Dorokhov A.V., Kur`yato N.A. Protective efficiency of oil compositions with Cortec VpCl-368D // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. 2021. Vol. 10, no. 2. P. 551-561.

Информация об авторах

Н.А. Курьято – младший научный сотрудник; Л. Г. Князева – доктор химический наук, доцент, главный научный сотрудник; А.В. Дорохов – кандидат химических наук, старший научный сотрудник; В. А. Брыксина – младший научный сотрудник.

Information about the authors

N. Kur`yato – junior researcher; L. Knyazeva – doctor of science (chemistry), associate professor, chief researcher; A. Dorokhov – candidate of chemical science, senior researcher; V. Bryksina – junior researcher.

Вклад авторов все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 03.04.2024 Принята к публикации (Accepted): 24.04.2024