

Тип статьи: научная

УДК 620.193

DOI: 10.35887/2305-2538-2024-5-139-148

## ЦИНКПОЛНЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ОТ АТМОСФЕРНОЙ КОРРОЗИИ

*Лариса Геннадьевна Князева*<sup>1</sup>, *Андрей Валерьевич Дорохов*<sup>2</sup>, *Николай Алексеевич Курьято*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, г. Тамбов, Российская Федерация*

<sup>1</sup> *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Российская Федерация*

<sup>1</sup> *knyazeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3232-2210>*

<sup>2</sup> *dorokhov.andryusha@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1778-457X>*

<sup>3</sup> *cska-sparta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1319-7370>*

Автор, ответственный за переписку: Лариса Геннадьевна Князева, [knyazeva27@mail.ru](mailto:knyazeva27@mail.ru)  
Corresponding author: Larisa Knyazeva, [knyazeva27@mail.ru](mailto:knyazeva27@mail.ru)

**Реферат.** Для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии возможно применение цинкнаполненных покрытий (ЦНП) на масляной основе. Анализ литературы показал, что противокоррозионная эффективность ЦНП во многом зависит от размера входящих в их состав частиц цинка. Для исследований использовали порошки цинка разного размера ПЦР-1 (до 40 мкм) и ПЦ-1 (до 9 мкм) в количестве 40-60 масс.%. В качестве связующего использовали масла: моторное отработанное (ММО), промышленное И-20А, рапсовое рафинированное и олифу. Определено, что потенциал коррозии ( $E_{кор}$ ) стали Ст3 с ЦНП в 0,5 М растворе NaCl занимает промежуточное значение между  $E_{кор}$  стали и  $E_{кор}$  компактного цинка. Концентрация Zn в масляной пленке в результате его окисления и перехода в 0,5 М раствора NaCl с течением времени понижается с 40-60 %, достигая практически минимального значения через 20 суток. Установлено, что введение цинкового порошка в масла повышает их защитную эффективность (Z) тем значительнее, чем меньше размер частиц. Введение 40 % порошка ПЦР-1 увеличивает Z ММО на 5 %, а цинка ПЦ-1 – на 48 % в солевом растворе. Эти тенденции сохраняются и при испытаниях в термовлагокамере Г-4, но разница при использовании различных ЦНП не столь значительна, как при испытаниях в солевом растворе. Максимальная Z = 93% получена для олифы с 50 % ПЦР-1; Z = 94-95 % для композиций с 50-60 масс.% ПЦ-1 в рапсовом масле, Z = 94-95 %. Покрытия с ПЦ-1 в ММО и рапсовом масле обеспечивают Z = 91% при натурно-стендовых испытаниях в течение 12 месяцев.

**Ключевые слова:** коррозия, цинкнаполненные покрытия, размер частиц, сталь, защитная эффективность, ускоренные коррозионные испытания, натурно-стендовые е.

## ZINC-FILLED COATINGS FOR PROTECTING AGRICULTURAL MACHINERY FROM ATMOSPHERIC CORROSION

*Larisa Knyazeva*<sup>1</sup>, *Andrey Dorokhov*<sup>2</sup>, *Nikolay Kur`yato*<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> *All-Russian Research Institute for Use machinery and Petroleum products in Agriculture, Tambov, Russian Federation*

<sup>1</sup> *Tambov State University, Tambov, Russian Federation*

<sup>1</sup> *knyazeva27@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3232-2210>*

<sup>2</sup> *dorokhov.andryusha@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1778-457X>*

<sup>3</sup> *cska-sparta@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1319-7370>*

**Abstract.** Application of zinc-filled coatings (ZFC) on oil base is possible for protection of agricultural machinery from atmospheric corrosion. Analysis of literature has shown that anti-corrosion efficiency of ZFC largely depends on the size of zinc particles included in their composition. Zinc

*powders of different sizes PCR-1 (up to 40  $\mu\text{m}$ ) and PC-1 (up to 9  $\mu\text{m}$ ) in the amount of 40-60 wt.% were used for research. Oils were used: used motor oil (ММО), industrial oil I-20A, refined rapeseed oil and drying oil were used as a binder. It was determined that the corrosion potential ( $E_{\text{cor}}$ ) of St3 steel with ZFC in 0.5 M NaCl solution occupies an intermediate value between the  $E_{\text{cor}}$  of steel and the  $E_{\text{cor}}$  of compact zinc. The concentration of Zn in the oil film as a result of its oxidation and transition to 0.5 M NaCl solution decreases over time from 40-60%, reaching almost the minimum value after 20 days. It was found that the introduction of zinc powder into oils increases their protective efficiency (Z) the more significantly, the smaller the particle size. The introduction of 40% PCR-1 powder increases Z ММО by 5%, and zinc PC-1 - by 48% in a saline solution. These trends are also preserved during tests in the G-4 heat and moisture chamber, but the difference when using different CNP is not as significant as during tests in a saline solution. The maximum Z = 93% was obtained for drying oil with 50% PCR-1; Z = 94-95% for compositions with 50-60 wt.% PC-1 in rapeseed oil, Z = 94-95%. Coatings with PC-1 in ММО and rapeseed oil provide Z = 91% during full-scale bench tests over 12 months.*

**Keywords:** corrosion, zinc-rich coatings, particle size, steel, protective efficiency, accelerated corrosion testing, full-scale bench testing.

**Для цитирования:** Князева Л.Г., Дорохов А.В., Курьято Н.А. Цинкнаполненные покрытия для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 71, № 5. С. 139-148. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-139-148>.

**For citation:** Knyazeva L., Dorokhov A., Kur'yato N. Zinc-filled Coatings for Protecting Agricultural Machinery from Atmospheric Corrosion. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 71(5): 139-148. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-5-139-148>.

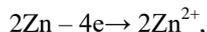
**Введение.** Масляные покрытия давно и широко используются для защиты сельскохозяйственной техники от атмосферной коррозии [1-3], благодаря простоте приготовления и нанесения, долговечности, устойчивости к агрессивным средам, легкости восстановления. Повысить их защитную эффективность можно за счет введения дисперсного наполнителя - порошка металла. В результате можно получить материалы, которые помимо достоинств, связанных с масляной основой, будут обладать положительными свойствами металлов (прочностью, пластичностью, теплопроводностью, электропроводностью).

Порошки металлов в качестве дисперсных наполнителей позволяют получать новые композиционные материалы, обладающие в числе прочих, высокими противокоррозионными свойствами [4-8]. При получении таких материалов важным процессом является смешение компонентов [4], всегда пытаются оценить количество нераспределенных включений наполнителя [4]. Получить универсальный материал со стабильной связью между металлическим наполнителем и связующим, стабильным химическим строением и физической структурой компонентов для эксплуатации в агрессивных средах достаточно сложно, поэтому актуально получение новых композиционных материалов для определенных условий эксплуатации.

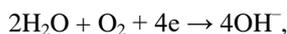
Возможность введения дисперсных наполнителей в масла (минеральные моторные и растительные) можно объяснить тем, что масла могут полимеризоваться, поэтому их можно, в какой-то степени рассматривать в качестве предшественников мономерных цепей [9]. Такие исследования в нашей стране сравнительно широко проводятся с цинкнаполненными лакокрасочными покрытиями.

Среди металлических дисперсных наполнителей наиболее популярен цинк Zn, обладающий хорошими противокоррозионными свойствами, хотя сам по себе он токсичен и недешев. Покрытия из цинка слоем в 80-150 мкм достаточно для защиты железа от коррозии более чем на 30 лет. В нашей стране и зарубежом широко используются цинкнаполненные покрытия (ЦНП), особенно цинкнаполненные протекторные грунтовки (ЦНПГ) [6]. В электрохимическом ряду активностей металлов (ряду напряжений) цинк стоит левее железа, следовательно, он является более химически активным металлом. Стандартный электродный потенциал Zn существенно ниже (-762 мВ), чем железа (-440 мВ), поэтому при проникновении влаги в покрытие образуются многочисленные микрогальванические пары, в которых анодом является металлический Zn, а

катодом – металл-основа. На аноде Zn подвергается анодному окислению и переходит в состояние ионов:



На катоде протекает реакция восстановления:



при этом железо пассивируется.

Далее протекает реакции:



в результате которой образуется труднорастворимый амфотерный гидроксид  $\text{Zn}(\text{OH})_2$ , который наряду с основными солями цинка, может концентрироваться на стальной поверхности, защищая ее от дальнейшего коррозионного разрушения [10].

Предполагаются две основные стадии противокоррозионной защиты металлов ЦНПГ: катодная (электрохимическая) и барьерная. При катодной защите работают гальванопары «Fe–Zn». В результате воздействия влажного воздуха, содержащего  $\text{CO}_2$ , хлориды, сульфаты и другие стимуляторы коррозии, на поверхности ЦНП образуются соли типа  $\text{ZnCO}_3 \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$ , которые, накапливаясь в микропорах, уплотняют покрытие, делая его менее проницаемым для агрессивных веществ [11], препятствуя развитию коррозионного процесса. В результате наступает гидроизолирующая стадия защиты. Форма, качество и количество порошка Zn, химическая природа металла - основы влияют на вклад протекторного и гидроизолирующего механизмов в общую защиту. В начальный период работы при отсутствии сквозных пор протекторное покрытие выполняет роль изолирующего. При дальнейшей эксплуатации в покрытии возникают дефекты, которые приводят к появлению местных очагов коррозии под обычным изолирующим покрытием. Для протекторных покрытий в этот момент наступает этап активной катодной защиты металла и возникает барьерный эффект, обусловленный уплотнением пленки продуктами коррозии. Длительное отсутствие белого налета солей цинка на поверхности покрытия может служить свидетельством хороших изолирующих свойств композиций и низкой плотности тока при работе микрогальванопар сталь – Zn. Параллельное существование катодного механизма защиты стали при локальных повреждениях ЦНП и доступа электролита к более глубоко расположенным частицам Zn [7] возможно при осуществлении барьерного механизма. В [7, 8] установлено, что надёжное протектирование обеспечивается только в местах небольших повреждений поверхности.

Противокоррозионная эффективность ЦНП во многом зависит от чистоты, размера и формы частиц Zn [12, 13]. Авторы [14] отметили, что для длительной протекторной защиты металлических конструкций более предпочтительно применение порошка Zn высокой чистоты со средним размером частиц 10 мкм. Авторы [15] отмечают резкое ухудшение защитных свойств ЦНП при использовании частиц Zn менее 2 мкм из-за образования крупных агломератов.

Интересно, что по требованиям ИСО 3549 минимальное содержание Zn в ЦНП составляет 94 % масс., в работах [16, 17] предлагается 85-95%. Но в работе [17] отмечено отрицательное влияние такого избыточного содержания Zn в покрытии на характеристики покрытий. Авторы [18] указывают на минимальное содержание Zn 65%. Они объясняют механизм защитного действия ЦНП возникновением цепочек из частиц Zn, электрически связанных между собой и со стальной основой со скачкообразным нарастанием электропроводности из-за предположительного образования «бесконечных кластеров» типа «А», определяющих сквозную проводимость (рисунок 1).

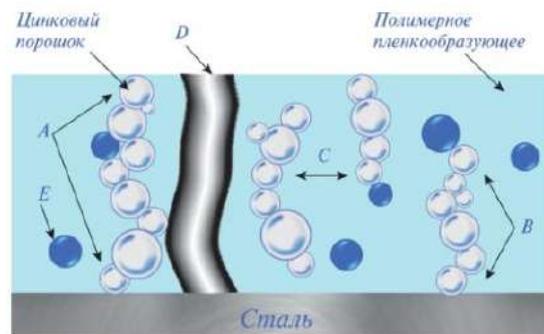


Рисунок 1- Кластеры в ЦНП: А – бесконечные; В – контактирующие с металлом-основой; С – «висячие», не образующие гальванопар; D – открытые (сквозные) поры; E – микропоры

При возникновении на поверхности ЦНП дефекта в реакцию вступает Zn В-кластера, не выходящего на поверхность, который по катодному механизму предотвращает коррозию стали и «залечивает» повреждение. Анодное растворение Zn продолжается до тех пор, пока образующиеся труднорастворимые продукты коррозии не заполнят поры покрытия D (рисунок 1), прекращая доступ агрессивной среды к поверхности стали. ЦНП не пропускают к поверхности металла стимуляторы коррозии, хотя возможно повторное проявление их местного протекторного действия при питтингах и доступе агрессивного электролита к более глубоко расположенным частицам Zn. Обычно, в тонких слоях (до 10...20 мкм) цинк играет в основном роль протектора, но срок службы такого покрытия ограничен продолжительностью растворения диспергированных частиц Zn [19].

Важными условиями протекторной защиты является подготовка поверхности металла-основы, наличие электрического контакта с ней цинкового кластера [14] и электропроводимость ЦНПГ, за что отвечает высокая степень наполнения пленки ЦНП, при котором связующее не образует сплошных оболочек вокруг отдельных частиц цинковой пыли. На коррозионную стойкость ЦНП влияет тип атмосферы, состав цинкового порошка и форма его частиц. Свойства ЦНП определяются природой связующего и отношением его к цинковому порошку, а также толщиной покрытия.

Все рассмотренные выше ЦНП имеют существенный недостаток: их нельзя использовать для временной противокоррозионной защиты техники от атмосферной коррозии при необходимости периодической консервации, расконсервации и переконсервации. Этому недостатка лишены масляные цинконаполненные ингибированные составы.

Целью работы было исследование защитных свойств масляных покрытий с порошком цинка разного размера.

**Материалы и методы.** Исследования проводили на углеродистой стали Ст3. В качестве масляного связующего использовали отработанное моторное масло (ММО), промышленное масло И-20А (ГОСТ 20799-88), рапсовое масло (ГОСТ 8988-2002) и олифу (ГОСТ 7931-76).

В составе масляных композиций использован цинковый порошок 2 марок ПЦ-1 и ПЦР-1 (таблица 1)

Таблица 1- Характеристики используемых порошков Zn

Марка цинкового порошка	Диаметр частиц Zn, мкм	Примеси, %						
		железо	свинец	кадмий	медь	олово	мышьяк	сурьма
ГОСТ 12601-76 ПЦ-4	до 9	0,0005	0,01	0,0015	0,0004	0,001	0,0005	0,001
ПЦР-1 ГОСТ: 12601-76	25-40	0,05	0,01	0,002	0,004	0,001	0,0005	0

Исследуемые составы готовили путем перемешивания цинкового порошка с маслами до образования однородной суспензии. Пленки масляных композиций наносили на образцы стали методом погружения при 20<sup>0</sup>С и выдерживали в течение суток для формирования покрытия.

Ускоренные коррозионные испытания проводили в 0,5 М растворе NaCl по ГОСТ 9.042-75 (14 суток) и в термовлагокамере Г-4 по ГОСТ 9.054-75 (40 суток).

Количество растворившегося из покрытия цинка во время экспозиции в 0,5 М растворе NaCl и железа, перешедшего в раствор, определяли по методике, описанной в [20].

**Результаты и обсуждение.**

Плотность цинкнаполненных защитных составов на базе ММО зависит от содержания цинкового порошка и для композиций с 40, 50 и 60% Zn с ПЦ-1 составила, соответственно ~1,12; 1,51 и 1,72 г/см<sup>3</sup>, с ПЦР-1 – 0,80; 0,86; 0,89, соответственно. Эксперименты проводились в разное время, исходные отработанные масла отличались по своим характеристикам. Но большую роль на конечную плотность композиций оказывал размер частиц цинка. Можно предположить, что более мелкие частицы ПЦ-1 могут обеспечить более тесное уплотнение материала, что может привести к увеличению плотности связующего. Более крупные частицы ПЦР-1 могут занимать больше объема и привести к уменьшению плотности масла. Толщина формирующейся защитной пленки мало зависит от концентрации Zn составляет 90 ± 10 мкм в первом случае и 18 ± 2 мкм -во втором.

Рассмотрение потенциалов коррозии углеродистой стали Ст3, покрытой масляными пленками на основе ММО показало, что потенциал коррозии (E<sub>кор</sub>) стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl близок к -0,5 В (таблица 2), в то время как для компактного Zn E<sub>кор</sub> ~ -0,8 В, а E<sub>кор</sub> для стали с ЦНП имеют промежуточное значение. Содержание в масляной композиции 40 масс.% Zn марки ПЦ-1 приводит к E<sub>кор</sub> стали, равному -0,63 В, 50 масс.% - к дальнейшему снижению до -0,7 В, а 60 масс.% - к -0,75 В, следовательно, возрастает протекторный эффект.

Таблица 2 – Потенциалы коррозии стали, покрытой ЦНП, в 0,5 М NaCl

Потенциал коррозии, В	Сталь Ст3	Содержание Zn (ПЦ-1) в ММО, %			
		40	50	60	100
	-0,5	-0,63	-0,70	-0,75	-0,8

E<sub>кор</sub> стали с ЦНП изменяется во времени (рисунок 2). При концентрации цинка 40 масс.% E<sub>кор</sub> сначала сдвигается в положительную сторону на 0,075 – 0,080 В, независимо от концентрации цинкового протектора (рисунок 2, кривые 2, 3). После 5 часов экспозиции величина E<sub>кор</sub>, еще больше повышается, но по абсолютной величине остается значительно отрицательнее E<sub>кор</sub> стали, покрытой пленкой только ММО (рисунок 2, кривая 1). При C<sub>Zn</sub> = 50% смещение E<sub>кор</sub> в положительную сторону менее значительно.

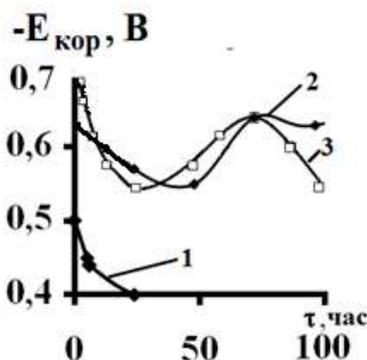


Рисунок 2 - - Зависимость потенциала коррозии стали, покрытой защитной композицией на основе ММО от времени при комнатной температуре.  
 Содержание Zn, %: 1- чистая сталь; 2 – 40; 3 - 50. pH = 6,5

Можно предположить, что концентрация Zn в результате его окисления и перехода в раствор с течением времени понижается в защитной пленке. Было показано, что концентрация цинка в ЦНП снижается во времени, достигая практически минимального значения на двадцатые сутки эксперимента (рисунок 3 а).

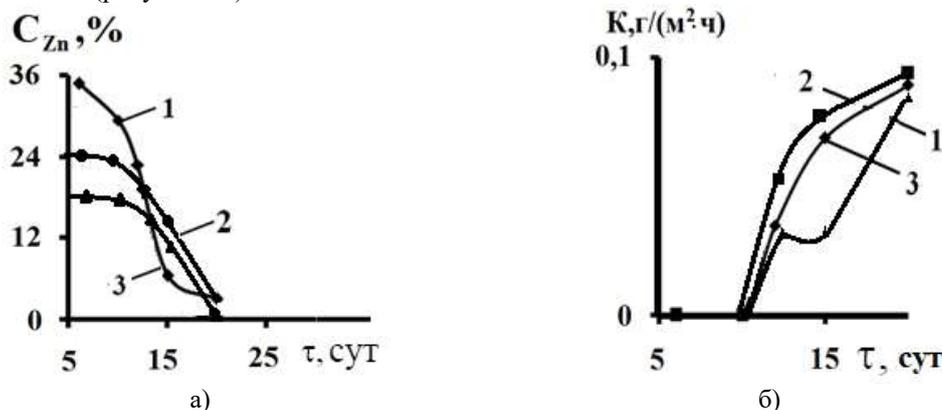


Рисунок 3 - Зависимость от продолжительности эксперимента в 0,5 М NaCl концентрации Zn, остающегося в ЦНП (а), и скорости коррозии стали (К), рассчитанной по концентрации железа, перешедшего в рабочую среду по данным химического анализа. Исходная концентрация Zn, %, в ЦНП: 1 – 40; 2 – 50; 3 - 60. pH рабочего раствора – 6,5

Следует отметить, что в первые 10 суток экспозиции в 0,5 М растворе NaCl железо не переходит в раствор, следовательно, процесс коррозии не начинается (рисунок 3 б). Затем происходит скачок, когда концентрация железа возрастает, соответственно, возрастает скорость коррозии.

Защитная эффективность пленки ММО в 0,5 М растворе NaCl составляет 32 % (таблица 1), благодаря образующимся в процессе его функционального использования продуктам окисления. Добавление порошка Zn в ММО приводит к росту защитной эффективности, более значительному при использовании ПЦ-1, что, вероятнее всего, связано с меньшим диаметром частиц Zn, более близким к указанному выше по литературным источникам оптимальному диаметру 10 мкм. Так введение 40 % Zn ПЦР-1 увеличивает защитную эффективность ММО на 5 %, а цинка ПЦ-1 – на 48 %.

Таблица 1 – Влияние содержания Zn на защитную эффективность ЦНП в 0,5 М растворе NaCl

Zn, %	Масло - связующее					
	ММО		И-20А		Олифа	
	К, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %	К, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %	К, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %
Контроль	0,05633		0,05633		0,05633	
	ПЦР-1					
0	0,03831	32	0,04257	24	0,02185	61
40	0,03535	37	0,03538	37		
50	0,02881	49	0,03133	44	0,01098	81
60	0,02805	50	0,02885	49		
	ПЦ-1					
	ММО		Рапсовое масло			
0	0,03831	32	0,04257	24		
40	0,01127	80	0,01465	74		
50	0,01070	81	0,01182	79		
60	0,01070	81	0,01013	82		

Используемые в исследованиях масла И-20А и рапсовое фермерское сами по себе обеспечивают одинаковую защитную эффективность (Z = 24 %), но введение порошков Zn

разного размера по-разному сказывается и на этом показателе. Так введение 40 % порошка ПЦР-1 увеличивает защитную эффективность И-20А на 13 %, а ПЦ-1 рапсового масла – на 50 %. Максимальную исходную защитную эффективность в 0,5 М растворе NaCl из исследуемых связующих обеспечивает олифа ( $Z = 61\%$ ), введение 50 % ПЦР-1 увеличивает  $Z$  до 81 %.

При испытаниях в 0,5 М растворе NaCl с ростом концентрации Zn от 40 до 60 % в ММО наблюдается увеличение защитной эффективности композиций при использовании порошка ПЦР-1. При использовании порошка ПЦ-1 в этом диапазоне концентраций этот показатель выше, чем при использовании ПРЦ-1, и практически не изменяется (таблица 1). Эти тенденции сохраняются и при испытаниях в термовлагокамере Г-4 (таблица 2), только значения  $Z$  выше во всех случаях, а разница при использовании различных ЦНП не столь значительна, как при испытаниях в солевом растворе.

Таблица 2 – Влияние содержания цинка на защитную эффективность ЦНП в термовлагокамере Г-4

Zn, %	Толщина, мкм	K, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %	Толщина, мкм	K, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %	Толщина, мкм	K, г/м <sup>2</sup> ч	Z, %
Контроль	-	0,0809	-	-	0,0809	-	-	0,0809	
ПЦР-1									
	ММО			И-20А			Олифа		
0	17	0,0199	75	14	0,0204	75	39	0,01366	83
40	17	0,0210	74	14	0,0169	79			
50	20	0,0194	76	15	0,0153	81	40	0,0055	93
60	17	0,0168	79	16	0,0082	90			
ПЦ-1									
	ММО			Рапсовое масло					
0	17	0,02184	73	15	0,0210	74			
40	17	0,00097	88	16	0,0566	93			
50	18	0,00089	89	17	0,0040	95			
60	19	0,00089	89	18	0,0048	94			

Следует отметить, что ускоренные коррозионные испытания в термовлагокамере Г-4 более точно моделируют реальные условия атмосферной коррозии, когда, как правило, концентрации хлорид-ионов не столь велики, а температура и влажность изменяются периодически. Максимальная защитная эффективность получена для олифы с 50 % ПЦР-1,  $Z = 93\%$ . Для композиций с ПЦ-1 максимальная  $Z$  получена при концентрации 50-60 масс.% в рапсовом масле,  $Z = 94-95\%$

Для покрытий с ПЦ-1 были проведены натурно-стендовые испытания. Покрытия с ПЦ-1 в ММО и рапсовом масле обеспечивают высокую степень защиты в течение 12 месяцев:  $Z = 91\%$  (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние содержания цинка на защитную эффективность ЦНП с ПЦ-1 при натурно-стендовых испытаниях

Zn, %	Защитная эффективность, % покрытий на основе масла - связующего					
	ММО			Рапсовое масло		
	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
0	68	64	44	76	60	43
40	82	80	80	95	94	91
50	89	87	85	96	96	92
60	93	93	91	98	97	91

**Заключение.** Таким образом, установлено, что потенциал коррозии ( $E_{кор}$ ) стали Ст3 с ЦНП в 0,5 М растворе NaCl занимает промежуточное значение между  $E_{кор}$  стали и  $E_{кор}$  компактного цинка.

Концентрация Zn в масляной пленке в результате его окисления и перехода в 0,5 М раствора NaCl с течением времени понижается с 40-60 %, достигая практически минимального значения через 20 суток.

Установлено, что введение цинкового порошка в масла повышает их защитную эффективность тем значительнее, чем меньше размер частиц металла. Эти тенденции сохраняются и при испытаниях в термовлагокамере Г-4, но разница при использовании различных ЦНП не столь значительна, как при испытаниях в солевом растворе. Максимальная защитная эффективность с ПЦР-1 получена для олифы, с ПЦ-1 - для композиций в рапсовом масле.

Покрытия с ПЦ-1 в ММО и рапсовом масле обеспечивают высокую защитную эффективность при натурно-стендовых испытаниях в течение 12 месяцев.

#### Список источников

1. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V. Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-containing Corrosion Stimulators// Chemistry and Technology of Fuels and Oils. - 2020. - V. 56. - Issue 4.- Pp. 570-579.
2. Prokhorenkov V.D., Ostrikov V.V., Knyazeva L.G., Chernyshova I.Y. Producing Corrosion Inhibitors from Spent Lubricating Oils// Chemical and Petroleum Engineering. - 2002. V. 38. - Issue 9-10. – Pp.. 630-633.
3. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Shel N.V., Vigdorovich M. Kinetics of Electrode Processes on Metals Coated with Hydrocarbon Films in Solutions of Electrolytes //Portugaliae Electrochimica Acta. - 2021. V. 39. Issue 5.- Pp. 335-347.
4. Антонова Н.М. Формирование структуры и свойств защитных покрытий с металлическими порошками Al, Fe, Zn и связующим натрий-карбоксиметилцеллюлозой автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / юж.-рос. гос. техн. ун-т (Новочеркас. политехн. ин-т). Новочеркасск, 2006
5. Ануфриев Н.Г. Применение современных цинкнаполненных грунтовок для защиты металлоконструкций от коррозии / Н.Г. Ануфриев, Н.Е. Смирнова, С.В. Олейник // Коррозия: материалы, защита. - 2003. - № 2. - С. 29-31
6. Kalendova A. Anticorrosion efficiency of zinc-filled epoxy coatings containing conducting polymers and pigments /A. Kalendova, D. Veselyr, M. Kohla, J. Stejskalb // Prog. Org. Coat. - 2015. – V. 78. - № 1. – P.1–20
7. С. Н. Степин, С. И. Толстошеева, А. П. Светлаков Протекторные цинкнаполненные грунтовки. Влияние компонентов на противокоррозионную эффективность. Часть 1// Вестник технологического университета - 2016. Т.19 - № 9. – С. 122-128.
8. С. Н. Степин, С. И. Толстошеева, А. П. Светлаков Протекторные цинкнаполненные грунтовки. Влияние компонентов на противокоррозионную эффективность. Часть 2// Вестник технологического университета - 2016. Т.19 - № 15. – С. 89-98.
9. Бурункова, Ю.Э. Растительные масла: свойства, технологии получения и хранения, окислительная стабильность: Учебно-методическое пособие /Ю.Э. Бурункова, М.В. Успенская, Е.О. Самуйлова. – СПб: Университет ИТМО, 2020 – 82 с.
10. Дринберг А.С., Ицко Э.Ф., Калинин Т.В. Антиккоррозионные грунтовки. М.: ООО «Пейнт медиа», 2008. 168 с.
11. Павлович А.В., Владенков В.В., Изюмский В.Н. Цинкнаполненные антикоррозионные грунтовки//Лакокрасочная промышленность. 2010. №3. С.38–46.
12. Дринберг А.С. Антиккоррозионные грунтовки / А.С. Дринберг. - М.: ООО Пейнтмедиа, 2008. - 168 с. 39.
13. Undrum Н. Превосходная защита / Н. Undrum // Лакокрасочные материалы и их применение. - 2009. - № 8. - С. 23-26.
14. Останина Т. Н., Рудой В. М., Ярославцева О. В. и др.// Проблемы химии и химической технологии. Материалы докл. X межрегиональной научно-технич. конференции. 2003. Тамбов. С. 146-148.

15. Урбанович Н.И., Барановский К.Э., Розенберг Е.В., Бендик Т.И., Карпенкин А.А. Анализ коррозионных свойств цинксодержащих покрытий на базе дисперсного отхода горячего цинкования//Литье и металлургия. -2020.- № 4.- С.106-112.
16. Iijima M. High corrosion resistance mechanism of chrome-free zinc-rich paint / M. Iijima // National Association for Surface Finishing Annual International Technical Conference. 2008 S UR/FIN 2008, P. 322–332.
17. Shreepathi S. Electrochemical impedance spectroscopy investigations of epoxy zinc rich coatings: Role of Zn content on corrosion protection mechanism / S. Shreepathi, P. Bajaj, B.P. Mallik // *Electrochimica Acta*. -2010 -V. 55. - P. 5129-5134.
18. Meroufela A. EIS Characterisation of New Zinc-Rich Powder coatings / A. Meroufela, S. Touzain // *Progress in Organic Coatings*. - 2007. - V. 59. - № 3. - P. 197-205
19. Фришберг И.В., Субботина О.Ю., Павлюкова О.Н., Ярославцева О.В., Кишкопаров Н.В. Новые отечественные цинкнаполненные материалы//Промышленная окраска. 2003. №1. С. 8–15.
20. Шель Н.В., Головченко А.О., Вигдорович В.И., Цыганкова Л.Е. Цинкнаполненные консервационные материалы на масляной основе, модифицированные углеродными добавками// *Журнал прикладной химии*. - 2011. - Т.8.- № 5.- С.773-780.

#### References

1. Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E., Knyazeva L.G., Shel N.V. Protective Effectiveness of Oil Compositions in the Presence of Sulfur-containing Corrosion Stimulators // *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. - 2020. - V. 56. - Issue 4.- Pp. 570-579.
2. Prokhorenkov V.D., Ostrikov V.V., Knyazeva L.G., Chernyshova I.Y. Producing Corrosion Inhibitors from Spent Lubricating Oils // *Chemical and Petroleum Engineering*. - 2002. V. 38. - Issue 9-10. – Pp.. 630-633.
3. Vigdorovich V.I., Knyazeva L.G., Tsygankova L.E., Shel N.V., Vigdorovich M. Kinetics of Electrode Processes on Metals Coated with Hydrocarbon Films in Electrolyte Solutions // *Portugal Electrochimica Acta*. - 2021. V. 39. Issue 5 .- Pp. 335-347.
4. Antonova N.M. Formation of the structure and properties of protective coatings with metal powders Al, Fe, Zn and a binder sodium carboxymethyl cellulose, abstract of a dissertation for the degree of candidate of technical sciences / South-Russian state . tech. un-t (Novocherkassk. polytechnic. in-t). Novocherkassk, 2006
5. Anufriev N.G. Application of modern zinc-filled primers for protection of metal structures from corrosion / N.G. Anufriev, N.E. Smirnova, S.V. Oleynik // *Corrosion: materials, protection*. - 2003. - No. 2. - P. 29 -31
6. Kalendova A. Anticorrosion efficiency of zinc-filled epoxy coatings containing conducting polymers and pigments /A. Kalendova, D. Veselyr, M. Kohla, J. Stejskalb // *Prog. Org. Coat*. - 2015. – V. 78. - No. 1. – P.1–20
7. S. N. Stepin, S. I. Tolstosheeva, A. P. Svetlakov Protective zinc-filled primers. Effect of components on anticorrosive efficiency. Part 1// *Bulletin of the Technological University* - 2016. Vol.19 - No. 9. – P. 122-128.
8. S. N. Stepin, S. I. Tolstosheeva, A. P. Svetlakov Protective zinc-filled primers . Effect of components on anticorrosive efficiency. Part 2// *Bulletin of the Technological University* - 2016. Vol. 19 - No. 15. - P. 89-98.
9. Burunkova, Yu.E. Vegetable oils: properties, production and storage technologies , oxidative stability: Textbook / Yu.E. Burunkova, M.V. Uspenskaya, E.O. Samoylova. - St. Petersburg: ITMO University, 2020 - 82 p.
10. Drinberg A.S., Itsko E.F., Kalinskaya T.V. Anti-corrosion primers. Moscow: OOO "Paint\_media", 2008. 168 p.
11. Pavlovich A.V., Vladenkov V.V., Izyumsky V.N. Zinc-filled anticorrosive primers//*Paint and Varnish Industry*. 2010. No. 3. P. 38–46.
12. Drinberg A.S. Anticorrosive primers / A.S. Drinberg. - M.: OOO Peyntmedia, 2008. - 168 p. 39.

13. Undrum H. Excellent protection / H. Undrum // Paints and varnishes and their application. - 2009. - No. 8. - P. 23-26.
14. Ostanina T. N., Rudoy V. M., Yaroslavtseva O. V., et al.// Problems of Chemistry and Chemical Technology. Proceedings of the reports of the X interregional scientific and technical conference. 2003. Tambov. P. 146 -148.
15. Urbanovich N.I., Baranovsky K.E., Rosenberg E.V., Bendik T.I., Karpenkin A.A. Analysis of corrosion properties of zinc-containing coatings based on dispersed waste from hot-dip galvanizing//Casting and metallurgy. - 2020. - No. 4. - P. 106-112.
16. Iijima M. High corrosion resistance mechanism of chrome-free zinc-rich paint / M. Iijima // National Association for Surface Finishing Annual International Technical Conference. 2008 S UR/FIN 2008, pp. 322–332.
17. Shreepathi S. Electrochemical impedance spectroscopy investigations of epoxy zinc rich coatings: Role of Zn content on corrosion protection mechanism / S. Shreepathi, P. Bajaj, B.P. Mallik // Electrochimica Acta. -2010 -V. 55. - R. 5129-5134.
18. Meroufela A. EIS Characterization of New Zinc-Rich Powder coatings / A. Meroufela, S. Touzain // Progress in Organic Coatings. - 2007. - V. 59. - № 3. - R. 197-205
19. Frishberg I.V., Subbotina O.Yu., Pavlyukova O.N., Yaroslavtseva O.V., Kishkoparov N.V. New domestic zinc-filled materials//Industrial painting. 2003. No. 1. P. 8–15.
20. Shel N.V., Golovchenko A.O., Vigdorovich V.I., Tsygankova L.E. Zinc-filled conservation materials on oil-based, modified with carbon additives// Journal of Applied Chemistry. - 2011. - Vol. 8.- No. 5.- P. 773-780.

#### **Информация об авторах**

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

#### **Information about the authors**

L. Knyazeva – doctor of science (chemistry), associate professor; A. Dorokhov – candidate of chemical science; N. Kur'yato – junior researcher.

**Вклад авторов:** Л.Г. Князева – формулировка цели и выводов, анализ результатов исследования; А.В. Дорохов – проведение экспериментальных исследований; Н.А. Курьято – обработка результатов исследования, проведение экспериментальных исследований.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

**Contribution of the authors:** L. Knyazeva – formulation of the goal and conclusions, analysis of research results; A. Dorokhov – conducting experimental studies; N. Kur'yato – processing of research results, conducting experimental studies.

*The authors declare no conflict of interest.*

Поступила в редакцию (Received): 16.09.2024      Принята к публикации (Accepted): 25.10.2024