

УДК 620.197.3

Летучие ингибиторы как средства борьбы с атмосферной и микробиологической коррозией

***О.А. Гончарова¹, О.А. Жданова², С.А. Семенов², А.О. Евсин²,
Н.Н. Андреев¹, Ю.И. Кузнецов¹, А.Ю. Лучкин¹ и В.А. Мамонов¹**

¹Институт физической химии и электрохимии имени А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), Ленинский просп. 31, корп. 4, Москва, 119071, Россия,

²ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт Военно-воздушных сил» Министерства обороны Российской Федерации, Россия, 127083, г. Москва, Петровско-Разумовская аллея, д. 12А

*E-mail: goncharova_oa@inbox.ru

Поступила в редакцию 05.02.2024 г. После доработки 07.02.2024 г.; Принята к публикации 07.02.2024 г.

doi: 10.61852/2949-3412-2024-2-2-61-67

Аннотация

Приведены результаты ускоренных коррозионных испытаний эффективности смесевых летучих ингибиторов коррозии при защите металлов в условиях периодической конденсации влаги. Показано, что летучий ингибитор коррозии ИФХАН–8Б эффективно защищает все испытанные марки сталей и чугуна, в то время как ИФХАН–118 эффективен по отношению ко всем исследуемым конструкционным материалам. Исследования, проводимые с целью определения способности этих ингибиторов подавлять биокоррозию выявили, что ингибитор ИФХАН–118 обладает фунгицидным действием, а ИФХАН–8Б является фунгистатиком.

Ключевые слова: летучие ингибиторы коррозии, атмосферная коррозия, микробиологическая коррозия, фунгицидность, фунгистатичность

Введение

Защита металлов от атмосферной коррозии – важная научно-практическая задача. Эффективный метод ее решения – использование ингибиторов. Среди них особого внимания заслуживают летучие ингибиторы (ЛИК). Их применение оправдано почти всегда, когда есть возможность хотя бы частичной изоляции защищаемого пространства. Испаряясь, ЛИК насыщают его, в виде паров достигают металла и

формируют на нем наноразмерные антикоррозионные слои. При этом ЛИК способны проникать в щели, зазоры и другие участки изделий, недоступные для контактных ингибиторов.

ЛИК успешно используются на практике с середины прошлого века, однако за последние годы требования, предъявляемые к ним, существенно ужесточились. Современные ЛИК должны защищать металл в условиях, еще несколько десятилетий назад считавшихся противопоказанием для парофазной защиты (например, интенсивная конденсация влаги), обладать способностью подавлять биокоррозию.

В ИФХЭ РАН разработан спектр ЛИК, обеспечивающий решение широкого круга практических задач. К ним относятся ИФХАН–8Б и ИФХАН–118. ИФХАН–8Б позиционируется как ЛИК черных металлов, а ИФХАН–118 – как универсальный препарат, подавляющий коррозию как черных, так и цветных металлов [1–9]. Защитные свойства этих ЛИК хорошо изучены, однако не в условиях интенсивной конденсации влаги. Их влияние на плесневые грибы, способные стимулировать разрушение металлов в атмосферных условиях, также ранее не исследовали. Восполнение этих пробелов было целью данной работы.

Методика эксперимента

Коррозионные опыты проводили в условиях периодической конденсации влаги. Плоские образцы размером 30x50x1 мм из сталей Ст.3 и Ст.20ХН3А, чугуна СЧ-18-20, цинка Ц0, меди М1 и алюминиевого сплава Д16 зачищали шлифовальной бумагой различной зернистости, обезжиривали спиртом, высушивали и размещали в испытательных ячейках. Они представляли собой вакуумные эксикаторы со встроенными стеклянными теплообменниками [10]. На дно эксикаторов устанавливали бюксы с навесками ингибиторов (1 г). Металлические образцы размещали на трубках теплообменника. Ячейки закрывали и выдерживали образцы металлов 3 суток в парах ЛИК при комнатной температуре. После этого эксикаторы вскрывали, вводили в них по 10 мл дистиллированной воды и вновь герметизировали. Через шланги, выведенные из крышки ячейки, по трубкам теплообменника ежедневно в течение 3 часов пропускали воду с температурой 5–7°C. Это вызывало обильную конденсацию паров на металлических образцах. Продолжительность опытов составляла 45 дней. Контрольные опыты проводили по той же методике, но в отсутствие ЛИК. После окончания экспериментов ячейки вскрывали, образцы осматривали и оценивали их коррозионное состояние по десятибалльной шкале в соответствии с [11].

Оценку противогрибной эффективности ЛИК проводили по методике [12] в отношении *Aspergillus niger* ВКМ F-1119 – активного биодеструктора конструкционных материалов.

На первом этапе экспериментов оценивали способность гриба к росту в парах ЛИК. *Aspergillus niger* выращивали на агаризованной среде Чапека-Докса в

термостате в течение 12 суток. В стеклянные чашки Петри заливали стерильную среду Чапека-Докса с агаром и, после застывания, микробиологической иглой переносили в них грибок методом укола в центр чашек. Чашками Петри с зараженной средой накрывали стеклянные сосуды емкостью 1 л с навеской ЛИК (0,1 г) и без него (контрольные образцы). Место стыка сосудов и чашек Петри герметизировали. Подготовленные таким образом образцы инкубировали в термостате в течение 14 суток. Проводили осмотры образцов и фиксировали диаметр колонии гриба.

С целью определения характера противогрибной активности на втором этапе экспериментов определяли жизнеспособность гриба после контакта с парами ЛИК. Для этого сосуды разгерметизировали, снимали с них чашки Петри, закрывали их стерильными крышками и помещали в эксикатор, на дно которого наливали дистиллированную воду. Эксикатор устанавливали в термостат и выдерживали в нем в течение 28 суток. Отсутствие роста грибов в месте укола свидетельствует о фунгицидном действии ЛИК, наличие роста грибов – о фунгистатическом действии.

Все приведенные в работе данные являются результатом усреднения не менее 5 независимых опытов.

Результаты эксперимента

Результаты испытаний защитных свойств смесевых ЛИК (ИФХАН–118 и ИФХАН – 8Б) приведены в таблице 1.

Таблица 1. Эффективность ЛИК при защите от коррозии металлов в условиях периодической конденсации влаги.

ЛИК	Состояние (баллы) образцов из различных материалов					
	Ст.3	СЧ-18-20	Ст.20ХНЗ А	Медь М1	Сплав Д16	Цинк Ц0
Без ингибитора	1	1	1	2	6	1
ИФХАН-118	10	9	10	10	10	6
ИФХАН-8Б	10	10	10	–	–	–

В отсутствие ЛИК образцы черных металлов (Ст.3, Ст.20ХНЗА, СЧ-18-20) во время эксперимента интенсивно корродировали. Уже спустя 3 суток после начала эксперимента на чугуне появлялся бурый налет ржавчины и многочисленные питтинги. В процессе испытаний площадь прокорродировавшей поверхности металла и число очагов локальной коррозии увеличивались. По окончании испытаний образцы

были полностью покрыты продуктами коррозии. Их коррозионное состояние соответствовало низшему оценочному баллу (1).

Менее интенсивно коррозионные процессы протекали на Ст.20ХН3А и Ст.3. Однако в конце испытаний продукты коррозии так же покрывали 100% поверхности образцов. Их состояние, как и в случае чугуна, оценивалось низшим баллом (1).

На цинковых образцах в отсутствие ЛИК уже спустя неделю после начала эксперимента появлялся белый налет продуктов коррозии. В процессе испытаний площадь прородированной поверхности металла увеличивались и по окончании испытаний образцы были полностью покрыты продуктами коррозии. После их удаления на поверхности были видны многочисленные глубокие питтинги. Коррозионное состояние образцов соответствовало низшему оценочному баллу (1).

На медных образцах коррозионные поражения в отсутствие ЛИК были менее выражены, чем на цинковых (3 балла). Коррозионные поражения в виде темных пятен появлялись через 7-10 суток после начала эксперимента и к его окончанию занимали около 15–20% поверхности.

Сплав Д16 был наиболее устойчив к коррозии. Однако и он корродировал в отсутствие ЛИК. Так, на второй неделе эксперимента наблюдали потерю блеска металла. Со временем на образцах появлялись темные пятна, которые по окончании испытаний занимали около 10% поверхности (4 балла).

Высокие защитные свойства демонстрировал ИФХАН–118. Этот препарат обеспечивал полную защиту сталей обеих марок (10 баллов). На образцах из чугуна в конце опыта можно было видеть единичные коррозионные поражения (9 баллов). ИФХАН–118 полностью предотвращал коррозию меди и алюминиевого сплава, хотя в условиях интенсивной конденсации влаги был не слишком эффективен в отношении цинка (6 баллов).

Наибольшей эффективностью по отношению к разным маркам стали и чугуна СЧ 18-20 из изученных препаратов отличалась смесь ИФХАН–8Б. Этот препарат в условиях периодической опыта полностью предотвращал их коррозию (10 баллов). Учитывая назначение ИФХАН–8Б, защитные свойства ИФХАН–8Б в отношении цветных металлов не оценивали.

Таким образом, все исследованные препараты эффективно тормозили коррозию металлов в условиях интенсивной конденсации влаги.

Результаты исследований противогрибных свойств ЛИК приведены в таблице 2. В отсутствие в испытательных сосудах ЛИК наблюдали интенсивный рост гриба. На четвертые сутки выдержки в термостате колония гриба распространилась по всей поверхности среды в чашке Петри. Ее диаметр составлял 90 мм.

Оба ЛИК обладали противогрибной активностью. Рост *Aspergillus niger* в парах ингибиторов не наблюдался.

Таблица 2. Противогрибная активности ЛИК.

ЛИК	Диаметр колонии гриба (мм)	
	В парах ЛИК	После контакта с парами ЛИК
Без ингибитора	90	–
ИФХАН–118	0	0
ИФХАН–8Б	0	90

В случае ИФХАН–118 не наблюдался он и после контакта с парами ЛИК. Это свидетельствует о фунгицидности препарата, т.е. его способности вызывать гибель гриба.

ИФХАН–8Б проявлял фунгистатические свойства. После контакта с его парами *Aspergillus niger* не терял способности к росту. По окончании эксперимента диаметр колонии гриба составлял 90 мм.

Заключение

ИФХАН–118 эффективно подавляет коррозию черных и цветных металлов в жестких условиях периодической конденсации влаги и обладает выраженным фунгицидным действием. ИФХАН–8Б эффективен при защите черных металлов и является фунгистатиком.

Список использованных источников

1. О.А. Гончарова, А.Ю. Лучкин, Е.А. Костина, В.Н. Середа, Д.С. Микуров, Тхань Нгуен Вьет, Ты Фан Ба, Н.Н. Андреев, Ю.И. Кузнецов и В.А. Карпов, Новое поколение смесевых летучих ингибиторов коррозии ИФХАН и материалы на их основе, *Коррозия: материалы, защита*, 2021, **3**, –с. 28–36.
2. О.А. Гончарова, А.Ю. Лучкин и Н.Н. Андреев, Смесевые летучие ингибиторы коррозии черных металлов и универсальные препараты, *Коррозия: материалы, защита.*, 2021, **2**, с. 33–40.
3. О.А. Гончарова, С.И. Бакшаев и И.В. Гаврилов, Климатические испытания средств противокоррозионной защиты в условиях высокогорья, *Коррозия: материалы, защита.*, 2018, **9**, с. 10–16.
4. Н.Н. Андреев, О.А. Гончарова, Н.П. Андреева, Л.Б. Максаева, М.А. Петрунин и Ю.И. Кузнецов, Адсорбция паров летучего ингибитора ИФХАН–118 на железе и стали, *Коррозия: материалы, защита.*, 2016, **2**, с. 28–31.

-
5. О.А. Гончарова, Ю.И. Кузнецов, Н.Н. Андреев и Е.А. Надькина, Формирование наноразмерных слоев на металле летучими органическими соединениями для повышения защиты от атмосферной коррозии, *Коррозия: материалы, защита.*, 2014, **6**, с. 20–26. doi:
 6. О.А. Гончарова, Т.В. Александрова, В.Н. Ивонин и Ю.И. Кузнецов, Летучие ингибиторы атмосферной коррозии для защиты легких сплавов, *Технология легких сплавов.*, 2012, **4**, с. 110–114
 7. В.Н. Ивонин, Чинь Куок Кхань, Динь Ван Дам, О.А. Гончарова, Н.Н. Андреев, Ю.И. Кузнецов и В.А. Карпов, О защите цветных и черных металлов линасилем ИФХАН–118 в натуральных условиях, *Коррозия: материалы, защита*, 2011, **9**, с. 26–31
 8. О.А. Гончарова, Н.В. Лавринова, Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, Влияние летучего ингибитора ИФХАН–118 на электрохимическое и коррозионное поведение металлов, *Коррозия: материалы, защита.*, 2009, **4**, с. 23–26
 9. О.А. Гончарова, Н.Н. Андреев и В.А. Мамонов, Об эффективности некоторых ЛИК в условиях интенсивной конденсации влаги, *Коррозия: защита материалов и методы исследований.*, 2023, **3**, с. 77–87
 10. Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, Летучие ингибиторы атмосферной коррозии. Часть 3. Принципы и методы оценки эффективности, *Коррозия: материалы, защита.*, 2006, **8**, с. 28–35
 11. *ГОСТ 9.311-87*. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Метод оценки коррозионных поражений
 12. *ГОСТ 9.509-89*. Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Средства временной противокоррозионной защиты. Методы определения защитной способности.

Volatile inhibitors as a means of combating atmospheric and microbiological corrosion

***O.A. Goncharova¹, O.A. Zhdanova², S.A. Semenov², A.O. Evsin²,
N.N. Andreev¹, Yu.I. Kyznetsov¹, A.Yu. Luchkin¹ and V.A. Mamonov¹**

¹*A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry, Russian Academy of Sciences, Leninsky pr. 31, 119071 Moscow, Russian Federation*

²*Central Research Institute of the Air Force of Russian Ministry of Defense, 127083, Russia, Moscow, ul. Petrovsko-Razumovskaya alleya St., 12-A*

**E-mail: goncharova_oa@inbox.ru*

doi: 10.61852/2949-3412-2024-2-2-61-67

Abstract

Paper presents the results of accelerated corrosion tests which demonstrate the effectiveness of mixed volatile corrosion inhibitors in protecting metals under the periodic influence of moisture condensation. It is shown that the volatile corrosion inhibitor IFKhAN–8B effectively protects all tested grades of steel and cast iron, while IFKhAN–118 is effective against all studied structural materials. Studies conducted to determine the ability of these inhibitors to suppress biocorrosion have revealed that the inhibitor IFKhAN–118 has a fungicidal effect, and IFKhAN–8B is a fungistatic.

Keywords: *volatile corrosion inhibitors, atmospheric corrosion, microbiological corrosion, fungicide, fungistaticity*