

УДК 620.197.3

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕКОТОРЫХ ЛИК В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ВЛАГИ

О.А. Гончарова,* Н.Н. Андреев и В.А. Мамонов

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

E-mail: goncharova_oa@inbox.ru

Аннотация

Летучие ингибиторы коррозии (ЛИК) широко используются в защите черных и цветных металлов от атмосферной коррозии. Возможность, хотя бы частичной, герметизации пространства является одним из важнейших условий, которые создают предпосылку для эффективного использования ЛИК. Однако имеются и некоторые факторы, которые ограничивают применение ЛИК. Интенсивная конденсация влаги, является одним из таких факторов, поэтому способность некоторых ЛИК сохранять защитные свойства в столь жестких условиях заслуживает особого внимания. В настоящей статье рассматривается защита металлов с использованием ЛИК, в условиях периодической конденсации влаги на металлах и сплавах.

Ключевые слова: *летучие ингибиторы коррозии, адсорбция, атмосферная коррозия, азеотропные смеси, периодическая конденсация влаги.*

Поступила в редакцию 09.06.2023 г.; После доработки 09.06.2023 г.; Принята к публикации 09.06.2023 г.

Введение

Летучие ингибиторы коррозии (ЛИК) находят широкое применение в практике защиты черных и цветных металлов во влажных атмосферах, преимущественно при транспортировке и хранении изделий и полуфабрикатов [1–3]. Возможность, хотя бы частичной, герметизации пространства (упаковочного или рабочего в самом изделии) является одним из важнейших условий, которые создают предпосылку для эффективного использования ЛИК. Однако, долгое время считалось, что интенсивная конденсация влаги внутри такого пространства препятствует применению ЛИК из-за того, что вызывающие ее теплообменные процессы приводят к локальному снижению поверхностной концентрации ЛИК и инициированию коррозии.

Существует несколько путей предотвращения коррозии, возникающей в условиях интенсивной конденсации влаги на металлических поверхностях. Один из них подробно рассмотрен в работе [4] и заключается в использовании ЛИК,

образующих с водой азеотропные смеси. При всей эффективности такого подхода, продемонстрированного авторами на примере защиты черных металлов ЛИК типа аминов–ИФХАН–8, он еще относительно мало изучен.

Другой путь эффективной защиты металлов от коррозии в столь жестких условиях заключается в использовании ЛИК, способных формировать на металлах нанослой, которые прочно связаны с поверхностью металла. Они трудно десорбируются в воду, конденсирующуюся на металлических поверхностях. Такая возможность может реализоваться при хемосорбции органических соединений, которая в значительной степени носит необратимый характер. Это обстоятельство отличает действие ЛИК при борьбе с атмосферной коррозией от давно известного и успешного применения в теплоэнергетике пленкообразующих ингибиторов коррозии типа октадециламина $C_{18}H_{37}NH_2$ (ОДА) [6, 7].

Молекулы ОДА, адсорбированные на стали при повышенных температурах, не только прочно связаны с поверхностью, но и плотно упакованы в пленке, что придает ей гидрофобизирующее действие. К сожалению, наличие столь длинного алкила в составе ОДА, в условиях обычного хранения и транспортировки металлических изделий, не являются летучими. Неслучайно И.Л. Розенфельд с сотр. [8] не обнаружили защитного действия ОДА при испытаниях в условиях, имитирующих конденсацию атмосферной влаги на поверхности низкоуглеродистых сталей. Однако в последние несколько лет в ИФХЭ РАН разработан принципиально новый способ повышения устойчивости адсорбционных слоев ЛИК, который получил название камерная защита [8]. Основные идеи метода просты. Повышая температуру в замкнутом объеме (камере), можно добиться роста давления паров малолетучих в нормальных условиях ингибиторов до уровня, обеспечивающего быстрое формирование на металле защитных адсорбционных слоев из газовой фазы. При снижении температуры и разгерметизации системы за счет низкого давления паров ингибиторов адсорбционные слои будут медленно улетучиваться с поверхности, обеспечивая длительное защитное последствие. Так, при обработке стали в парах ОДА в течении часа при температуре $120^\circ C$ происходит торможение иницирования коррозии более чем в 100 раз [9].

Однако при нормальных условиях хемосорбция обычно протекает с небольшой скоростью [10], повышение же температуры для ее ускорения применительно к консервации металлических изделий возможно далеко не всегда. В связи с этим для разработки ЛИК, способного эффективно защищать металлы в условиях периодической конденсации влаги на их поверхности, требуется поиск ингибиторов коррозии с меньшей молекулярной массой и/или другой химической структурой, обеспечивающей достаточную их летучесть.

Важной особенностью хемосорбции является ее высокая селективность по отношению к различным адсорбентам, т.е. металлам. Определенные возможности для разработки ЛИК, эффективного для защиты многих металлов и сплавов в заданных

условиях, открывает использование смеси летучих компонентов. Некоторые из них нередко обладают высокими защитными свойствами по отношению к одним металлам, но могут даже ускорять коррозию других. Ярким примером таких соединений являются многие низшие, а, следовательно, достаточно летучие амины, защищающие стали различных марок, но стимулирующие ее при контакте с медью и ее сплавами.

В настоящей работе исследовалась возможность эффективной защиты черных и цветных металлов летучими органическими соединениями, в том числе широко известными ЛИК в жестких условиях ежесуточной конденсации влаги и высокой относительной влажности воздуха $H=98\pm 2\%$.

Методика проведения эксперимента

Коррозионные испытания проводили на прямоугольных пластинах из низкоуглеродистой стали (Ст3), меди (М1), цинка (Ц0) и алюминиевого сплава Д16. В некоторых случаях использовали также образцы из латуни (Л63) и серого чугуна (СЧ–18–20). Перед испытаниями образцы зачищали наждачными бумагами различной зернистости, обезжиривали этанолом и сутки выдерживали над хлористым кальцием в эксикаторе.

Антикоррозионные свойства ЛИК в условиях периодической конденсации влаги на металлах оценивали по методике, предложенной И.Л. Розенфельдом с сотр. [7].

Для создания условий периодической конденсации влаги использовали устройство, изображенное на рисунке 1.

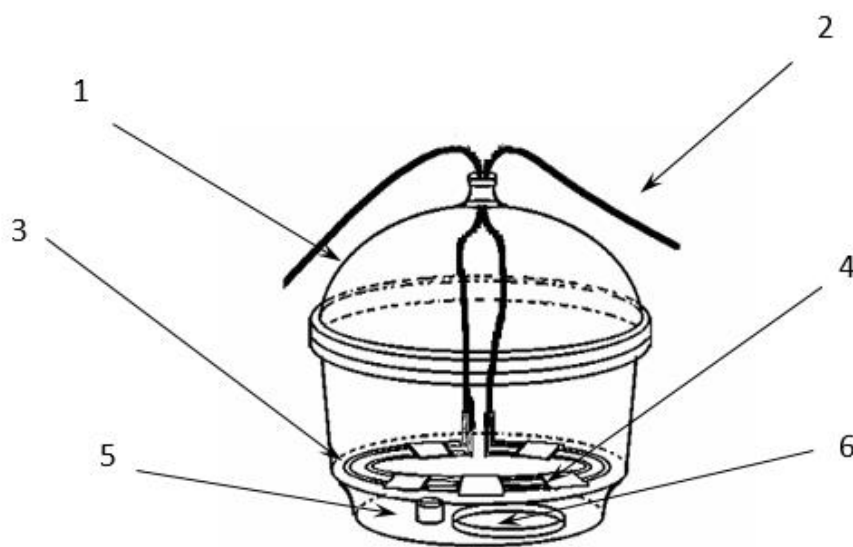


Рисунок 1. Ячейка для испытаний эффективности ЛИК в условиях периодической конденсации влаги: 1–вакуумный эксикатор; 2–каучуковый шланг; 3–стеклянный теплообменник; 4–металлические образцы; 5–навеска ЛИК; 6–чашка Петри с водой.

Ячейка представляла собой вакуумный эксикатор со встроенным теплообменником. На дно устанавливали стеклянный бюкс с навеской ЛИК и/или чашку Петри с 10 мл дистиллированной воды. Образцы выдерживали в парах ЛИК 3 суток. На 4-е сутки через шланги, выведенные из крышки ячейки, по трубкам теплообменника начинали ежедневно в течение 3 часов пропускать воду с температурой $t=5-7^{\circ}\text{C}$. При этом температура воздуха внутри эксикатора $22\pm 2^{\circ}\text{C}$. Это вызывало обильную конденсацию паров на самом теплообменнике и размещенных нем металлических образцах. Продолжительность опытов составляла 3 недели. Эффективность ЛИК определяли по наличию коррозионных поражений на образцах, которые оценивали визуально (см таблицу 1 и 2): (++)—полная защита образцов; (+)—на образцах имеются незначительные коррозионные поражения; ($\pm$)—слабая защита; (—)—отсутствие защиты.

Результаты и их обсуждение

Среди известных ЛИК имеется немало химических соединений различных классов. Они уже опробованы на практике или хорошо зарекомендовали себя в натурных испытаниях во влажных атмосферах при соответствующей упаковке металлических образцов [1].

Наряду с ними в настоящей работе испытывались некоторые соединения, известные своими ингибиторными свойствами в водных растворах и обладающих по нашим расчетам достаточным давлением насыщенных паров, чтобы они могли использоваться в качестве ЛИК, т.е. $p_s \geq 10^{-5}$ мм рт.ст. Для сравнения, таблицах 1–2 представлены результаты, полученные в аналогичных испытаниях не только в настоящей работе, но и в ранее опубликованных статьях [11–13].

Наиболее широко известными ЛИК, особенно для защиты черных металлов, являются органические основания, в первую очередь амины. Они могут значительно отличаться основностью и для сильных оснований помимо адсорбции органического ингибитора повышение им pH водного раствора безусловно играет позитивную роль в защите черных металлов. Давно известно [7], что сильные основания (гексаметиленмин с pK_a 11,0, пиперидин с pK_a 11,22 и циклогексиламин с pK_a 10,64), испытанные в качестве ЛИК полностью предотвратили появление коррозии на стали в условиях периодической конденсации влаги в течение 10 сут. Напротив, в тех же условиях более слабые основания – бензиламин (pK_a 9,34), моноэтаноламин (pK_a 9,50), морфолин (pK_a 8,33) и фурфуриламин (pK_a 8,89) столь высокий уровень защиты не обеспечивали.

Таблица 1. Защита металлов парами N-содержащих оснований в условиях 100%-ной влажности и периодической конденсации влаги на образцах

Летучий ингибитор	Сталь Ст 3	Медь	Цинк	Сплав Д16	Латунь	Чугун
ИФХАН–8*	++	-	-	-	Не испыт.	++
N,N–диметилбензиламин	+	±	-	+	Не испыт.	Не испыт.
(3-амино-пропил)- триэтоксисилан	±	±	±	+	±	-
Морфолин	+	-	-	-	Не испыт.	Не испыт.
Диморфолинфенилметан	+	±	+	±	-	±
Морфолино-метил- циклогексанон**	+	++	-	++	Не испыт.	Не испыт.
1-Морфолино-2-метил- пентанон-3**	++	++	-	++	Не испыт.	Не испыт.
N-бензилбензилиденимин	±	+	-	+	±	-
N-этанолбензилиденимин	+	+	-	+	+	-
N-циклогексилбензили- денимин	+	-	±	±	Не испыт.	Не испыт.
N-алкилбензилиденимин	+	-	±	±	Не испыт.	Не испыт.
N-кротонбензилиден-имин	+	-	-	±	Не испыт.	Не испыт.
1-Диэтиламино-2-метил- бутанон-3	+	±	-	-	±	±
1-Диэтиламино-2-метил- пентанон-3**	++	+	-	-	Не испыт.	Не испыт.
1-Гексаметиленимино-2- метил-пентанон-3**	++	+	-	++	Не испыт.	Не испыт.
Пиперидино-метил- циклогексанон**	+	++	-	++	Не испыт.	Не испыт.
Оксим 1-диэтиламино-2- метил-бутанона-3	+	±	-	-	Не испыт.	Не испыт.

Примечание. Результаты, отмеченные индексом * взяты из работы [4], **–из [11].

Таблица 2. Защита металлов парами органических кислот, их солей и смесевых ЛИК в условиях 100%-ной влажности и периодической конденсации влаги на образцах

Летучий ингибитор	Сталь Ст 3	Медь	Цинк	Сплав Д16	Латунь	Чугун
Бензойная кислота*	±	±	-	±	-	-
Диалкиловый эфир фосфорной кислоты (ДАФ)	-	+	±	+	Не испыт.	-
1,2,3-Бензотриазол	-	++	±	++	+	-
3-Аминотриазол	-	±	-	++	Не испыт.	-
Диалкилфосфат N,N-ди-метилбензиламина	±	++	+	++	Не испыт.	Не испыт.
ДАФ+ИФХАН-8 (1:3)	++	-	+	±	Не испыт.	+
ИФХАН–8+БТА (3:1)	++	-	±	+	Не испыт.	+
(1:1)	-	+	±	+		+
(1:3)		++	±	+		-
ИФХАН–8+3-амино-триазол (1:1)	++	-	±	±	Не испыт.	++
ИФХАН–8М	++	-	+	+	Не испыт.	++
Бензоат N,N-диметил-бензиламина	+	-	-	±	Не испыт.	Не испыт.
Бензоат N-этанолбензилиденимина	+	+	±	+	+	-
ИФХАН–67*	++	+	+	++	+	+
ИФХАН–67М	++	++	++	++	++	++
ИФХАН–118	++	++	±	+	++	++
ИФХАН–118+(3-амино-пропил) триэтоксисилан	++	++	+	++	Не испыт.	+

Примечание. Результаты, отмеченные индексом * взяты из работы [12].

Однако, высокая основность ЛИК может негативно сказываться на коррозионной устойчивости цветных металлов, особенно сплавов алюминия, и лакокрасочных покрытий. При отсутствии конденсации паров воды этот эффект может и не

проявляться, но в рассматриваемых в настоящей статье условиях это обстоятельство может вызвать даже стимулирование коррозии. В связи с этим в настоящей работе в качестве ЛИК исследовались преимущественно слабые основания, причем не только амины (морфолин, N, N-диметилбензиламин с $pK_a=9,02$), но и продукты их конденсации с альдегидами (азометины или основания Шиффа), которые обычно обладают на 1–2 порядка меньшим pK_a , чем исходные амины. Представляют интерес и исследованные ранее β -аминокетоны [11, 14], основность которых благодаря электроноакцепторным свойствам карбонильной группы также ниже, чем соответствующих аминов. Например, для самого известного ЛИК этого класса 1-диэтиламино-2-метил-бутанона (ИФХАН-1) $pK_a=7,93$.

Оказалось, что, несмотря на низкую основность, морфолин и N, N-диметилбензиламин существенно замедляют коррозию стали, хотя и не подавляют ее полностью (таблица 1). N, N-диметилбензиламин проявляет ингибирующие свойства также по отношению к меди и алюминиевому сплаву Д16. Как уже сообщалось ранее [4], ЛИК аминного типа, образующий азеотроп с водой (ИФХАН–8) надежно защищает сталь и чугун, но в рассмотренных условиях, к сожалению, даже не замедляет коррозию цветных металлов.

Нельзя признать удачной и попытку придать поверхности металла гидрофобные свойства за счет адсорбции (3-аминопропил) три-этоксисилана, который существенно замедляет коррозию лишь сплава Д16, в случае других металлов вызываемый им защитный эффект невелик.

Еще в работе [14] высокая эффективность β -аминокетонов при защите от коррозии черных и цветных металлов связывалась с их хемосорбцией за счет образования донорно-акцепторных связей с поверхностью не только амина, но и карбонильной группой. Среди исследованных нами ЛИК этого класса, ингибированные бумаги из которых отлично зарекомендовали себя при длительной защите различных металлов (8 лет) в промышленной атмосфере, имеется несколько соединений, которые полностью защищают от коррозии не только низкоуглеродистую сталь, но и медь или алюминиевый сплав Д16 (таблица 1). Показательно, что такими свойствами обладают производные очень слабого основания–морфолина, тогда как он сам практически не замедляет коррозию цветных металлов и сплавов. Несомненно к достоинствам лучших ЛИК класса β -аминокетонов является сохранение ими в столь жестких условиях высокого уровня защиты низкоуглеродистой стали, меди и сплава Д16. Недостатком же является полное отсутствие защиты ими цинка и способность отрицательно воздействовать на некоторые лакокрасочные покрытия [15]. Перевод же β -аминокетона в соответствующий оксид, по-видимому, не улучшает его защитных свойств в условиях обильной конденсации паров воды на металлах.

Азометины, уступают лучшим ЛИК класса β -аминокетонов в защите низкоуглеродистой стали, меди и сплава Д16. Среди них не обнаружено ни одного

ЛИК, который бы полностью предотвращал коррозию в рассматриваемых условиях какого-нибудь из перечисленных металлов. Однако некоторые из них способны лучше защищать цинк, а простота синтеза и доступность сырья при производстве азометинов дает возможность использовать их в качестве одного из компонентов смесового ЛИК.

Следует отметить, что наибольшие затруднения вызывает в рассматриваемых условиях защита с помощью ЛИК типа аминов цинка. Лучшие результаты получены в случае диморфолинфенилметана, но это соединение оказалось малоэффективным для меди, латуни, сплава Д16 и чугуна.

Летучие соли органических карбоновых кислот, давно известны в качестве ЛИК [1], хотя сами кислоты в этой функции обычно не эффективны, что показывает пример бензойной кислоты (таблица 2). Однако, диалкиловый эфир фосфорной кислоты (ДАФ) даже в столь жестких условиях демонстрирует хорошую защиту сплава Д16 и меди. К сожалению, это соединение не оказывает защитного действия на черные металлы. Интересно, что, по-видимому, единственная широко используемая на практике, в том числе и в качестве ЛИК, NH-кислота-1,2,3-бензотриазол (БТА) лучше ДАФ защищает медь и ее сплавы. Тот факт, что БТА хорошо защищает медь и латунь неудивителен, однако следует отметить полное подавление им коррозии алюминиевого сплава Д16. Менее эффективен как ЛИК, чем БТА при защите меди и цинка 3-аминотриазол, но и он предотвращает появление коррозии на алюминиевом сплаве.

Заслуживает внимания попытка усиления защитных свойств по отношению к цветным металлам и сплавам уникально эффективного по отношению к черным металлам ЛИК–ИФХАН–8. Так, небольшие добавки ДАФ к ИФХАН–8 не ухудшает защиты смесовым ЛИК низкоуглеродистой стали, несколько ослабляет защиту чугуна, но улучшает защиту цинка. К сожалению, им не защищается медь и очень слабо ингибируется в этих условиях коррозия сплава Д16.

Комбинация ИФХАН–8 с 3-аминотриазолом, по-видимому, не разрушает азеотропную смесь его с водой, сохраняя прекрасную защиту не только стали, но и чугуна. Однако при этом защиты меди не происходит вообще, а коррозия цинка и сплава Д16 замедляется слишком слабо, чтобы признать такой ЛИК хотя бы отчасти эффективным и по отношению к цветным металлам. Один из лучших ЛИК меди и ее сплавов–БТА способен улучшить ситуацию с защитой меди, но при этом ослабляется защита черных металлов и даже сплава Д16. Остается на низком уровне и ингибирование коррозии цинка. При высоком содержании в смеси БТА коррозия меди предотвращается, но защита черных металлов отсутствует. Однако комбинация ИФХАН–8 с другими добавками позволил нам создать другую модификацию этого ЛИК–ИФХАН–8М, который сохраняя полную защиту черных металлов, существенно улучшает ингибирование коррозии цинка и сплава Д16, хотя и не способен замедлить коррозию меди.

Перевод в соль бензойной кислоты N, N-диметилбензиламина не улучшает, а даже ухудшает защиту этим третичным амином меди и сплава Д16. Напротив, бензоат N-этанолбензилиденимина лучше защищает медь и цинк, чем сам азометин, что хорошо согласуется с результатами электрохимических исследований [13]. Диалкилфосфат N, N-ди-метилбензиламина существенно лучше защищает медь, цинк и алюминиевый сплав, чем сам амин, но он слабо замедляет коррозию стали в рассматриваемых условиях. В целом действие этого ЛИК подобна защите металлов самым кислым ДАФ, а положительным эффектом солевого ЛИК является предотвращение коррозии меди. Другой разработанный нами ЛИК на основе летучих аминов–ИФХАН–118 обеспечивает полное подавление коррозии черных металлов, меди и латуни, а также эффективно защищает сплав Д16.

Способность азометинов усиливать защиту от коррозии разных металлов в композициях с бензойной кислотой и другими летучими соединениями была использована при разработке смесевых ЛИК ИФХАН–67 и ИФХАН–67М. Так, ИФХАН–67 предотвращает появление коррозии на низкоуглеродистой стали и сплаве Д16 и эффективно замедляет ее не только на цветных металлах, но и чугуна. Дальнейшего усиления защиты этих металлов удастся достичь при совместном использовании ИФХАН–67 с некоторыми летучими добавками, пары которых, по-видимому, полимеризуясь на поверхности металла, защищаемого бензоатом азометина, придают пленке ЛИК определенную гидрофобность и повышенную устойчивость к воздействию конденсирующейся воды. В результате образования таких ультратонких слоев ИФХАН–67М способен предотвратить от коррозии все представленные выше металлы и сплавы даже при обильной конденсации влаги на образцах.

Выводы

1. При периодической обильной конденсации влаги ни один из исследованных ЛИК, представляющих индивидуальное химическое соединение не обеспечивает одновременно предотвращение появления коррозионных поражений черных и цветных металлов.
2. Среди ранее изученных ЛИК полная защита черных металлов от коррозии в исследованных жестких условиях обеспечивается не только сильными (пиперидин, гексаметиленмин и др.), но и слабыми органическими основаниями (1-морфолино-2-метил-пентанон-3).
3. Высокоэффективная одновременная защита меди, алюминиевого сплава Д16 и цинка не достигается ни одним из исследованных химических соединений, хотя некоторые из них (1,2,3-бензотриазол, диалкилфосфат, N-диметилбензиламина, 1-морфолино-2-метил-пентанон-3) полностью подавляют коррозию меди и сплава Д16.

4. Более эффективно использование смесей ЛИК, некоторые из них способны подавлять коррозию широкого набора черных и цветных металлов даже при периодической обильной конденсации влаги.

Список использованных источников

1. И.Л. Розенфельд и В.П. Персианцева, *Ингибиторы атмосферной коррозии*, М.: Наука, 1985, 277 с.
2. Yu.I. Kuznetsov, In Proceedings of the 6th AllPolish Corrosion Conference KORROSION'99, Chencstochowa, 1999, 425 p.
3. Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, Физико-химические аспекты действия летучих ингибиторов коррозии металлов, *Усп. хим.*, 2005, **74**, 755–767.
4. Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, Защита металлов летучими ингибиторами в условиях теплообмена, *Защита металлов*, 2002, **38**, 453–456
5. Дж.И. Брегман, *Ингибиторы коррозии*, 1966, 310 с.
6. А.П. Акользин, *Противокоррозионная защита стали пленкообразователями*, М.: Металлургия, 1989, 192 с.
7. I.L. Rozenfeld, V.P. Persiantseva, M.N. Polteva and P.B. Teren'ev, *I Symp. Europ. sur les Inhibiteur de Corrosion. Ferrara (Itelie)*, 1961, 329 p.
8. А.Ю. Лучкин, О.А. Гончарова, Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, Новый метод защиты металлов от атмосферной коррозии, *Практика противокоррозионной защиты*, 2017, **4**, 4–7.
9. О.А. Goncharova, A.Yu. Luchkin, Yu.I. Kuznetsov, N.N. Andreev, N.P. Andreeva and S.S. Vesely, Octadecylamine, 1,2,3-benzotriazole and a mixture thereof as chamber inhibitors of steel corrosion, *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2018, 7, 203–212. doi: [10.17675/2305-6894-2018-7-2-7](https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-2-7)
10. *Химическая энциклопедия*, М.: Большая Российская энциклопедия 1998, 5, 783 с.
11. Ю.И. Кузнецов, Н.Н. Андреев, Н.П. Андреева, Д.В. Толкачев и Т.В. Федотова, Об ингибирующем действии и адсорбции β-аминокетонов на металлах, *Защита металлов*, 1996, 32, 528–533.
12. Ю.И. Кузнецов, А.В. Агафонкин и О.О. Зель, Влияние катионов железа на защиту от коррозии стали в 2М Н2SO4 ингибитором ИФХАН-92, *Коррозия: материалы, защита*, 2009, 17–23.
13. О.А. Гончарова, Н.В. Лавринова, Н.Н. Андреев и Ю.И. Кузнецов, О защите металлов от коррозии при конденсации на них влаги летучими ингибиторами, *Коррозия: материалы, защита*, 2009, **4**, 23–26
14. В.П. Персианцева, Ю.И. Кузнецов и И.Л. Розенфельд, *Защита металлов*, 1983, **19**, 231–236.
15. А.А. Герасименко, С.А. Калиновский и А.И. Соловьев, *Защита металлов*, 1998, **34**, 538–542.

The effectiveness of some volatile corrosion inhibitors in conditions of intense condensation of moisture

O.A. Goncharova,* N.N. Andreev and V.A. Mamonov

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

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

ABSTRACT

Volatile corrosion inhibitors (VCI) are widely used to protect ferrous and non-ferrous metals from atmospheric corrosion. The possibility of at least partial sealing of the space is one of the most important conditions that create a prerequisite for the effective use of VCI. However, there are some factors that limit the use of VCI. Intensive condensation of moisture is one of these factors, so the ability of some surfaces to maintain protective properties in such harsh conditions deserves special attention. This article discusses the protection of metals using VCI in conditions of periodic condensation of moisture on metals and alloys.

Keywords: volatile corrosion inhibitors, adsorption, atmospheric corrosion, azeotropic mixtures, periodic condensation of moisture