

Переработка сырья и ресурсосбережение

УДК 620.197

Воробьева В.И., аспирант, Чигиринец Е.Э., докт. техн. наук, проф.

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев
просп. Победы, 37, 03056 Киев, Украина, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru*

Механизм действия парофазного ингибитора атмосферной коррозии стали

Исследованы противокоррозионная эффективность и механизм действия разработанного на основе изопропанольного экстракта шрота рапса летучего ингибитора атмосферной коррозии ЛВГ-2. Исследована ингибирующая эффективность каждого компонента композиции летучего ингибитора и их смесей. Установлено, что смесевая композиция ЛВГ-2 обеспечивает высокую степень ингибирующей эффективности в условиях периодической конденсации влаги. Показано, что разработанный ингибитор на основе экстракта шрота рапса, амина и азота является синергетической композицией. Исследовано влияние изопропанольного экстракта, а также двух- и трехкомпонентных смесей на кинетику парциальных электродных реакций. Установлено, что пленка, формируемая на поверхности металла после обработки из паровой фазы ингибитора ЛВГ-2, обладает гидрофобными свойствами. *Библ. 15, рис. 3, табл. 2.*

Ключевые слова: летучий ингибитор атмосферной коррозии, сталь, шрот рапса, амин, азол, ЛВГ-2.

Наиболее перспективные и экономически выгодные средства защиты металлов от атмосферной коррозии — летучие ингибиторы коррозии (ЛИАК), способные защищать изделия сложной формы из металлов. Испаряясь при температуре окружающей среды, такие ингибиторы в виде паров достигают поверхности металла и, адсорбируясь на ней или насыщая конденсированные на поверхности фазы, обеспечивают надежную защиту металлов. Способность ЛИАК при испарении распространяться по защищаемой системе обусловила их главное преимущество: не требуется нанесения таких ингибиторов на поверхность металлов, а также не нужны специальные меры по их удалению. Испаряясь, ЛИАК самопроизвольно проникают в

щели и зазоры, не доступные контактными ингибиторами, создавая тонкую защитную пленку, обеспечивая тем самым торможение коррозионных процессов [1–3].

Однако значительная часть разработанных в прошлом ингибиторов не отвечает современным экономическим, технологическим, а также экологическим требованиям. По этой причине резко ограничено применение, например, нитритсодержащих ингибиторов, ранее распространенных в практике временной защиты. Поэтому актуальным является создание новых ЛИАК, отличающихся не только эффективностью ингибирования, но и экологической безопасностью.

Авторами установлено, что альтернативой химическим веществам, применяемых при созда-

нии новых летучих ингибиторов атмосферной коррозии, могут служить органические соединения растительного происхождения [4, 5]. В настоящее время вопрос рационального использования сырьевых ресурсов становится крайне актуальным [6–8]. Проблема усугубляется тем, что нерациональное использование сырья и несовершенство технологий его переработки оказывают на окружающую среду мощное антропогенное давление. Прежде всего это загрязнение окружающей среды промышленными отходами, снижение продуктивности возобновляемых биологических ресурсов, в том числе растительного происхождения.

В связи с этим для разработки новых ЛИАК более целесообразно использовать в первую очередь отходы сельскохозяйственной промышленности, а именно: шрот экстракционных производств. Перспективным сырьем для этого является шрот рапса, образующийся при получении масла из семян рапса масличного *Brassica napus* L. (сем. Brassicaceae). Рапс широко культивируется в Украине, Западной Европе, Африке, Индии, Японии, Северной и Южной Америке, Новой Зеландии. В России рапс культивируется в степной зоне Европейской части и Сибири, на острове Сахалин, в Северной Осетии.

Авторами была исследована противокоррозионная эффективность шрота рапса по отношению к черным металлам. Установлено, что пленка, формируемая на поверхности металла, выдержанного в парах спиртового экстракта шрота рапса, обеспечивает достаточную, но не максимальную степень противокоррозионной защиты (примерно 90 % в условиях периодической конденсации влаги в течение 20 сут) [5]. Поскольку комбинированные ингибиторы коррозии металлов, как правило, обеспечивают больший эффект, чем индивидуальные вещества, то для повышения ингибирующей эффективности на его основе разработана композиция летучего ингибитора с дополнительным содержанием амина и азота (ЛВГ-2).

Цель работы — изучение ингибирующей эффективности и механизма действия нового летучего ингибитора коррозии.

Экспериментальная часть

Экстракцию шрота рапса производили изопропиловым спиртом методом настаивания мелко измельченного растительного сырья (при соотношении 1 : 10) в течение 1 сут с последующей фильтрацией. В работе исследовали противокоррозионные свойства летучих фракций изопропанольного экстракта шрота рапса, а также композиции на его основе (ЛВГ-2). Антикоррозионное действие летучих фракций оценивали в

условиях периодической конденсации влаги. Ускоренные коррозионные испытания ЛИАК проводили в герметичном сосуде, помещенном в термокамеру, который содержал на дне дистиллированную воду и емкость с летучим ингибитором. Режим периодической конденсации влаги на металлических образцах осуществляли за счет колебаний температуры по циклам (1 цикл испытаний составил 8 ч при 40 °С и 16 ч при 25 °С). Общая длительность испытаний 30 сут.

Коррозионные исследования проводили на образцах стали Ст3 размером 50 × 20 × 1 мм такого состава, % (мас.): С — 0,18; Mn — 0,50; Si — 0,21; P — 0,04; S — 0,05; Cr — 0,30; Ni — 0,30; Cu — 0,30; As — 0,08.

Перед испытаниями образцы зачищали наждачной бумагой разной зернистости, обезжировали, выдерживали в атмосфере паров ингибиторов в течение 3 сут. Изменение массы образцов в процессе коррозионных испытаний оценивали гравиметрическим методом. Продукты коррозии снимали после травления образцов в ингибированном растворе 1 %-й HCl.

Оценку эффективности противокоррозионной защиты производили визуально, а также по скорости коррозии [9].

Поляризационные исследования проводили на армированных в тефлон цилиндрических образцах ($S = 0,385 \text{ см}^2$) с использованием потенциостата ПИ-50-1 и программатора ПР-8. Скорость развертки потенциала 25 мВ/мин. Потенциал стального электрода измеряли относительно насыщенного ртутно-сульфатного электрода и пересчитывали на нормальную водородную шкалу; вспомогательным электродом служила платина.

Гидрофобность поверхности определяли по краевому углу смачивания поверхности металлической пластины по известной методике [10]. Рассчитывали работу адгезии воды к поверхности по уравнению Дюпре-Юнга:

$$W_a = \sigma_{ж-г} (1 + \cos \theta),$$

где W_a — работа адгезии, мДж/м²; $\sigma_{ж-г}$ — поверхностное натяжение воды на границе раздела жидкость — газ, мДж/м²; θ — краевой угол смачивания поверхности стали каплей воды, град.

Результаты и их обсуждение

Результаты ускоренных коррозионных испытаний в условиях периодической конденсации влаги в течение 30 сут после предварительной обработки Ст3 летучими ингибиторами в те-

Таблица 1. Результаты ускоренных испытаний стали Ст3

Ингибитор	K_m , г/(м ² ·ч)	Z, %	γ
Без ингибитора	0,2280	–	–
Экстракт шрота рапса	0,0489	78,56	4,7
ЛВГ-2	0,0024	99,50	95,0

Примечание. K_m – скорость коррозии; Z – степень защиты металла; γ – коэффициент торможения.

чение 3 сут, представленные в табл.1, показывают, что летучие фракции растительного сырья и разработанный на его основе летучий ингибитор атмосферной коррозии ЛВГ-2 обеспечивают достаточно высокую степень защиты стали в условиях периодической конденсации влаги. При использовании в качестве ЛИАК индивидуального экстракта шрота рапса степень защиты металла составляет 87,2 %. Ингибитор ЛВГ-2 значительно превосходит по эффективности чистый экстракт шрота рапса. При его использовании степень защиты Ст3 составляет 99,1 %.

Применение индивидуального растительного экстракта и разработанной композиции ЛВГ-2 не только увеличивает срок защитного действия в условиях периодической конденсации влаги, но и обеспечивает более стабильную защиту металла в начальной стадии коррозионного процесса и при длительных испытаниях. В присутствии только летучих компонентов экстракта шрота рапса первые небольшие коррозионные поражения на образцах появились после 10 сут испытаний, а образцы, предварительно обработанные летучим ингибитором ЛВГ-2, после окончания ускоренных испытаний в течение 30 сут оставались практически без коррозионных поражений. Причиной этого, по всей вероятности, являются различные механизмы действия самого экстракта и компонентов, вводимых в смесь, которые позволяют им взаимно дополнять друг друга и значительно повышать ингибирующую эффективность.

Ранее было установлено, что основными летучими соединениями изопропанольного экстракта шрота рапса являются гликозиды, сиреневый альдегид, кетон, а также насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты [11]. На основе квантово-химических расчетов можно предположить, что максимальный вклад в ингибирующую эффективность вносят сиреневый альдегид, кетон (3,5-диметоксиацетофенон), нуклеозиды (ксантозин и гуанозин) [11]. Очевидно, что при сочетании растительного экстракта с амином и азолом проявляется синергизм в ингибировании коррозии.

В данной работе исследована ингибирующая эффективность каждого компонента композиции летучего ингибитора, а также их смесей. Анализ полученных результатов показывает, что индивидуальные ингибирующие соединения имеют относительно невысокие защитные свойства. Коэффициенты торможения γ при этом составляют для азолов 1,13, для амина 5,60, а для шрота рапса 10,04 (рис.1). Двойная смесь амина с экстрактом рапса (1 : 1) обеспечивает более эффективную защиту от коррозии. При ее использовании коэффициент торможения составляет 23,42. Смесь азола и рапса повышает ингибирующую эффективность самого азола, но не приводит к увеличению противокоррозионных свойств чистого экстракта рапса, а наоборот, наблюдается антагонизм (коэффициент торможения 5,6).

Разработанная композиция ЛВГ-2 на основе трех компонентов обеспечивает еще более высокую степень защиты металла от коррозии. При этом коэффициент торможения составляет 95,0.

Результаты определения наличия эффекта синергизма при торможении скорости атмосферной коррозии стали смесями на основе растительного экстракта, амина и азола (периодическая конденсация влаги, 21 сут) представлены в табл.2. Анализ полученных данных свидетельствует, что большинство исследованных смесей является синергетическими.

Синергетический эффект смеси аминов с азолом, проявляющийся в нейтральных средах при противокоррозионной защите стали, известен давно [12]. Кроме того, установлено, что смесь экстракта шрота рапса с амином также проявляет синергетический эффект. Для состава

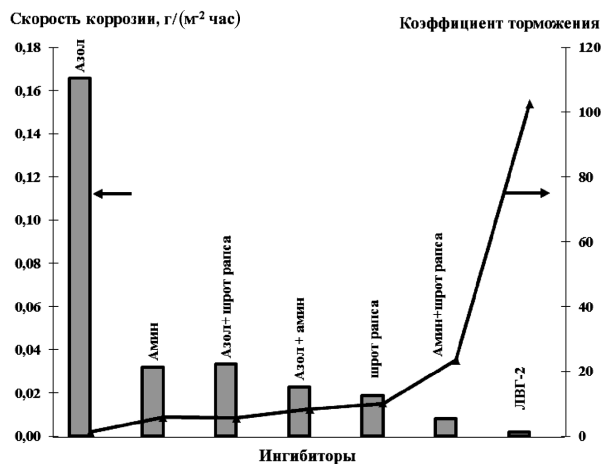


Рис.1. Результаты ускоренных коррозионных испытаний в присутствии летучих ингибиторов коррозии (периодическая конденсация влаги — 30 сут).

Таблица 2. Коэффициенты торможения скорости коррозии стали Ст3

Показатель	Двухкомпонентные составы (1 : 1)			Трехкомпонентный состав ЛВГ-2
	амин + азол	амин + рапс	азол + рапс	
γ	8,23	23,42	5,60	102,59
$\gamma_{ад}$	3,99	12,91	—	13,04
$\gamma_{эф}$	3,09	1,71	—	7,86
Синергизм	+	+	антагонизм	+

ва растительного экстракта и амина это вполне закономерно, поскольку известно, что защитное действие некоторых аминов и OH^- -ионов неаддитивно, что позволяет направленно создавать эффективные ингибиторы на основе бинарных смесей с аминами [13].

Таким образом, многокомпонентный состав экстракта шрота рапса, содержащий ряд органических соединений, являющихся донорами OH^- -ионов, способствует синергетическому усилению антикоррозионной защитной способности исследованных смесей.

Проявление синергетического эффекта в трехкомпонентной смеси ингибитора ЛВГ-2 может быть результатом взаимодействия других соединений растительного экстракта с амином и азолом. Например, известны синергетические смеси амин + кетон + азол [14]. Учитывая, что одним из основных соединений растительного экстракта является кетон (3,5-диметоксиацетофенон), проявление синергетического эффекта вполне закономерно. К тому же, соединения класса азолов склонны к синергизму с гидроксид-ионами.

Следовательно, можно предположить, что суммарное увеличение противокоррозионной эффективности общей смеси состоит из нескольких отдельных синергетических взаимодействий, что значительно повышает эффективность разработанного ингибитора ЛВГ-2. Эффект синергизма можно объяснить сопряженной адсорбцией системы ингибиторов, обладающих различными строением и свойствами и наиболее полно защищающих энергетически неоднородные участки поверхности металла.

Этот вывод подтверждается проведенными электрохимическими исследованиями. В работе изучено влияние разработанного ЛИАК на кинетику протекания анодных и катодных поляризационных кривых в рас-

творе Na_2SO_4 концентрацией 1 моль/л после формирования защитной пленки на поверхности металла в течение 3 сут из паровой фазы ингибитора.

В условиях свободной коррозии исследуемый состав ингибиторов ЛВГ-2 и экстракт шрота рапса влияют преимущественно на анодный процесс растворения стали, сдвигая ее стационарный потенциал ($E_{ст}$) в более положительную сторону.

При наложении поляризации поверхность стали, обработанная летучим ингибитором ЛВГ-2 в течение 3 сут, приводит к торможению катодного и анодного коррозионных процессов, также способствуя смещению потенциала коррозии в положительную сторону (рис.2).

Защитная пленка, формируемая на металле из паровой фазы экстракта шрота рапса и ингибитора ЛВГ-2 на его основе, способствует сдвигу потенциала пассивации в сторону более положительных значений, что приводит к увеличению пассивной области металла. На катодных поляризационных кривых после обработки растительным экстрактом и ЛИАК на его основе наблюдаются слабо выраженные участки предельного тока и значительное уменьшение диффузионного тока относительно металла, предварительно не обработанного ингибитором. Анализ результатов также свидетельствует, что после формирования защитного слоя на поверхности металла из паровой фазы экстракта шрота рапса наблюдается увеличение поляризации анодного и катодного процессов, однако в меньшей степени, чем для ингибитора ЛВГ-2, что указывает на более слабый уровень защиты чисто растительного экстракта.

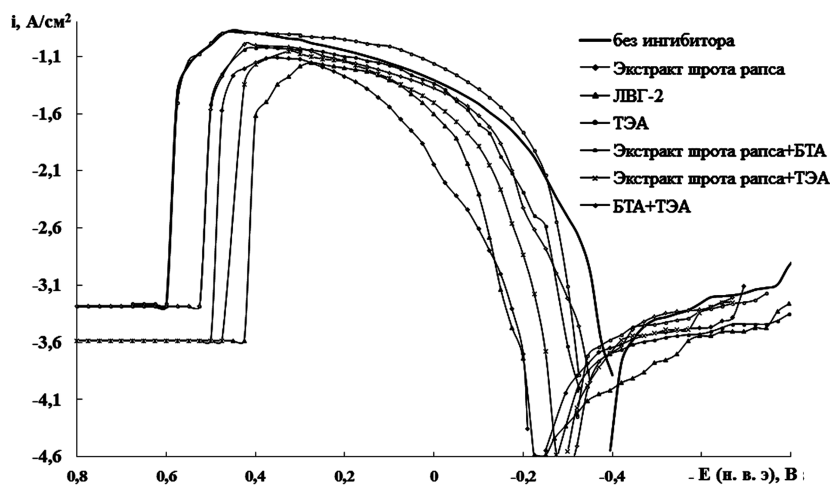


Рис.2. Потенциостатические поляризационные анодные и катодные кривые Ст3 в растворе Na_2SO_4 концентрацией 1 моль/л без и с пленкой, полученной экспонированием образцов в течение 3 сут в парах летучих ингибиторов.

Формируемые пленки на поверхности металла из паровой фазы экстракта шрота рапса и ЛВГ-2 на ход катодных и анодных поляризационных кривых влияют незначительно и, следовательно, существенно не изменяют механизмы катодных и анодных реакций коррозии стали.

Адсорбционные пленки, формируемые из паровой фазы индивидуально амина и азола, не приводят к значительному торможению коррозионных процессов. Амин как известный ингибитор анодного типа способствует некоторому торможению анодного растворения стали. Адсорбционная пленка из паров азола на поверхности стального электрода абсолютно не тормозит процесс анодного растворения металла и не значительно влияет на катодную поляризационную кривую, что в целом практически не приводит к снижению скорости коррозии.

Композиция изопропанольного экстракта с амином снижает значение плотности диффузионного тока на катодной поляризационной кривой, а также влияет на торможение анодного растворения стали. В случае использования смеси азола и экстракта шрота рапса не наблюдается значительного влияния на анодную и катодную реакции (см. рис.2).

Из результатов электрохимических исследований можно сделать вывод, что пленка, формируемая на поверхности металла из паровой фазы смеси композиции ЛВГ-2, приводит к уменьшению скорости анодного процесса и снижению катодной реакции за счет торможения диффузии кислорода к поверхности металла.

Эффективность защиты металлов летучими фракциями ингибирующих соединений зависит также от водоотталкивающих свойств пленки, образуемой на поверхности металла. Поэтому были проведены исследования по оценке гидрофобности формируемой пленки после предварительной обработки металла в парах летучих ингибиторов.

Полученные результаты (рис.3) свидетельствуют о том, что гидрофобизирующая способность пленки, образованной из паровой фазы, усиливается при переходе от чистого экстракта шрота рапса к композиции ЛИАК на его основе. Однако при этом условная граница перехода гидрофильности в гидрофобность поверхности (90°) не достигается. Так, краевой угол смачивания поверхности необработанного металла составлял 47° , а эти же значения при использовании экстракта шрота рапса и ЛВГ-2 составляют 62° и 69° соответственно. Значения работы адгезии капли воды к чистой металлической поверхности и металлу, обработанному растительным экстрактом и ЛВГ-2, составили 122,3, 106,9 и 98,8 мДж/м² соответственно.

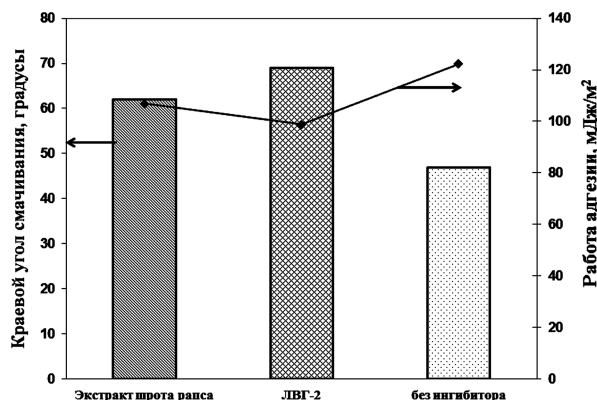


Рис.3. Гидрофобность и работа адгезии капли воды к поверхности Ст3, обработанной в парах летучих ингибиторов в течение 3 сут.

С ростом гидрофобности увеличивается и способность ингибиторов вытеснять с поверхности металла адсорбированную воду и придавать ему водоотталкивающие свойства [15]. Однако вклад гидрофобизирующего действия ЛИАК не следует преувеличивать, так как в подавляющем большинстве случаев фактор повышения гидрофобности поверхности при их применении не является решающим.

Выводы

Установлено, что разработанная композиция летучего ингибитора атмосферной коррозии ЛВГ-2 на основе экстракта шрота рапса, амина и азола обеспечивает высокую противокоррозионную эффективность в условиях периодической конденсации влаги в течение 30 сут — степень защиты стали 99,5%.

Суммарное увеличение противокоррозионной эффективности ингибитора ЛВГ-2 является результатом нескольких синергетических эффектов.

Электрохимическими исследованиями установлено, что после обработки металла ингибитором ЛВГ-2 увеличивается поляризуемость электрода, что приводит к торможению и катодного, и анодного процессов.

Установлено, что пленки, образуемые на поверхности металла из паровой фазы ингибитора ЛВГ-2, обладают гидрофобизирующей способностью.

Список литературы

1. Голяницкий О.И. Летучие ингибиторы атмосферной коррозии металлов. — Челябинск : Челяб. кн. изд-во, 1958. — 76 с.
2. Кузнецов Ю.И., Михайлов А.А. Экономический ущерб и средства борьбы с атмосферной коррози-

- ей // Коррозия : Материалы, защита. — 2003. — № 11. — С. 3–10.
3. Андреев Н.Н., Кузнецов, Ю.И., Федотова Т.В. О защите стали от коррозии растворами летучих ингибиторов // Защита металлов. — 2001. — Т. 37, № 1. — С. 5–13.
 4. Чигиринец Е.Э., Воробьева В.И., Мирянова О.А. Выбор растительного сырья для создания высокоэффективных ингибирующих композиций // Материалы III Всеукр. съезда экологов с междунар. участием «Экология-2011». — Винница, 2011. — Т. 1. — С. 305–307.
 5. Чигиринець О.Е., Воробйова В.І. Дослідження протикорозійної ефективності рослинних екстрактів // Наукові вісті «Київський політехнічний інститут». — 2010. — № 6. — С. 152–155.
 6. El-Etre A.Y. Inhibition of aluminum corrosion using Opuntia extract // Corrosion Science. — 2003. — Vol. 45, № 11. — P. 2485–2495.
 7. El-Etre A.Y. Khillah extract as inhibitor for acid corrosion of SX 316 steel // Applied Surface Science. — 2006. — Vol. 252, № 24. — P. 8521–8525.
 8. Ekpe J.E. Ebenso U.J. Inhibitory action of Azadirachta indica leaves extract on the corrosion of mild steel in H₂SO₄ // West African Journal of Biological and Applied Chemistry. — 1994. — Vol. 37. — P. 13–30.
 9. Антропов Л.І. Теоретична електрохімія. — Київ : Либідь, 1993. — 544 с.
 10. Сумм Б.Д., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. — М. : Химия, 1976. — 230 с.
 11. Воробьева В.И., Чигиринец Е.Э. Разработка летучих ингибиторов атмосферной коррозии на основе экстрактивной части шрота рапса // Материалы I Всеукр. науч. конф. студентов, магистров, аспирантов и молодых ученых «Экология, неэкология, охрана окружающей среды и сбалансированное природопользование» (Харьков, 29 нояб.–1 дек. 2012 г.). — Харьков, 2012. — С. 140–141.
 12. Балезин С.А., Зак Э.Г., Гликина Ф.Б. Исследование взаимного влияния бензотриазола и аминов на защиту от коррозии стали и меди // Защита металлов. — 1968. — Т. 4, № 1. — С. 111–116.
 13. Андреев Н.Н. Гончарова О.А. О влиянии ОН–ионов на защитные свойства аминов // Защита металлов. — 2004. — Т. 40, № 3. — С. 280–287.
 14. Пат. 2388847 РФ, МПК⁸ С 1 С 23 F 11/02. Летучий ингибитор коррозии / Ю.И.Кузнецов, Н.Н.Андреев, О.А.Гончарова. — Опубл. 10.05.10, Бюл. № 1.
 15. Защита от коррозии, старения и биоповреждений машин, оборудования и сооружений : Справ. / Под ред. А.А.Герасименко. — М. : Машиностроение, 1987. — Т. 1. — 688 с.

Поступила в редакцию 20.05.13

Воробйова В.І., аспірант, Чигиринець О.Е., докт. техн. наук, проф.

Національний технічний університет України «КПІ», Київ
 просп. Перемоги 37, 03056 Київ, Україна, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru

Механізм дії парофазного інгібітора атмосферної корозії сталі

Досліджено протикорозійну ефективність та механізм дії розробленого на основі ізопропанольного екстракту шроту ріпаку легкого інгібітора атмосферної корозії ЛВГ-2. Досліджено інгібуючу ефективність кожного компонента композиції легкого інгібітора, а також їх сумішей. Встановлено, що сумішна композиція ЛВГ-2 забезпечує високий ступінь інгібуючої ефективності в умовах періодичної конденсації вологи. Показано, що розроблений інгібітор на основі екстракту шроту ріпаку, аміну та азолу є синергетичною композицією. Досліджено вплив ізопропанольного екстракту, а також дво- та трикомпонентних сумішей на кінетику парціальних електродних реакцій. Встановлено, що плівка, сформована на поверхні металу після обробки зразка з парової фази інгібітора ЛВГ-2, має гідрофобні властивості. *Бібл. 15, рис. 3, табл. 2.*

Ключові слова: легкий інгібітор атмосферної корозії, сталь, шрот ріпаку, амін, азол, ЛВГ-2.

Vorobyova V.I., PhD Student,
Chygyrynets' O.E., Doctor of Technical Sciences, Professor
The National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev
 37, Peremogy Prosp., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru

Investigation on Inhibition Mechanism of Volatile Corrosion Inhibitor of Carbon Steel

The goal of the study was investigation of the inhibition efficiency and mechanism of action volatile corrosion inhibitor based on extract of rapeseed extract. Vapor phase self-assembled films of VPIs have become an attractive means to prevent metal from corrosion. It was investigated the inhibition efficiency each component of the volatile inhibitor composition and their mixtures. Rape cake extract and composition of volatile corrosion inhibitor LVG-2 was developed as novel volatile corrosion inhibitors (VCIs). The corrosion inhibition property was studied by volatile inhibiting sieve test and electrochemical measurements. The results show that volatile corrosion inhibitor LVG-2 is a good inhibitor in relative humidity by a continuous condensation. The synergistic inhibition effect of rape cake extract, amine and azole on the corrosion of steel was studied by potentiostatic polarization methods. It was found that the films formed in the vapor phase inhibitor LVG-2 on the metal surface are hydrophobic. *Bibl. 15, Fig. 3, Table 2.*

Key words: volatile inhibitor corrosion; steel; rape cake extract, amine, azole, LVG-2.

References

1. Goljanickij O.I. (1958). Volatile inhibitors of atmospheric corrosion metals. — Cheljabinsk : Cheljabinskoe knizhnoe izdatelctvo, 76 pp. (Rus.)
2. Kuznecov Ju.I., Mihajlov A.A. (2003). Economic damage and means to combat atmospheric corrosion, *Korrozija : materialy, zashhita*, (11), pp. 3–10. (Rus.)
3. Andreev N.N., Kuznecov, Ju.I., Fedotova T.V. (2001). On protection of steel from corrosion solutions volatile inhibitors, *Zashhita metallov*, 37 (1), pp. 5–13. (Rus.)
4. Chigirinec Je.E., Vorobieva V.I., Mirjanova O.A. (2011). Choice of plant materials for creation of high-inhibiting compositions. *Materialy III vseukrainskogo siezda jekologov s mezhdunarodnym uchastiem «Jekologija-2011»*, Vinnica, pp. 305–307. (Rus.)
5. Chigirinec' O.E., Vorobjova V.I. (2010). Research anticorrosive efficiency of plant extracts. *Naukovi visti «Kiev'skij politehničnij institut»*, (6), pp. 152–155.
6. El-Etre A.Y. (2003). Inhibition of aluminium corrosion using Opuntia extract. *Corrosion Science*, 45 (11), pp. 2485–2495.
7. El-Etre A.Y. (2006). Khillah extract as inhibitor for acid corrosion of SX 316 steel. *Applied Surface Science*, 252 (24), pp. 8521–8525.
8. Ekpe J.E. Ebenso U.J. (1994). Inhibitory action of Azadirachta indica leaves extract on the corrosion of mild steel in H₂SO₄. *West African Journal of Biological and Applied Chemistry*, 37, pp. 13–30.
9. Antropov L.I. (1993). Theoretical electrochemistry. Kiev : Libid', 544 pp.
10. Summ B.D., Gorjunov Ju.V. (1976). Physic-chemical basis of wetting and spreading. Moscow : Himeji, 230 pp.
11. Vorob'eva V.I., Chigirinec E.Je. (2012). Development of volatile atmospheric corrosion inhibitor based on extractive of rapeseed meal. — *Materialy I vseukrainskoj nauchnoj konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh «Jekologija, neojekologija, ohrana okruzhajushhej sredy i sbalansirovannoe prirodopol'zovanie»*, Kharkov, 29 Nov. — 1 Dec. 2012, Kharkov, pp. 140–141. (Rus.)
12. Balezin S.A., Zak Je.G., Glikina F.B. (1968). Investigation of cross benzotriazole and amines for corrosion protection of steel and copper. *Zashhita metallov*, 4 (1), pp. 111–116. (Rus.)
13. Andreev N.N., Goncharova O.A. (2004). The effect of OH⁻ ions on the protective properties of amines. *Zashhita metallov*, 40 (3), pp. 280–287. (Rus.)
14. Pat. 2388847 Rossiya, MPK⁸ S 1 C 23 F11/02. Volatile corrosion inhibitor / Ju.I.Kuznecov, N.N. Andreev, O.A.Goncharova; 2009115404/02; Zajavl. 23.04.2009; Opubl. 10.05.2010, Bul. No. 1. (Rus.)
15. Gerasimenko A.A. (1987). Protection against corrosion, aging, biological damage of machinery, equipment and buildings. — Moscow : Mashinostroenie, 1, 688 pp. (Rus.)

Received May 20, 2013