

**Воробьева В.И.¹, аспирант, Чигиринец Е.Э.¹, докт. техн. наук, проф.,
Воробьева М.И.², аспирант, Фатеев Ю.Ф.¹, канд. хим. наук**

¹ Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Киев

пр. Победы, 37, корп. 4, 03056 Киев, Украина, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru, corrosionlife@yandex.ru

² Украинский государственный химико-технологический университет, Днепропетровск

пр. Гагарина, 8, 49000 Днепропетровск, Украина

Защитная эффективность летучих ингибиторов коррозии на основе отходов растительного сырья

Исследована противокоррозионная эффективность, качественный и количественный составы летучих органических соединений изопропанольного экстракта шрота рапса — отходов, образующихся при получении масла из семян рапса (семейства *Brassicaceae*). Показано, что летучие фракции изопропанольного экстракта шрота рапса обеспечивают формирование защитной пленки, тормозящей коррозионные процессы в условиях ускоренных испытаний с периодической конденсацией влаги. Установлено, что основными компонентами экстракта шрота рапса являются гликозиды: сахараза, гуанозин, ксантозин; сиреневый альдегид, кетон-3,5-диметоксиацетофенон, стероиды (β - и γ -ситостерол, кампостерол и др.), а также насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, представленные пальмитиновой, олеиновой, линолевой и уксусной кислотами. Кинетика испарения летучих соединений изопропанольного экстракта шрота рапса изучена с помощью газовой хромато-масс-спектрометрии (ГХ-МС) и ИК-спектрокопии. *Библ. 6, рис. 2, табл. 3.*

Ключові слова: атмосферная коррозия стали, летучий ингибитор, экстракт шрот рапса.

Введение

Летучие ингибиторы атмосферной коррозии (ЛИАК) находят широкое применение в практике защиты черных и цветных металлов, преимущественно при транспортировке и хранении металлоизделий и полуфабрикатов [1]. Несмотря на большой ассортимент наработанных в прошлом ЛИАК проблема их разработки остается актуальной в связи с возрастающими требованиями к защитной способности реагентов, с повышением экологических и экономических требований. К тому же немаловажную роль при разработке новых ингибиторов играет доступность сырья для их производства. В связи с этим рациональное использование промышленных отходов является одним из перспективных направлений при создании новых средств для противокоррозионной защиты, в том числе ЛИАК.

Растительное сырье содержит широкий комплекс органических соединений, в том числе обладающих потенциальной способностью к ингибированию коррозионных реакций. Известно использование экстракта тимьяна (*Thymus*),

масла из коры деревьев *Cassia siamea*, *Cassia auriculata*, *Strychnos-nux-vomica* как летучих ингибиторов коррозии стали и меди [2, 3].

На основе исследований широкого перечня растительных материалов установлено, что летучие экстрактивные соединения большинства из них обладают определенным уровнем противокоррозионных свойств [4–6]. Поэтому растительное сырье может быть успешно применено при разработке новых летучих ингибиторов коррозии как альтернатива летучим ингибиторам коррозии на основе синтезированных органических соединений.

Вполне очевидно, что при выборе сырья предпочтение должно отдаваться растительным материалам, имеющим широкую промышленную базу. Более перспективным является использование шрота рапса, так как Украина занимает лидирующее место в мире по выращиванию рапса, а при получении масла из его семян образуется большое количество отходов.

Цель работы — исследование противокоррозионной эффективности, качественного и количественного состава летучих органических со-

единений изопропанольного экстракта шрота рапса. Полученные данные позволят в дальнейшем проводить целенаправленный поиск отходов растительного сырья для получения экологически безопасных летучих ингибиторов коррозии.

Экспериментальная часть

Экстракцию шрота рапса, образующегося при холодном отжиме семян рапса, производили изопропиловым спиртом, настаивая измельченное растительное сырье до частиц размером 1–2,5 мм (при соотношении 1 : 10) в течение 1 сут в закрытой емкости с последующей фильтрацией. Антикоррозионное действие летучих фракций оценивали в условиях периодической конденсации влаги. Ускоренные коррозионные испытания ЛИАК производили в герметичном сосуде, помещенном в термокамеру и содержащем на дне дистиллированную воду, и емкость с летучим ингибитором. Режим периодической конденсации влаги на металлических образцах поддерживали за счет колебаний температуры по циклам (1 цикл испытаний составлял 8 ч при 40 °С и 16 ч при 25 °С). Общая длительность испытаний — 30 сут.

Компонентный состав летучих веществ экстракта шрота рапса исследовали методом хромато-масс-спектрометрии на газовом хроматографе «FINNIGAN FOCUS» в качестве детектора с газовым хроматографом. Условия хроматографирования были следующими: капиллярная колонка HP-5MS, $l = 30$ м, $d = 0,25$ м; температура инжектора +250 °С; температура детектора +280 °С; толщина фазы — 0,25 мкм; газ-носитель — гелий; скорость потока газоносителя — 1,5 мл/мин; программа — 100 °С > 10 °С/мин > 280 °С; диапазон масс — 30–500 дальтон; Split; Split Flow — 15 мл/мин; объем пробы — 2 мкл. Относительное количественное содержание химических компонентов экстракта рассчитано методом внутренней нормализации площадей пиков без корректирующих коэффициентов чувствительности. Идентификацию органических соединений экстракта шрота рапса производили методом ИК-спектроскопии. Для исследований взяты свежеприготовленные изопропанольные экстракты, а также экстракты после выдержки в течение 2 и 4 сут на открытом воздухе при 25 °С. Для естественного испарения объем экстракта составлял 10 мл, площадь зеркала поверхности испарения 1 см.

Результаты и обсуждение

Результаты ускоренных коррозионных испытаний показывают, что летучие фракции растительного сырья обеспечивают достаточно вы-

сокую защиту стали в условиях периодической конденсации влаги. При использовании в качестве ЛИАК экстракта шрота рапса степень защиты металла составляет 90,2 %. Однако остается не выясненным компонентный состав летучих ингибирующе активных органических соединений его экстрактивной части. Актуальным является исследование летучих соединений изопропанольного экстракта шрота рапса, а также определение основных ингибирующе активных компонентов, вносящих основной вклад в противокоррозионную эффективность растительного экстракта.

Согласно полученным данным хромато-масс-спектрального анализа, в составе летучих соединений изопропанольного экстракта шрота рапса содержится 20 индивидуальных компонентов в количестве более 0,2 % (рис.1, табл.1), среди которых доминируют гликозиды (27 % всех идентифицированных летучих соединений): сахароза, гуанозин, ксантонозин; сиреневый альдегид (13,5 %), кетон — 3,5-диметоксиацетофенон (17,3 %), стероиды (β - и γ -ситостерол, кампестерол и др.), а также насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты (27 %), представленные пальмитиновой, олеиновой, линолевой и уксусной кислотами. Кроме этого, содержится алкалоидов 3 % (пирролидин, 1-(1-оксо-7,10-гексадекадиенил) и 2-пирролидин, 1-(9-октадеценил)) и около 4 % некоторых терпенов (7-дигидро-диосгенин и эргоста-5,22-диен-3-ол).

Большинство из перечисленных соединений известно как ингибиторы коррозии в разных средах или являются основными компонентами их составов. Так, органические соединения, содержащие атомы азота, а также альдегиды и кетоны (см. табл.1), являются весьма реакционно

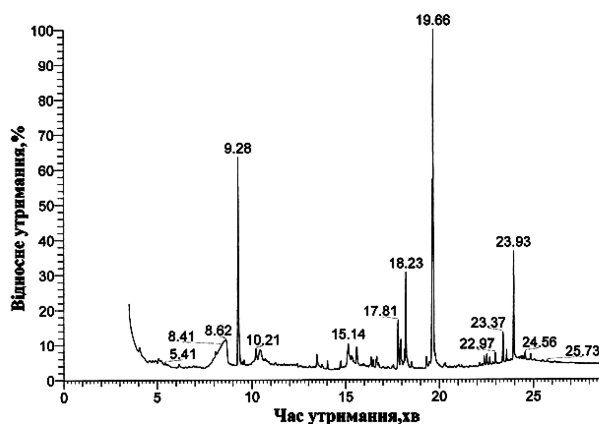


Рис.1. Хроматограмма изопропанольного экстракта шрота рапса *Brassicaceae*.

Таблица 1. Компонентный состав изопропанольного экстракта шрота рапса

Компонент	Время удерживания t, мин	Соотношение, %
Гуанозин	8,41	13,4
Сахароза	8,57	4,2
Ксантозин	8,62	9,3
3,5-Диметоксиацетофенон	9,28	17,3
Сиреневый альдегид	10,21	13,5
Уксусная кислота	10,56	3,6
n-Циклогексил-4-гидроксибутирамид	15,14	1,6
Пирролидин, 1-(1-оксо-7,10-гексадекадиенил)	16,63	0,8
2-Пирролидин, 1-(9-октадеценил)	16,67	0,9
Гексадэкановая кислота	17,81	4,8
Октадэкадиеновая кислота	18,23	3,1
Цис-9-октадэкановая кислота	19,66	9,2
Стеариновая кислота	19,75	3,0
Этанамин, 2,2'-оксисис [N,N-диметил]	22,97	0,8
7-Дигидродиосгенин	23,01	4,0
Кампэстэрол	23,37	1,5
γ-Ситостэрол	23,93	1,9
β-Ситостэрол	24,56	1,2
Эргоста-5,22-диен-3-ол	24,58	2,9

способными веществами, активно взаимодействующими с поверхностью переходных металлов [6]. Ингибирующей способностью обладают установленные насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты [7]. Идентифицированные фитостерины (β-ситостерол, γ-ситостерол, кампостерол) и гликозиды (сахароза, гуанозин) также проявляют ингибирующие по отношению к металлической поверхности свойства [6, 7]. Следовательно, можно предположить, что именно эти компоненты обеспечивают противокоррозионную эффективность изопропанольного экстракта в качестве летучего ингибирующего состава. К тому же на основе квантово-химических расчетов проведена прогнозная оценка адсорбционной, а следовательно, и ингибирующей эффективности установленных в составе экстракта шрота рапса органических молекул. Установлено, что максимальный вклад в ингибирующую эффективность экстракта шрота рапса вносят сиреневый альдегид, кетон-3,5-диметоксиацетофенон, гликозиды (гуанозин, ксантозин).

Поскольку установлено, что паровая фаза экстракта шрота рапса имеет многокомпонентный состав, то очевидно, что испарение из него летучих соединений будет происходить в определенной последовательности. Это будет отражаться на защитных свойствах адсорбционной пленки на поверхности металла в зависимости

от времени его выдержки в парах экстракта. Результаты коррозионных испытаний на датчиках после экспозиции в атмосфере изопропанольного экстракта шрота при разных летучих ингибиторах атмосферной коррозии приведены в табл.2.

Целесообразным является исследование влияния времени формирования защитной пленки на поверхности металла летучими соединениями растительного экстракта. Оценена противокоррозионная эффективность экстракта шрота рапса как летучего ингибитора атмосферной коррозии в зависимости от времени формирования защитной пленки на поверхности малоуглеродистой стали методом поляризационного сопротивления. Значение поляризационного сопротивления увеличивается от 8 до 23,1 кОм, что свидетельствует о повышении ингибирующей эффективности. Максимальная защитная способность адсорбционной пленки на поверхности металла, сформированной из паровой фазы изопропанольного экстракта шрота рапса, отмечена на 2-е сут выдержки, после чего происходит некоторое снижение ее защитной способности.

Для более полного понимания механизма процесса испарения спиртового экстракта шрота рапса целесообразно исследование изменения состава экстракта в процессе испарения, а также определение соединений, не принимающих участие в формировании пленки, то есть остающихся в нелетучем осадке. Методом ИК-спектроскопии были исследованы свежеприготовленный изопропанольный экстракт, состав после 2 сут испарения, а также нелетучий остаток, образующийся в естественных условиях после 4 сут испарения (рис.2, табл.3).

Таблица 2. Результаты коррозионных испытаний ЛИАК

Время формирования пленки, ч	Среднее значение за 150 мин исследования R _p , кОм	Коэффициент торможения γ
Без ингибитора		
–	2,3	–
Экстракт шрота рапса		
10	8,4	3,7
20	6,8	2,9
24	18,5	8,0
40	23,1	10,0
48	26,7	11,6
72	26,1	11,3
96	25,0	10,8
Изопропиловый спирт		
12–96	2,5	1,08

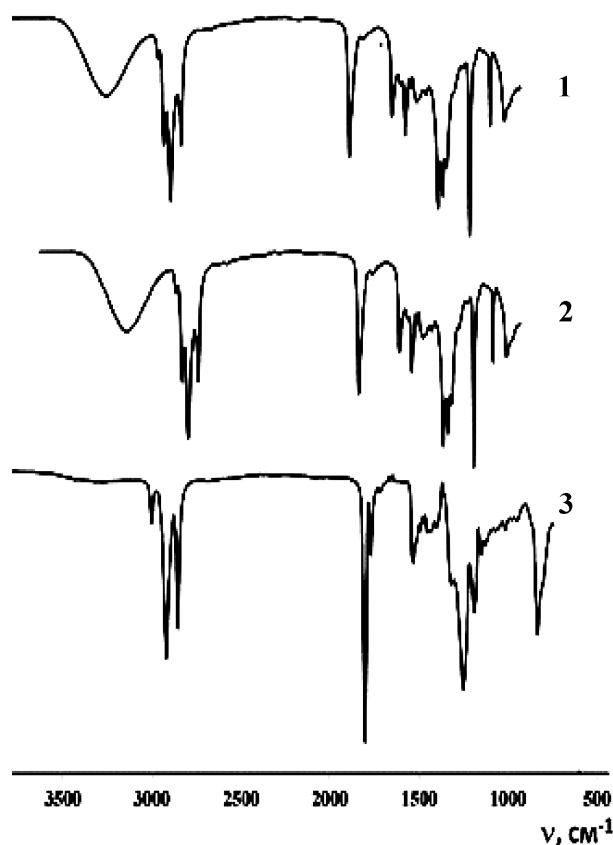


Рис.2. ИК-спектры изопропанольного экстракта шрота рапса: 1 — свежеприготовленный экстракт; 2 — после испарения в течение 2 сут; 3 — после испарения в течение 4 сут.

Для свежеприготовленного экстракта шрота рапса характерны полосы поглощения в области $2800\text{--}3000\text{ см}^{-1}$, что, по-видимому, свидетельствует о присутствии межмолекулярной водородной связи. Также на спектре присутствуют характерные полосы поглощения в области $690\text{--}900\text{ см}^{-1}$, которые относятся к колебаниям ароматического замещения (деформационные колебания связи $\text{C}\text{--}\text{H}$, а также деформационные колебания $1200\text{--}1300\text{ см}^{-1}$, соответствующие спиртовым группам). Это, вероятно, свидетельствует о присутствии в экстракте рапса ксантонозина и гуанозина. Полосы поглощения в области $800\text{--}1000\text{ см}^{-1}$ соответствует деформационным колебаниям связи $\delta(\text{=CH}_2)$. Полосы поглощения в области $1600\text{--}1750\text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям карбонильной группы кетонов, колебаний ароматического кольца, а также свободных и связанных карбоксильных групп, что свидетельствует о присутствии этих соединений в исследуемом экстракте и совпадает с данными газовой хромато-масс-спектрометрии. Полосу при 1160 см^{-1} можно отнести к де-

формационным колебаниям спиртовых гидроксидов, что подтверждает присутствие в экстракте стероидов, относящихся к тетрациклическим спиртам.

Поглощение $\nu(\text{COO}^-)$ карбоновых кислот лежит в той же спектральной области, что и альдегидов. Однако кислоты в исследуемом экстракте можно идентифицировать по большей интенсивности полосы $\nu(\text{C}=\text{O})$ — около 1500 . Кроме того, в карбоновых кислотах проявляется интенсивное поглощение $\nu(\text{O}\text{--}\text{H})$ и $\nu(\text{C}\text{--}\text{O})$ в области $1420\text{--}1200\text{ см}^{-1}$. Ввиду высокой поверхностной активности карбоновых кислот, что обусловлено дифильностью их строения, они способны адсорбироваться на поверхности. Кроме того, наличие двойной связи делает молекулу еще более реакционноспособной.

Вероятней всего, механизм адсорбции будет значительно сложнее, чем в случае физической адсорбции, что обусловлено высокой реакционной способностью исходных соединений.

Ввиду высокой донорной и акцепторной способности большинства веществ они могут реагировать между собой и с молекулами растворителя (экстрагента). На ИК-спектрах после 4 сут наблюдается значительное усиление интенсивности колебаний в области $1700\text{--}1750\text{ см}^{-1}$, что нельзя однозначно отнести к оставшимся в сухом остатке альдегидам и кислотам, а скорее к частичным продуктам их взаимодействия и ароматических стероидов, которые, как известно, низколетучие.

Поскольку кислород карбоксильных групп имеет достаточно высокое сродство к металлической поверхности (большинству переходных металлов), в частности, выступает донорным атомом при комплексообразовании, то соединения, содержащие --COO^- группы, способны адсорбироваться на поверхности металла посредством не только вандерваальсовых взаимодействий, но и донорно-акцепторных связей.

Как видно из спектров, испарение в течение 2 и 4 сут изопропанольного экстракта приводит к существенному различию компонентного состава по сравнению со свежеприготовленным. Мало интенсивная полоса поглощения при 1610 см^{-1} свидетельствует о наличии в образце меньшего количества органических соединений, содержащих в молекуле бензольное кольцо.

Менее интенсивные полосы поглощения в области $1750\text{--}1600\text{ см}^{-1}$, относящиеся к валентным колебаниям карбонильной группы кетонов и колебаний ароматического кольца, указывают на вероятность испарения кетонов 3,5-диметоксиацетофенона и сиреневого альдегида. Менее

Таблица 3. Полосы поглощения (см^{-1}) в ИК-спектрах экстрактов шрота рапса

Функциональные группы	Полосы поглощения	Свежеприготовленный экстракт шрота рапса	Состав после испарения	
			2 сут	4 сут
ν_{OH} - валентные; d деформационные	3650–3590; 1450–1250	1315, 1378, 1275пл, 1233пл 1229, 1158	1245, 1307, 1328, 1390, 1296	1376, 1436
ν_{OH} - связанные Н связью (спирты, фенолы, карбоновые кислоты)	3550–3200; 2700–2500 (широкая)	3345	3337, 3000пл	3005
$\nu_{\text{C-H}}$ sp^3 ; $\nu_{\text{C-H}}$	2975–2810 (сильные)	2922, 2930, 2986пл, 2852	2953, 2936, 2867	2919; 2850
δ C–H sp^3	1470–1430 (средние); 1380–1370 (сильные)	1460, 1376	1471	1454; 1379
$\nu_{\text{C=O}}$ альдегиды (2 полосы)	2900–2820 (слабая); 2775–2700 (слабая)	2852	2867	2852
δ ($=\text{CH}_2$) sp^2	1420–1410; 995–985; 915–905	950, 965пл	964пл, 980 пл	1436; 908
$\nu(\text{C}=\text{C})$	1620–1680 (узкая)	1630пл	1651пл	1644пл
$\nu_{\text{C=O}}$ (альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты); ν (CPh) арены	1750–1600 (средняя)	1742	1756	1709; 1743
$\nu_{\text{C=O}}$ (ароматические альдегиды, кетоны)	1705–1660	1600, 1637	–	–
d (CH_2)	710–720	722	731	721
ν_{as} (CO) (полуторные)	1430–1470	1458	–	1454
ν_{s} (CO); ν_{as} (CC)	1540–1600	1600	–	–

интенсивные полосы поглощения в области $900\text{--}690\text{ см}^{-1}$, относящиеся к колебаниям ароматического замещения (деформационные колебания связи C–H), а также деформационные колебания $1300\text{--}1200\text{ см}^{-1}$, которые соответствуют спиртовым группам, дают основания ожидать, что молекулы гуанозина и ксантозина перешли в газопаровую фазу. Относительная неизменность интенсивности поглощения $\nu(\text{O-H})$ и $\nu(\text{C-O})$ в области $1420\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ указывает на все еще значительное, но уменьшенное количество карбоновых кислот в экстракте шрота рапса. Полосу при 1160 см^{-1} можно отнести к деформационным колебаниям спиртовых гидроксидов. Она подтверждает еще присутствие в экстракте стероидов и других терпенов, которые относятся к тетрациклическим спиртам.

При испарении экстракта шрота рапса в естественных условиях в течение 2 и 4 сут большая часть экстракта испаряется, что находит отображение в ИК-спектрах. Оставшийся нелетучий осадок представляет собой маслянистую вязкую жидкость и составляет 2–3 % первоначальной массы экстракта. Исследование состава нелетучего остатка экстракта показало, что в нем присутствуют некоторые спирты и ароматические соединения, включая стероиды. Кроме того, именно после 4 сут экспозиции металла в изопропанольном экстракте шрота рапса, как показывают исследования [4], заканчивается формирование адсорбционной пленки на его по-

верхности. При этом более длительная выдержка образцов в парах экстракта к повышению ингибирующих свойств не приводит.

Выводы

Исследование состава изопропанольного экстракта шрота рапса показало, что в нем содержится около 20 индивидуальных компонентов, среди которых доминируют гликозиды (сахароза, гуанозин, ксантонозин), сиреневый альдегид, кетон-3,5-диметоксиацетофенон, а также насыщенные и ненасыщенные жирные кислоты, представленные пальмитиновой, олеиновой, линолевой кислотами.

Анализ полученных ИК-спектров подтверждает наличие данных соединений в исследуемом экстракте, а также позволяет предположить, что при адсорбции указанных соединений на поверхности металла возможно образование пленки по донорно-акцепторному механизму. Анализ компонентного состава остатка экстракта после 4 сут экспозиции показывает, что в нем остаются в основном нелетучие соединения, а именно: некоторые спирты и ароматические вещества, включая стероиды.

Список литературы

1. Андреев Н.Н., Кузнецов Ю.И. Физико-химические аспекты действия летучих ингибиторов коррозии металлов // Успехи химии. — 2005. — Т. 24, № 8. — С. 755–767.

2. Taleb I.A., Hisham Al. The effect of Thyme leaves extract on corrosion of mild steel in HCl // *Progress in Organic Coatings*. – 2012. – Vol. 75, № 2. – P. 456–462.
3. Poongothai N., Rajendran P., Natesan M., Palaniswamy N. Wood bark oils as vapour phase corrosion inhibitors for metals in NaCl and SO₂ environments // *Indian Journal of Chemical Technology*. – 2005. – Vol. 12. – С. 641–647.
4. Vorobyova V.I., Chygyrynets' O.E. Natural products as volatile inhibitor atmospheric corrosion // *Sci. J. «Aspect»*. – 2012. – P. 37–40.
5. Altsybeeva A.I., Burlov V.V., Fedorova N.S., Kuzinova T.M. Volatile inhibitors of atmospheric corrosion of ferrous and nonferrous metals. III. VNKh-L-408 inhibitor : Basics of production and application technology // *Int. J. Corros. Scale Inhib.* – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 9–16.
6. Premkumar P., Kannan K., Natesan M. Thyme extract of thymus vulgar L. as volatile corrosion inhibitor for mild steel in NaCl environment // *Asian Journal of Chemistry*. – 2008. – Vol. 20, № 1. – P. 2008–2019.

Поступила в редакцію 05.06.14

Воробйова В.І.¹, аспірант, Чигиринець О.Е.¹, докт. техн. наук, проф.,

Воробйова М.І.², аспірант, Фатєєв Ю.Ф.¹, кан. хім. наук

1 Національний технічний університету України «Київський політехнічний інститут», Київ

пр. Перемоги, 37, корп. 4, 03056 Київ, Україна, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru, corrosionlife@yandex.ru

2 Український державний хіміко-технологічний університет, Дніпропетровськ

пр. Гагаріна, 8, 49000 Дніпропетровськ, Україна

Захисна ефективність леткого інгібітора на основі відходів рослинної сировини

Досліджено протикорозійну ефективність, якісний та кількісний склад летких органічних сполук ізопропанольного екстракту шрота ріпаку — відходів, що утворюються при отриманні олії з насіння ріпаку (сімейства *Brassicaceae*). Показано, що леткі фракції ізопропанольного екстракту шрота ріпаку забезпечують формування захисної плівки, яка гальмує корозійні процеси в умовах прискорених випробувань з періодичною конденсацією вологи. Встановлено, що основними компонентами екстракту шрота ріпаку є глікозиди: сахароза, гуанозин, ксантозин; бузковий альдегід, кетон-3,5-диметоксиацетофенон, стероїди (β - та γ -ситостерол, кампостерол та ін), а також насичені й ненасичені жирні кислоти, представлені пальмітиноюю, олеїноюю, лінолевою та оцтовою кислотами. Кінетику випаровування летких сполук ізопропанольного екстракту шрота ріпаку вивчено за допомогою газової хромато-мас-спектрометрії (ГХ-МС) та ІЧ-спектроскопії. *Бібл. 6, рис. 2, табл. 3.*

Ключові слова: атмосферна корозія сталі, летючий інгібітор, екстракт шрот ріпаку.

Vorobyova V.I.¹, PhD Student,
Chygyrynets' O.E.¹, Doctor of Technical Science, Professor,
Vorobyova M.I.², PhD Student,
Fatyeu J.F.¹, Candidate of Chemical Science

**¹ National Technical University of Ukraine «Kiev Polytechnic Institute»,
Kiev**

37, Pobedy Ave., 03056 Kiev, Ukraine, e-mail: viktorkathebest@yandex.ru,
corrosionlife@yandex.ru

² Ukrainian State University of Chemical Technology, Dnepropetrovsk

8, Gagarin Ave., 49000 Dnepropetrovsk, Ukraine

The Protective Efficiency of Volatile Corrosion Inhibitors on the Basis of Vegetative Waste

The goal of the study was investigation of the inhibition efficiency volatile components the extract of rapeseed extract as volatile corrosion inhibitor. And also study qualitative and quantitative composition of volatile organic compounds isopropanol extract rapeseed meal - waste generated in obtaining oil from rapeseed (family Brassicaceae). Studies have shown that volatile fractions isopropanol extract rapeseed meal provide the formation of a protective film, retarding corrosion processes under conditions of accelerated tests with periodic moisture condensation. Found that the major components of the extract of rapeseed meal are glycosides, sucrose, guanosine, xanthosine; syringaldehyde ketone-3,5-dimethoxyacetophenone, steroids (β - and γ -sitosterol, kamposterol etc.), as well as saturated and unsaturated fatty acids represented palmitic, oleic acid, linoleic acid and acetic acid. The kinetics of evaporation of volatile compounds isopropanol extract canola meal was studied by gas chromatography- and massspectrometry (GC-MS) and infrared spectroscopy. *Bibl. 6, Fig. 2, Table 3.*

Key words: volatile inhibitor corrosion, atmospheric corrosion, steel, rapeseed extract.

References

1. Andreev N.N., Kuznecov Yu.I. Physical-chemical aspects of the action of volatile corrosion inhibitors. *Uspehi himii*, 2005, 24 (8), pp. 755–767. (Rus.)
2. Taleb I.A., Hisham Al. The effect of Thyme leaves extract on corrosion of mild steel in HCl. *Progress in Organic Coatings*, 2012, 75 (2), pp. 456–462.
3. Poongothai N., Rajendran P., Natesan M., Palaniswamy N. Wood bark oils as vapour phase corrosion inhibitors for metals in NaCl and SO₂ environments. *Indian Journal of Chemical Technology*, 2005, 12, pp. 641–647.
4. Vorobyova V.I., Chygyrynets' O.E. Natural products as volatile inhibitor atmospheric corrosion. *Scientific journal «Aspect»*, 2012, pp. 37–40. (Rus.)
5. Altsybeeva A.I., Burlov V.V., Fedorova N.S., Kuzinova T.M. Volatile inhibitors of atmospheric corrosion of ferrous and nonferrous metals. III. VNKh-L-408 inhibitor: basics of production and application technology. *Int. J. Corros. Scale Inhib.*, 2013, 2 (1), pp. 9–16.
6. Premkumar P., Kannan K., Natesan M. Thyme extract of thymus vulgar L. as volatile corrosion inhibitor for mild steel in NaCl environment. *Asian Journal of Chemistry*, 2008, 20 (1), pp. 445–451.

Received June 5, 2014