

УДК 665.767+621.56

*А.Б. Григоров, О.В. Богоявленська*

## ІНФОРМАТИВНІСТЬ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ КОМПРЕСОРНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ОЛИВ

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

В роботі надані експериментально визначені стандартні показники якості холодильних олив (кінематична в'язкість, масова частка води, кислотне число, температура спалаху, зольність) і не регламентовані нормативною документацією – оптичний і електричний. Встановлено, що значний внесок у зміну робочих характеристик компресорної оливи вносять продукти окиснення, що утворюються під дією високих температур і тиску в процесі експлуатації установки, і так само попадання в нього холодоагенту (амоніак), які в присутності води сприяють початку корозії за електрохімічним механізмом деталей компресора з мідьмісних сплавів. Утворені електроліти та продукти корозії значно змінюють оптичні та електричні властивості оливи. Для показників якості олив розраховано коефіцієнти інформативності, що дозволило обрати такі, які адекватно відображають зміну властивостей холодильної оливи при роботі компресора: масова частка води, оптична густина і електродний потенціал. Запропоновано методики визначення не регламентованих показників для контролювання змінення робочих характеристик оливи. На підставі результатів досліджень запропоновано використовувати такі показники, як кількість вологи, оптична густина і електродний потенціал, для експрес аналізу якості холодильних олив в компресорних установках, які працюють на холодоагенті R717 (амоніак).

**Ключові слова:** компресорна олива, холодоагент, амоніак, коефіцієнт інформативності, електродний потенціал, оптична густина, експрес аналіз.

### *Вступ*

Багаторічний світовий досвід використання змащувальних олив надає підстави розглядати їх як елемент конструкції агрегата у якому вони використовуються. За якісним станом мінеральної оливи можна здійснювати моніторинг його працездатності та забезпечити надійну роботу протягом тривалого часу шляхом підтримання експлуатаційних властивостей оливи на певному рівні.

Серед широкого спектра змащувальних матеріалів значним попитом користуються компресорні оливи, які застосовують для змащування компресорів – основного агрегата у схемах холодильних машин. Ці змащувальні матеріали мають бути хімічно стабільними у присутності холодоагентів, мати сумісність з усіма матеріалами холодильних машин, низьку гігроскопічність тощо [1]. Однак деякі властивості компресорних олив не завжди коректно відображені у нормативній документації. Визначити

відповідність експлуатаційних властивостей змащувальних матеріалів всім вимогам є можливим лише при роботі їх безпосередньо у компресорі. Тому актуальним завданням є визначення інформативності показників якості змащувальних олив, які адекватно оцінюють їх фактичний стан під час експлуатації у компресорах холодильних установок [2].

При роботі компресорів холодильних машин відбувається безперервний контакт і утворення суміші холодоагенту з оливою, яка є одночасно робочою речовиною і змащувальною рідиною при постійних коливаннях тиску та температури. Таким чином в процесі експлуатації холодильної установки відбувається зміна багатьох показників олив, зокрема в'язкості, кислотного числа, кольору, густини, масової частки води, температури спалаху, масової частки механічних домішок [3].

Температура спалаху є одним з важливих показників термічної стабільності, леткості та

своєрідним індикатором заміни оливи в низькотемпературній системі. Контакт компресорної оливи та холодоагенту з нагрітими деталями компресора, подекуди сягає від 160 до 250°C і є дуже небезпечним. За таких температур у присутності води та оливи можливим є розкладання холодоагенту, наприклад, амоніаку, виникнення хімічних реакцій з утворенням агресивних органічних кислот, альдегідів спиртів, відновлення, диспергування, його піроліз. За високих температур і руйнуванні оливи в системі можуть з'явитись метан, етилен та інші продукти дегідрування оливи, відкладання коксу на деталях компресора, обвуглювання силікагелю, зміна кольору оливи [3].

Від наявності органічних кислот у оливі залежить кислотне число, яке не повинно перевищувати 0,03–0,05 мг КОН/г. його збільшення до 0,10 мг підвищує ризик згоряння електродвигуна на 20%. В процесі експлуатації холодильної установки кислотне число зростає, що є підставою для заміни оливи [3]. В результаті окиснення можуть з'явитись осадки смол, часточки коксу. Розчинення деталей з міді або мідних сплавів різко зростає в присутності вологи та продуктів окиснення. Мідь переходить до розчину та вкриває насамперед чисті шліфовані поверхні тертя, які не можливо відновити.

Присутність вологи в оливі виключена [4]. Вода є каталізатором багатьох хімічних реакцій, які перотікають в оливах і холодоагенті. Наявність води змінює і електроізоляційні властивості оливи, які залежать від форми її присутності (в розчиненому або емульсованому вигляді), наявності водорозчинних домішок. Вміст води в оливі не повинен перевищувати 20 ppm.

В'язкість оливи залежить від типу та потужності холодильної установки, виду холодоагенту, навантажень на деталі компресора [4]. При нагріванні в'язкість розчину олива-холодоагент зменшується, тому при недостатній в'язкості базової оливи відбувається розрив плівки оливи на поверхнях тертя та їх прискорене зношування. Однак висока в'язкість оливи ускладнює її циркуляцію в системі, повернення оливи до компресора. Висока в'язкість є прийнятною для змашування компресора, однак в картері збираються продукти термічного розпаду оливи і зменшують надійність роботи клапанів та ущільнення. В холодильних машинах олива із оливовідділювача переноситься збагаченою легкими фракціями. Для амоніачних холодильних установок використовують оливи з в'язкістю не менше 45–50 мм<sup>2</sup>/с при 40°C, а змінення в'язкості

не повинно перебільшувати 10–15%.

#### **Експериментальна частина**

Визначення інформативних показників якості компресорних оливи здійснювалося у лабораторних умовах на зразках мінеральної компресорної оливи марки ХА-30. Для цього було відібрано пробу чистої оливи ХА-30 та пробу оливи після її використання у компресорі промислової холодильної установки, що працює на холодоагенті R717 (амоніак).

Якісні товарні оливи мають світло-жовтий прозорий колір, який залежить від присутності в ній смолистих речовин та ступеня дисперсності системи. Внаслідок окиснення при роботі в холодильній системі олива поступово темніє. Зміна кольору може свідчити про порушення герметичності системи, невідповідності якості оливи або амоніаку відповідним вимогам. Але слід зазначити, що колір дозволяє лише приблизно оцінювати ступінь забруднення оливи та втрату її робочих властивостей.

Олива, що відпрацювала у компресорі більше 50 годин, була темно-брунатного кольору, була непрозорою, мала темно-зелений осад, у ній відчувався характерний різкий запах амоніаку. Такі показники змінення зовнішніх характеристик оливи свідчать, про порушення технологічного режиму роботи холодильної установки. При зовнішньому огляді конструктивних елементів компресора було встановлено, що на металевих елементах, які виготовлені з бронзи та контактували з оливою, були сліди корозії.

Для відібраних проб оливи визначено стандартизовані показники якості (таблиця), які регламентовані нормативною документацією на оливи та досліджувані ненормовані показники, що характеризують її оптичні і електричні властивості.

Оптичну густину досліджуваної оливи визначали з використанням фотоелектричного колориметра КФК-2МП при довжині хвилі 470 нм у кюветі з товщиною поглинаючого шару 10 мм.

Для визначення потенціалу оливи вимірювали електрорушійну силу гальванічного елемента, складеного із скляного індикаторного електрода та електрода порівняння з відомим потенціалом (0,222 В), в якості якого використовували насичений хлорид срібний (Cl<sup>-</sup>|AgCl, Ag) електрод [5]. Перед вимірюванням до оливи додавали розчинник – суміш толуолу із ізопропиловим спиртом.

Визначення корозійної активності оливи виконували за методикою, що полягає в витриманні спеціально підготовленої мідної плас-

## Показники якості проб компресорної оливи

№	Найменування показника	Значення для проби			K <sub>інф</sub>
		Олива ХА-30 ГОСТ 5546-86	Чиста олива	Відпрацьована олива	
1	Кінематична в'язкість при 50°C, мм <sup>2</sup> /с	28–3	39,21	39,02	0,004
2	Масова частка води, мас.%	відсутня	відсутня	0,22	0,95
3	Кислотне число, мг КОН/г	0,5	0,05	0,09	0,44
4	Оптична густина, D <sub>470</sub>	–	0,266	0,343	0,53
5	Електродний потенціал, Е, мВ	–	–40	–260	0,85
6	Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	185	202	194	0,04
7	Зольність, мас.%	0,04	0,003	0,005	0,4
8	Водорозчинні кислоти та луги	відсутні	відсутні	присутні	–

тинки марки М1к згідно з ГОСТ 859 в досліджуваній оливі при підвищеній температурі та фіксуванні змін зовнішнього вигляду пластинки, який характеризує корозійний вплив оливи на метал. Пластинку з міді шліфували потім занурювали і зберігали в ізооктані. Перед випробуванням мідну пластинку полірували шліфувальним порошком, протирали до видалення слідів металічного пилю. Після полірування пластинку зберігали не більше 1 хв.

В чисті сухі пробірки наливали по 30 см<sup>3</sup> досліджуваних оливи і поміщали їх в термостат. По досягненні температури 100°C у пробірки зі зразками оливи занурювали мідні пластинки, закривали пробірки пробками та витримували 180 хв при цій же температурі. Після цього вміст пробірки переносили до стакана, а мідні пластинки – до фарфорової чашки із ізооктановим спиртом та промивали до видалення слідів оливи. Пластинки висушували та зберігали у пробірках, закритих ватою.

Також для досліджуваної проби оливи було визначено кількісний вміст амоніаку формальдегідним методом, який засновано на реакції іона NH<sub>4</sub><sup>+</sup> з формальдегідом:



Кількість утвореної кислоти за рівняння реакції є еквівалентним кількості солей амоніаку. З відпрацьованої оливи у ділильній воронці відділяли водний розчин аміаку. До розчину, що аналізується, додавали формальдегід і кислоту, яка виділилась титрували лугом за фенолфталеїном. Реакція іонів амоніаку з формальдегідом є оборотною, однак в слабо лужному розчині перебігає до кінця.

**Результати та їх обговорення**

Для показників якості оливи було визначено коефіцієнт інформативності (K<sub>інф</sub>), який

дозволяє вибрати з усіх показників ті, що адекватно відображають зміну властивостей оливи під час експлуатації компресора, та визначається за наступною формулою [6]

$$K_{\text{інф}} = 1 - (X_{\text{міх}}/X_{\text{ман}}),$$

де X<sub>max</sub>, X<sub>min</sub> – максимальне і мінімальне значення показника якості оливи.

Результати лабораторного дослідження проби чистої та відпрацьованої оливи марки ХА-30 наведено у таблиці.

Визначення оптичної густини досліджуваних оливи (таблиця) є ефективною методикою встановлення фізико-хімічних параметрів, які характеризують якість оливи. Визначено, що на ресурс оливи впливає не тільки окислювальний процес, а також утворення металовмісних колоїдних частинок, в першу чергу нафтенатів міді. При накопиченні продуктів деструкції оливи відбувається зміння оптичних характеристик оливи, зокрема збільшення оптичної густини, зменшення коефіцієнта пропускання. Таким чином, оптичну густину можна розглядати як показник загального рівня якості оливи, який характеризує в даному випадку забрудненість оливи ХА-30, яка збільшилась майже на 50%. Тобто, чим менше змінюється показник оптичної густини, тим вище якість оливи.

Компресорна олива та вода у чистому вигляді є діелектриками. Однак, навіть при незначному вмісті води, водорозчинних кислот або солей її електричні характеристики значно змінюються [7,8]. Значення вимірних потенціалів чистої та відпрацьованої оливи наведено в таблиці. При стиканні електрода з полярним розчинником, яким є вода з присутніми в ній продуктами окиснення оливи на межі електрод-рідина виникає подвійний електричний шар. Оскільки у випадку його виникнення електрод і

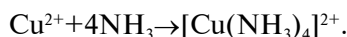
розчин мають заряди протилежного знаку, то між ними виникає різниця потенціалів, яка характеризується електродним потенціалом, що має такий знак, який виникає на його поверхні в подвійному електричному шарі [5]. Потрапляння води до оливи значно активувало дію утворених домішок та спричинило інтенсивний перебіг електрохімічної корозії поверхонь з мідьмісних сплавів. У досліджуваній оливі електродний потенціал змістився більше ніж на 200 мВ у від'ємну сторону. Це може свідчити про дифузю продуктів реакції від поверхні металу до об'єму оливи внаслідок десорбції продуктів реакції після електрохімічної реакції реагенту з поверхнею металу. Корозія проявляється у вигляді багатьох непомітних мікроотворів на поверхні мідьмісних деталей установки.

Амоніак не змішується з оливою і не розчиняє її в картері компресора. В досліджуваній оливі зафіксовано його присутність та визначена кількість, яка складає 12 г/л оливи. На практиці для розділення цієї суміші використовують оливовідділювач в нагнітальному трубопроводі для видалення оливи з випаровувача. Олива ХА-30 може використовуватись для компресорів, які працюють на амоніаку, у випадках коли технологічно передбачені точки повернення оливи до компресора.

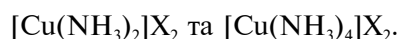
Корозійний вплив оливи на мідні пластинки оцінювали у відповідності до описання кольору, який визначили як прозоро-чорний, що свідчить про перебіг корозії.

Амоніак є не корозійним за відношенням до всіх металів холодильних систем. Однак він є небезпечним до кольорових металів для міді та її сплавів – латуні, бронзи – за наявності вологи. Мідь та її сплави використовують в багатьох приладах та обладнанні, зокрема, в компресорах холодильних установок. Це пов'язано з її високою корозійною стійкістю. Однак значну корозію міді спостерігають в окислювальних кислотах, аерованих розчинах, які містять  $\text{NH}_4^+$ -іон (аміни,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ), який здатний з міддю утворювати комплекси.

Присутність у оливі амоніаку сприяє утворенню амоніакатів:



Частіше за все серед них зустрічаються два типи:



Вода є середовищем для електрохімічних процесів, вона також каталітично прискорює процес окиснення оливи, тобто сприяє перебігу корозії. Джерелом води в змащувальній оливі є атмосферна волога внаслідок порушення герметичності системи.

На корозійну складову впливає також той фактор, що в процесі експлуатації вміст кислотних з'єднань в оливі постійно зростає. Причинами цього може бути автоокиснення самої оливи і утворення кислот, висока робоча температура, збільшення домішок, зокрема внаслідок руйнування присадок, продукти розпадання яких є промоторами окиснення.

#### **Висновки**

За здійсненими дослідженнями фізико-хімічних властивостей досліджуваних зразків компресорної оливи ХА-30 визначено стандартні показники якості холодильних оливи (кінематична в'язкість, масова частка води, кислотне число, температура спалаху, зольність) і не регламентовані нормативною документацією – оптичний і електричний. Порівняльний аналіз цих показників виявив, що найбільші значення коефіцієнта інформативності ( $K_{\text{інф}}$ ) спостерігаються для показників: електродний потенціал (0,85) та оптична густина (0,53) та масова частка вологи (0,95). Вплив продуктів деструкції оливи ХА-30 після її роботи за різних режимів температури і тиску визначений за зміненням електродного потенціалу, який зміщується в негативну область та оптичної густини – спостерігають зростання її значення. Змінення електродного потенціалу свідчить про перебіг процесу корозії внаслідок потрапляння вологи до системи обігу компресорна олива–холодоагент. Визначення оптичної густини дозволяє оцінювати змінення робочих характеристик компресорної оливи – зі збільшенням значення для цього показника її властивості погіршуються.

Таким чином ці показники є інформативними для експрес аналізу якості компресорних оливи і можуть бути використані під час оперативного визначення працездатності компресорних оливи у процесі експлуатації.

#### **СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. *Цветков О.Б., Лантев Ю.А.* Современные холодильные масла // Холодильная техника. – 2005. – № 1. – С.18-20.
2. *Гуреев А.А., Фукс И.Г., Лаихи В.Л.* Химмотология. Принципы оценки качества и современные перспективные

нефтепродукты. – М.: Химия, 1986. – 368 с.

3. Бабакин Б.С., Стефанчук В.И., Ковтунов Е.Е. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе. – М.: Колос, 2000. – 160 с.

4. Фитч Дж. Анализ масел. Основы и применение. – Вид-во Профессия, 2015. – 166 с.

5. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Цирлина Г.А. Электрохимия. – М.: Химия, 2001. – 624 с.

6. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: Физматлит, 2006. – 816 с.

7. Григоров А.Б. Влияние загрязнений моторных масел в процессе эксплуатации на величину изменения их относительной диэлектрической проницаемости // Вестник Нац. технич. ун-та «ХПИ». – 2009. – № 34. – С.133-138.

8. Наглюк И.С., Григоров А.Б. Изменение диэлектрических свойств моторного масла под совместным воздействием разных видов загрязнений // Вестник Харьковского нац. автомобильно-дорожного ун-та. – 2011. – № 53. – С.21-23.

Надійшла до редакції 26.09.2017

#### THE INFORMATIVENESS OF QUALITY INDICATORS OF COMPRESSOR LUBRICATING OILS

*A.B. Grigorov, E.V. Bogoyavlenskaya*

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine

*Experimentally determined standard measures of the quality of refrigerator oils (kinematic viscosity, water mass fraction, ignition temperature, corrosion activity) are presented in this work. Optical and electrical quality ratings, which are not regulated by established standards, are given too. Oxidation products was stated to make a significant contribution to the change in operating characteristic of compressor oil, these oxidation products being formed both under the action of high temperatures and pressures during the compressor operation and in case of ingress of refrigerant (ammonia) into it. The oxidation products in the presence of water will contribute to the beginning of corrosion of copper-containing components of compressor via the electrochemical mechanism. The generated electrolytes and corrosion products significantly change the optical and electrical properties of oil. The informativeness coefficients of the quality of oils were calculated. The informativeness coefficients were selected which adequately reflect the changes in the refrigeration oil properties during compressor operation, they are as follows: water mass fraction, optical density and electrode potential. Some methods were developed to determine the changes in oil performance that are not regulated by established standards. Based on the analysis of the obtained results, such indexes as the amount of moisture, optical density and electrode potential have been selected to perform the express analysis of the quality of refrigerator oils in compressor equipment which uses R717 refrigerant (ammonia).*

**Keywords:** oil compressor; refrigerant; ammonia; information coefficient; electrode potential; optical density; express analysis.

#### REFERENCES

1. Tsvetkov O.B., Laptev Yu.A., *Sovremennye kholodil'nye masla* [Modern refrigerator oils]. *Kholodil'naya Tekhnika*, 2005, no. 1, pp. 18-20. (in Russian).

2. Gureev A.A., Fuks Y.H., Lashkhi V.L., *Khimmotologiya. Printsipy otsenki kachestva i sovremennye perspektivnye nefteprodukty* [Chemmotology: the principles of quality estimation and modern promising oil products]. Khimiya, Moscow, 1986. 368 p. (in Russian).

3. Babakyn B.S., Stefanchuk V.Y., Kovtunov E.E., *Al'ternativnye khladagenty i servis kholodil'nykh sistem na ikh osnove* [Alternative refrigerants and maintenance of refrigeration equipment on their basis]. Kolos Publishers, Moscow, 2000. 160 p. (in Russian).

4. Fytch D., *Analiz masel. Osnovy i primeneniye* [Oils analysis: fundamentals and application]. Professiya Publishers, Moscow, 2015. 166 p. (in Russian).

5. Damaskin B.B., Petriy O.A. Tsyrlina G.A., *Elektrokhimiya* [Electrochemistry]. Khimiya, Moscow, 2001. 624 p. (in Russian).

6. Kobzar A.I., *Prikladnaya matematyckaya statistika. Dl'ya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied mathematical statistics for engineers and researchers]. Fizmatlit Publishers, Moscow, 2006. 816 p. (in Russian).

7. Grigorov A.B. Vliyanie zagryaznenii motornykh masel v protsesse ekspluatatsii na velichinu izmeneniya ikh otositel'noi dielektricheskoi pronitsaemosti [Effect of contamination of engine oils during their use on the change of relative permittivity]. *Vestnik Natsional'nogo Tekhnicheskogo Uuniversiteta «Khar'kovskii Politekhnikeskii Institut»*, 2009, no. 34, pp. 133-138. (in Russian).

8. Naglyuk I.S., Grigorov A.B. Izmeneniye dielektricheskikh svoystv motornogo masla pod sovmestnym vozdeistviem raznykh vidov zagryaznenii [Changing the dielectric properties of engine oil under the combined influence of different types of pollution]. *Vestnik Khar'kovskogo Natsional'nogo Avtomobil'no-dorozhnogo Universiteta*, 2011, no. 53, pp. 21-23. (in Russian).