

ЗАЙЦЕВ СЕРГІЙ

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0002-1166-3243>e-mail: sdjavdet@ukr.net

ТИХЕНКО ВАЛЕНТИН

Національний університет «Одеська політехніка»

<https://orcid.org/0000-0003-2804-2838>e-mail: vntikhenko@gmail.com

ДІАГНОСТУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЛИВИ В СИСТЕМАХ ОХОЛОДЖЕННЯ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ ОБЛАДНАННЯ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

В статті досліджено фізико-хімічні та теплофізичні властивості експлуатаційної мінеральної турбінної оливи «Тп-30»; вплив температури рідкої екстракції антиокисної присадки «Іонол» на визначення її вмісту в цій експлуатаційній мінеральній турбінній оливі за методом газової хроматографії в інтервалі температур 15–75 °С (288–348 К); вплив хімічної природи екстрагента на здатність екстрагування присадки «Іонол» із цієї мінеральної турбінної оливи. Отримані результати можна використати для удосконалення процесів контролю мінеральної турбінної оливи «Тп-30» насосного агрегату системи циркуляції водного теплоносія обладнання другого контуру атомних електростанцій із водно-водним енергетичним реактором.

Ключові слова: мінеральна олива, фізико-хімічні властивості, антиокисна присадка, екстрагент.

ZAITSEV SERGEY, TIKHENKO VALENTIN

Odesa Polytechnic National University

DIAGNOSIS OF POWER OIL IN PUMPING UNITS COOLING SYSTEMS OF POWER PLANT EQUIPMENT

The article presents the results of improving the methods for diagnosing the energy oil "Tp-30" of the pumping unit of the NPP equipment coolant circulation system. When studying the physicochemical and thermophysical properties of this oil, it was found that: the indicators "acid number", "water content", "content of mechanical impurities", "content of the additive "Ionol", "flash point", "kinematic viscosity" correspond to the established standards. When determining the concentration of the additive "Ionol" in the sample of this oil: the method of adding the additive "Ionol" is used; in the obtained calculation formula, the values of the distribution coefficient for the additive "Ionol" in the system "turbine oil – additive "Ionol" – liquid extractant" are not used, which simplifies the study of the content of this additive in turbine oil. The water content in mineral turbine oil, determined by gas chromatography and coulometric titration with K. Fischer's reagent, exceeds the water content in this oil, determined by thermal extraction. When studying the effect of liquid extraction temperature on additives "Ionol" (when determining its content in a given oil), it was found by gas chromatography that: the dependence of the distribution coefficients K_i on temperature t in the temperature range 15–75 °C can be expressed by the equation $\ln K_i = A/(t+273) - B$; It is recommended to extract the Ionol additive from this oil at a temperature of (20 ± 2) °C or at a temperature of (65 ± 10) °C. When studying the effect of the chemical nature of the extractant on the ability to extract the "Ionol" additive from this oil, it was found that: ethanol, isopropanol, acetonitrile can be used as extractants of the "Ionol" additive, and the mixture "acetonitrile – water" cannot be recommended as such extractant. The results obtained can be used to improve the method of diagnosing mineral turbine oil "Tp-30" of the pumping unit of the coolant circulation system of the equipment of the second circuit of NPP with a pressurized water power reactor.

Keywords: mineral oil, physical and chemical properties, antioxidant additive, extractant.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Для забезпечення циркуляції охолоджувальної води в теплообмінному обладнанні атомних електростанцій (АЕС) України використовують водні насосні агрегати системи циркуляційного водозабезпечення АЕС, надійність яких в певній мірі забезпечує експлуатація мінеральних турбінних олив (далі – МТО) у вузлах підшипників цих насосних агрегатів [1]. Такі МТО використовують як інформаційне середовище, в якому присутність діагностичних компонентів (вода; антиокисна (далі – АО) присадка «Іонол»; механічні домішки) характеризує наявність в обладнанні дефектів в зонах поверхонь тертя під впливом точкової дії високих температур [2], вібрації [3], електричних струмів [4], водневого зношування [5]. Контроль показників фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО дозволяють своєчасно виконувати необхідні технічні заходи для забезпечення надійності енергетичного обладнання АЕС із системами циркуляції потоків МТО у вузлах змащення водних насосних агрегатів водопостачання градирень АЕС [6]. Так, у підприємстві «Рівненська АЕС» сталося аварійне відключення водного насосного агрегату водопостачання градирні, пов'язане з дефектами у вузлах підшипників зі змащенням циркулюючою МТО [7]. Це показало актуальність постійного підвищення надійності енергетичного обладнання АЕС за рахунок удосконалення контролю фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО систем циркуляційного забезпечення цими оливами водних насосних агрегатів водопостачання градирень АЕС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботі [8] наведено методи визначення вмісту механічних домішок в ізоляційних оливах. В [9] досліджено процеси утворення шламу у процесі окиснення МТО. В [10] зазначено необхідність визначення для МТО таких показника, як «час деаерації» та «загальна стійкість до окислення базової оливи». В [11] досліджено протизносні властивості МТО, що містять композиції присадок, та складено математичну модель залежності протизносних властивостей МТО від концентрації в ній присадок, що дозволяє

встановити оптимальні концентрації присадок для забезпечення їхньої ефективної протизносної дії. В [12, 13] наведено методи визначення АО присадки «Іонол» у нафті та нафтопродуктах, в тому числі за методами ІЧ-спектрометрії, газової хроматографії (ГХ). Ці методи також застосовують для одночасного визначення в МТО вмісту присадки «Іонол», В15/41, Д-157 [14–19]. У роботі [20] наведені методи ГХ для визначення вмісту АО присадки «Іонол» в мінеральних енергетичних маслах (МЕО) з урахуванням значень показника «кислотне число (КЧ)», а також показано неможливість аналізувати МЕО при значенні $KCH \geq 0,1$ мг КОН на 1 г МЕО, так як продукти окиснення в МЕО вступають у хімічну взаємодію із АО присадкою «Іонол», що додається до МЕО, і це знижує точність результату ГХ вимірювання. Цей метод може бути застосовано і для визначення вмісту АО присадки «Іонол» в МТО із урахуванням специфіки виконання аналізів. У роботі [21] показано, що використання методу добавки твердої АО присадки «Іонолу» в МЕО не дозволяє візуально встановити факт досягнення повного розчинення твердої АО присадки «Іонол» в сильно забарвлених МЕО. В [6] зазначено залежність коефіцієнтів розподілу K_i від температури для розчиненого компоненту у системі «рідина – розчинений компонент – екстрагент». У зв'язку з цим експериментальне визначення значень коефіцієнтів розподілу K_i для АО присадки «Іонол» у широкому діапазоні температур його екстракції з МТО рідкими екстрагентами, а також розробка відповідної методики ГХ визначення K_i , мають практичне значення. В [22] наведено методи визначення вмісту ПО присадки «Іонол» в МТО, такі, як: а) експрес-метод із залученням процедур тонкошарової хроматографії. Цей метод є застарілим; б) метод високоефективної рідинної хроматографії. Цей метод потребує багато часу на його виконання та застосування складної апаратури і токсичних розчинників. Результати досліджень, що отримані в роботах [12–22], можуть бути корисними для визначення вмісту присадок в потоках циркулюючої МТО у вузлах підшипників водних насосних агрегатів системи циркуляційного водозабезпечення обладнання АЕС. Під час експлуатації МТО в обладнанні, виконують визначення вмісту води в МТО із застосуванням методів: а) візуального визначення наявності вільної води в МТО та якісного визначення наявності води в МТО з нагріванням МТО до $130\text{ }^\circ\text{C}$ і спостереженням за її станом із визначенням характерного потрескування під час нагрівання) [1, 22, 23]; б) кількісного визначення вмісту води в МТО у процесі видалення води з МТО під час її нагрівання в об'єм органічного розчинника, що не змішується з водою. Конденсований в спеціальному холодильнику розчинник і вода постійно поділяються в пастці, причому вода залишається в градуйованому відсіку пастки, а розчинник повертається в колбу (метод термічної екстракції). Цей метод потребує багато часу на його виконання та застосування складної апаратури і токсичних розчинників [22, 23]; в) кількісного визначення вмісту води в МТО із застосуванням методу кулонометричного титрування з реактивом К. Фішера [22]. Цей реактив є токсичним та взаємодіє з продуктами окиснення (органічними кислотами, спиртами, фенолами) експлуатаційної МТО, що спотворює результати аналізу, завищуючи його [20]. Методи ГХ визначення вмісту води в органічних рідинах, в тому числі в МЕО, таких недоліків не мають [24, 25]. На даний час в Україні при визначенні в МТО вмісту води застосовують застарілі методи, що не відповідають сучасним вимогам відповідно до стандартів розвинених держав: Європейського союзу, США, Великобританії, Канади, Японії. Дослідження можливостей визначення АО присадки «Іонол» в МТО потребує виявлення впливу діючих факторів на спроможність застосування сучасних методів ГХ. Розробка нових або удосконалення існуючих методів визначення вмісту в МТО води та АО присадки «Іонол», наприклад, за методами ГХ, є актуальним, та відповідає сучасним вимогам у впровадженні стандартів Європейського союзу. Так, для визначення вмісту АО присадки «Іонол» в МТО за методами ГХ можуть бути застосовані газові хроматографи, що вже експлуатуються в лабораторіях АЕС України для визначення вмісту розчинених газів в ізоляційних оливах електричного обладнання. Застосування цього методу потребує визначення ефективних умов його виконання. **Метою роботи є** підвищення надійності енергетичного обладнання АЕС за рахунок удосконалення контролю фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО марки «Тп-30» водного насосного агрегату системи циркуляції водного теплоносія обладнання другого контуру атомної електростанції із водно-водним енергетичним реактором ВВЕР-1000. Завданнями роботи є: дослідження фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО «Тп-30»; дослідження впливу температури рідинної екстракції АО присадки «Іонол» на визначення її вмісту в МТО за методом ГХ в інтервалі температур $15\text{--}75\text{ }^\circ\text{C}$ ($288\text{--}348\text{ K}$); дослідження впливу хімічної природи екстрагента на здатність екстрагування АО присадки «Іонол» із МТО.

Виклад основного матеріалу

При виконанні досліджень були застосовані проби рідких середовищ: експлуатаційна МТО марки «Тп-30» для циркуляційного змащення вузлів водного насосного агрегату системи циркуляції водного теплоносія обладнання другого контуру атомної електростанції із водно-водним енергетичним реактором ВВЕР-1000 Рівненської АЕС; градувальні суміші АО присадки «Іонол» в етанолі і в МТО. Досліджувані фізико-хімічні і теплофізичні властивості експлуатаційної МТО: густина ρ , температура спалаху у відкритому тиглі t_b , кінематична в'язкість ν за температури $40\text{ }^\circ\text{C}$, кислотне число КЧ; вміст механічних домішок C_m ; вміст води C_w [1, 23]; вміст C_i для АО присадки «Іонол» [13, 20]. Для дослідження МТО застосовано наступні засоби вимірювальної техніки: а) газовий хроматограф «Кристалл-2000М» із полум'яно-іонізаційним детектором – для визначення вмісту АО присадки «Іонол» C_i [13, 20]; б) газовий хроматограф «ЛХМ-80» із детектором за теплопровідністю – для визначення вмісту води C_w (ГХ) [24, 25]; титратор «Mettler-Toledo DL32» – для визначення вмісту води C_w (KF) за методом кулонометричного титрування із реактивом К. Фішера [1]; в) мембранні фільтри типу «Millipore» з діаметром 47 мм і порами

розміром 1,2 мкм, та мікроскоп МСХ-50 – при визначенні вмісту та типу (природи) механічних домішок [1, 8, 23]; г) шприци об'ємами 20 см³ і термостат FED-53 – при дослідженні характеру впливу температури рідинної екстракції АО присадки «Іонол» на визначення її вмісту в МТО за методом ГХ [6]. Методи ГХ визначення вмісту АО присадки «Іонол» C_i в МТО засновані на застосуванні процедур екстракції аналізованого компонента з МТО відповідним екстрагентом і ГХ аналізі отриманого екстракту з використанням методу абсолютного градування газового хроматографа. Розрахункова формула має вигляд [21]:

$$C_i = \frac{S_k}{K_G} \cdot \left(K_i + \frac{V_1}{V_2} \right), \quad (1)$$

де C_i – концентрація АО присадки «Іонол» в аналізованому МТО; S_k – площа хроматографічного піку для присадки «Іонол»; K_G – градувальний коефіцієнт щодо АО присадки «Іонол» для газового хроматографа; V_1 і V_2 – об'єм рідкого екстрагента та аналізованого МТО відповідно; K_i – коефіцієнт розподілу для АО присадки «Іонол» в рівноважній екстракційній системі «МТО – розчинений «Іонол» – екстрагент», який визначають за методом ГХ шляхом послідовної дворазової екстракції розчиненої АО присадки «Іонол» з МТО однаковими обсягами чистого рідкого екстрагента та застосуванням розрахункової формули [6]:

$$K_i = \frac{S_1}{S_2 - S_1} \cdot \frac{V_1}{V_2}, \quad (2)$$

де S_1 , S_2 – площі хроматографічних піків для АО присадки «Іонол» після першої та другої його екстракції з МТО, відповідно.

1. Результати дослідження фізико-хімічних та теплофізичних властивостей експлуатаційної МТО наведено в таблиці 1 (у дужках – нормовані значення за вимогами [1, 22]).

Таблиця 1

Результати дослідження фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО «Тп-30»

КЧ, мг КОН на 1 г МТО ($<0,6$)	C_w , % маси ($<0,03$)	$C_w(GX)$, г/г (<300)	$C_w(KF)$, г/г (<300)	C_m , % маси ($<0,005$)	ν , мм ² /с (41,4– (60,7)	t_f , °C (>185)	C_i , % маси ($\geq 0,5$)	ρ , г/см ³ (0,895)
0,025	відсутнє	465	450	0,0032	46,58	220	0,73	0,895

З Таблиці 1 випливає, що: а) всі показники фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО «Тп-30» відповідають встановленим нормам [1, 22]; б) для МТО вміст води, визначений за методами ГХ ($C_w(GX)$) та кулонометричного титрування із реактивом К. Фішера ($C_w(KF)$), перевищує значення C_w , що визначено за методом термічної екстракції [1, 23]. Для накопичування інформації, додатково до регламентних вимірювань за [1, 23], рекомендовано виконувати наступні визначення вмісту в МТО: а) механічних домішок – за вимогами [8, 22, 23] із застосуванням мікроскопу для виявлення типу (природи) механічних домішок; б) води – за вимогами [24, 25] із застосуванням методу ГХ та за вимогами [1] із застосуванням методу кулонометричного титрування із реактивом К. Фішера; в) АО присадки «Іонол» – за вимогами [13, 20] із застосуванням методу ГХ. При виконанні досліджень встановлено, що: механічні домішки в МТО не є металами, волокнами або мікроорганізмами і схожі на твердий вуглець або оксиди металів; механічні домішки в МТО не мають магнітних властивостей; визначення вмісту механічних домішок у МТО за вимогами [8, 22, 23] із застосуванням мікроскопу дозволяє визначити тип (природу) цих домішок.

При визначенні концентрації C_i для АО присадки «Іонол» в пробі МТО застосовано метод додатку АО «Іонолу», який полягає в тому, що в об'єм V_2 порівняльної проби аналізованого МТО додають відому кількість АО присадки «Іонол», що міститься в рідкому екстрагенті об'єму V_1 , а в об'єм V_2 робочої проби аналізованої МТО додають рідкий екстрагент об'ємом V_1 , що не містить АО присадки «Іонол». Концентрацію C_i для АО присадки «Іонолу» в пробі МТО обчислюють за формулою [6, 21]:

$$C_i = \frac{C_3 \cdot V_1 \cdot C_1}{V_2 \cdot (C_2 - C_1)}, \quad (3)$$

де C_i – концентрація АО присадки «Іонол» у пробі МТО; C_1 – концентрація АО присадки «Іонол» у рідкому екстракті після виконання рідинної екстракції; C_3 – концентрація АО присадки «Іонол» в рідкому екстрагенті, що додається до МТО; C_2 – концентрація АО присадки «Іонол» у рідкому екстракті після виконання рідинної екстракції з проби МТО з додатком до неї АО присадки «Іонол» у вигляді його розчину в екстрагенті.

В розрахунковій формулі (3) значення коефіцієнта розподілу K_i для АО присадки «Іонол» не застосовуються, що спрощує виконання дослідження її вмісту в МТО.

2. Дослідження впливу температури рідинної екстракції АО присадки «Іонол» на визначення її вмісту в МТО за методом ГХ виконано за методикою [6] при використанні МТО із вмістом у ній АО присадки «Іонол» $C_i = 0,73$ % маси, газового хроматографа та етанолу у якості екстрагента. Відношення $N = V_1/V_2 = 0,2$. Значення K_i при заданій температурі t екстракції АО присадки «Іонол» етанолом із МТО в

інтервалі температур 15–75 °С при точності термостатування $\Delta t = \pm 0,5$ °С для кожного заданого фіксованого значення температури t екстракції розраховано за формулою [6]:

$$K_i = \frac{C_i}{C_{et}} - \frac{V_1}{V_2} \quad (4)$$

У формулі (4) значенню концентрацій АО присадки «Іонол» C_{et} в отриманому екстрагенті (етанолі) відповідає площа ГХ піку для АО присадки «Іонол» S_{et} , яка визначена за лінійною градувальною характеристикою, отриманою методом абсолютного градування хроматографа з використанням градувальних розчинів АО присадки «Іонол» в етанолі. Значення відносних ступенів екстракції АО присадки «Іонол» R_i , % відносний, з МТО екстрагентом із урахуванням значень K_i в інтервалі температур 15–75 °С розраховано за формулою:

$$R_i = 100 \cdot \left(1 + K_i \frac{V_2}{V_1} \right)^{-1} \quad (5)$$

У таблиці 2 наведено залежність від температури t коефіцієнтів розподілу K_i , відносних ступенів екстракції R_i (% відносний) для АО присадки «Іонол» та її концентрації C_{et} (% масовий) в екстрактах.

Таблиця 2

Залежність від температури t коефіцієнтів розподілу K_i , відносних ступенів екстракції R_i для АО присадки «Іонол» та її концентрації в екстрактах

$t, ^\circ\text{C}$	15	18	20	22	26	32	40	45	55	65	75
K_i	3.0	2,7	2.5	2.4	2.1	1.8	1.5	1,4	1.3	1.2	1.1
R_i , % відносний	6.3	6.9	7.3	7,7	8.6	10.0	12	13	14	15	15.5
C_{et} , % масовий	0,095	0,104	0.11	0,12	0.13	0.15	0.17	0.19	0.21	0.22	0.23

З таблиці 2 випливає: а) наближення температури екстракції до температури кипіння етанолу $t_w = 78,37$ °С призводить до наближення коефіцієнта розподілу K_i до одиниці; б) при підвищенні температури екстракції відбувається зменшення значення K_i , збільшення ступеню екстракції АО присадки «Іонол» R_i та її концентрації C_{et} в екстракті; в) в ізотермічних умовах екстракції АО присадки «Іонол» із МТО ступінь екстракції R_i залежить від коефіцієнта розподілу K_i .

На рис. 1 наведено залежність коефіцієнту розподілу K_i від температури екстракції АО присадки «Іонол» із МТО етанолом в інтервалі температур 15–75 °С, аналогічно [6].

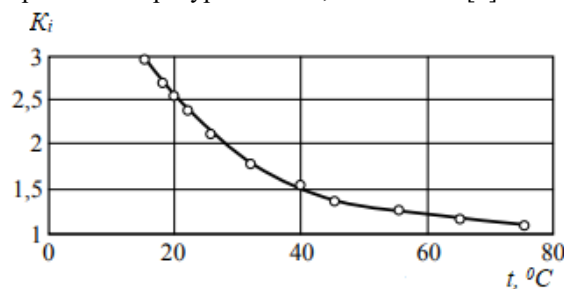


Рис. 1. Залежність коефіцієнту розподілу K_i від температури екстракції АО присадки «Іонол» із МТО етанолом: K_i – коефіцієнт розподілу для АО присадки «Іонол»; t – температура, °С

З таблиці 2 та рисунку 1 випливає, що: екстракцію АО присадки «Іонол» із МТО етанолом можна ефективно проводити при температурі: (20 ± 2) °С (в інтервалі температур 18–22 °С коефіцієнти розподілу K_i для АО присадки «Іонол» мають значення від 2,7 до 2,4, та відрізняються не більше, ніж на 11 % відносних); (65 ± 10) °С (в інтервалі температур 55–75 °С коефіцієнти розподілу K_i для АО присадки «Іонол» мають значення від 1,3 до 1,1, та відрізняються не більше, ніж на 15 % відносних).

Залежність коефіцієнтів розподілу K_i від температури t може бути виражена рівнянням [6]:

$$\ln K_i = \frac{A}{(t + 273) - B} \quad (6)$$

де A і B – коефіцієнти (таблиця 3).

У таблиці 3 наведено результати досліджень залежності усереднених значень коефіцієнтів розподілу K_i для АО присадки «Іонол» від діапазону температур її екстракції.

Таблиця 3

Результати досліджень залежності усереднених значень коефіцієнтів розподілу K_i для АО присадки «Іонол» від температури її екстракції

$t, ^\circ\text{C}$	A	B	K_i	$t, ^\circ\text{C}$	A	B	K_i	$t, ^\circ\text{C}$	A	B	K_i
15–32	2650	8,12	2,4	32–40	1626	4,76	1,7	40–75	985	2,76	1,3

Результати, що наведено в Таблиці 3, можуть бути застосовані для попереднього орієнтованого оцінювання значення концентрації АО присадки «Іонол» в МТО із застосуванням формули (1).

3. Дослідження впливу хімічної природи екстрагента на здатність екстрагування АО присадки «Іонол» із МТО виконані при температурі навколишнього повітря в інтервалі 18–22 °С і $N = V_1/V_2 = 0,2$. За градуовальною характеристикою, отриманою із використанням градуовальних сумішей АО присадки «Іонол» в екстрагенті, визначені концентрації АО присадки «Іонол» в екстракті після її екстракції із МТО. Як показник здатності екстрагента екстрагувати АО присадку «Іонол» із МТО прийнято площу S_i для хроматографічного піку: чим більше її значення, тим вище здатність даного екстрагента екстрагувати АО присадку «Іонол» з МТО (таблиця 4). У таблиці 4 наведено значення площин хроматографічних піків S_i , мВ·хв, для АО присадки «Іонол», що отримані при її екстракції із МТО різними екстрагентами при температурі екстракції 20 °С та концентрації $C_i = 0,73$ % маси АО присадки «Іонол» в МТО; коефіцієнти розподілу K_i при використанні застосованого екстрагенту; відношення « n » площі хроматографічного піку для АО присадки «Іонол» при використанні даного застосованого екстрагенту до площі хроматографічного піку для АО присадки «Іонол» при використанні екстрагенту – етанолу.

Таблиця 4

Значення площин хроматографічних піків для АО присадки «Іонол» при її екстракції різними екстрагентами із МТО

Екстрагент	S_i , мВ·хв	n	K_i	Екстрагент	S_i , мВ·хв	n	K_i
Етанол	6200	1	2,1	Ацетонітрил	7880	1,3	1,62
Ізопропанол	7400	1,2	1,7	Ацетонітрил/вода = 1/1	150	0,024	-

З таблиці 4 випливає, що для досліджених екстрагентів, крім суміші «ацетонітрил – вода»: значення « n » близькі один до одного та значення « S_i » близькі один до одного. Суміш «ацетонітрил – вода» не може бути рекомендована для використання: наявність води в екстрагенті знижує здатність даного екстрагента екстрагувати АО присадку «Іонол» з МТО. Встановлено, що похибки результатів вимірювань вмісту АО присадки «Іонол» залежать від її концентрації в МТО, і в інтервалі концентрацій від 0,05 до 0,80 % масових, розрахункові відносні похибки результатів вимірювань зменшуються від 28,0 до 1,6 % відносних, відповідно.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

1. При дослідженні фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО «Тп-30» встановлено, що всі показники фізико-хімічних та теплофізичних властивостей МТО «Тп-30» відповідають встановленим нормам. При визначенні концентрації C_i для АО присадки «Іонол» в пробі МТО застосовано метод додатку АО присадки «Іонол», який полягає в тому, що в об'єм V_2 порівняльної проби аналізованого МТО додають відому кількість АО присадки «Іонол», що міститься в рідкому екстрагенті об'єму V_1 , а в об'єм V_2 робочої проби аналізованої МТО додають рідкий екстрагент об'ємом V_1 , що не містить АО присадки «Іонол». Отриманий екстракт аналізують за методом ГХ. В розрахунковій формулі при визначенні концентрації C_i для АО присадки «Іонол» в пробі МТО, значення коефіцієнту розподілу K_i для АО присадки «Іонол» не застосовуються, що спрощує виконання дослідження її вмісту в МТО. Вміст води в МТО, визначений за методами ГХ та кулонометричного титрування із реактивом К. Фішера, перевищує значення вмісту води в МТО, що визначено за методом термічної екстракції

2. При дослідженні впливу температури рідкої екстракції АО присадки «Іонол» на визначення її вмісту в МТО за методом ГХ встановлено, що залежність коефіцієнтів розподілу K_i від температури t в інтервалі температур 15–75 °С може бути виражена рівнянням $\ln K_i = A/(t+273) - B$ (де A і B – коефіцієнти); екстракцію АО присадки «Іонол» з МТО рекомендовано виконувати при температурі (20 ± 2) °С, або при температурі (65 ± 10) °С.

3. При дослідженні впливу хімічної природи екстрагента на здатність екстрагування АО присадки «Іонол» із МТО встановлено, що: в якості екстрагентів АО присадки «Іонол» із МТО можуть бути застосовані такі екстрагенти, як етанол, ізопропанол, ацетонітрил, а суміш «ацетонітрил – вода» не може бути рекомендована у якості такого екстрагенту.

Отримані результати можна використати для удосконалення процесів контролю мінеральної турбінної оливи «Тп-30» насосного агрегату системи циркуляції водного теплоносія обладнання другого контуру атомних електростанцій із водно-водним енергетичним реактором ВВЕР-1000.

Література

1. Турбинні оливи для енергетичного обладнання АЕС. Правила експлуатації: СОУ НАЕК 085:2020. – Київ : НАЕК «Енергоатом», 2020. – 53 с.
2. Ляшенко Я.А. Трибологическая система в режиме граничного трения под периодическим внешним воздействием / Я.А. Ляшенко // Журнал технической физики. – 2011. – Том 81. № 6. – С. 125–132.
3. Serdobintsev Yu.P. Development of experimental techniques for determine friction modes of sliding bearings in high-speed machines / Yu.P. Serdobintsev, D.V. Marchuk, M.Yu. Kharkov, Kuach Suan Nam // Modern high technologies. – 2016. – № 6. – P. 295–298.
4. Кухарев И.Е. Влияние электромагнитного состояния турбоагрегата на работоспособность его узлов. Диагностика, демагнетизация / И.Е. Кухарев, А.С. Борзяк // XIII Международная научно-техническая

конференція «Гервикон-2011», Міжнародний форум «Насоси-2011», Семинар «Эккон-11», 6–9 вересня 2011. – Суми : СумГУ, Україна. – С. 1–13.

5. Balitskii O.A. Hydrogen effect on the high-nickel surface steel properties during machining and wear with lubricants / O.A. Balitskii, V.O. Kolesnikov, A.I. Balitskii, J.J. Eliaz, M.R. Havrylyuk // Archives of Materials Science and Engineering. – 2020. – 104(2). – P. 49–57. – DOI: 10.5604/01.3001.0014.4894.

6. Зайцев С.В. Современные методы контроля энергетических масел и продуктов их деградации для обеспечения надежности эксплуатации маслonaполненного электрооборудования электрических станций и сетей: монография / С.В. Зайцев, В.А. Кишневский, Г.А. Оборский, И.В. Прокопович. – Одесса : «Экология», 2019. – 304 с. – ISBN 978-617-7046-80-5

7. Kuznietsov P. Improvement of methods for controlling power oil of cooling tower recycling water supply units at Rivne nuclear power plant / P. Kuznietsov, A. Tykhomyrov, O. Biedunkova, S. Zaitsev // Scientific Horizon. – 2022. – Vol. 25. No. 12. – P. 69–79. – DOI: 10.48077/scihor.25(12).2022.69-79

8. Insulating liquids. Methods for counting and sizing particles. IEC publication 60970-2007. Geneva, Switzerland. 2007. 37 p.

9. Yano A. Study on Sludge Formation during the Oxidation Process of Turbine Oils / Akihiko Yano, Shintaro Watanabe, Yasunori Miyazaki, Mitsuyoshi Tsuchiya, Yuji Yamamoto // Tribology Transactions. – 2004. – 47. – P. 111–122. – DOI:10.1080/05698190490278985

10. Игнарица Л.М. Новые требования к контролю турбинных масел / Л.М. Игнарица, Р.А. Низамеева, Н.А. Лыкова // Энергетика Татарстана. – 2012. – № 4. – С. 63–67.

11. Хужакулов А.Ф. Исследование противоизносных свойств турбинных масел с композицией присадок методом математического планирования / А.Ф. Хужакулов, Б.Н. Хамидов // Universum: технические науки: электронный научный журнал. – 2021. – 7(88). – С. 90–93. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12069>

12. Иванова Л.В. ИК-спектроскопия в анализе нефти и нефтепродуктов / Л.В. Иванова, Р.З. Сафиева, В.Р. Кошелев // Вестник Башкирского университета. – 2008. – № 4. – С. 869–874.

13. ASTM Standard D 4768-96. Standard Test Method for Analysis of 2,6-Ditertiary-Butyl Para-Cresol and 2,6-Ditertiary-Butyl Phenol in Insulating Liquids by Gas Chromatography. ASTM International. 1996. 3 p.

14. Темердашев З.А. Хроматографическое разделение и определение функциональных присадок в турбинном масле / З.А. Темердашев, Ю.А. Иванова, И.А. Кольчев, Е.С. Аверина, А.В. Руденко, И.И. Занозина // Журнал аналитической химии. – 2019. – Том 74. № 12. – С. 922–929. – DOI: 10.1134/S0044450219120132

15. Carneiro G.F., Silva R.C., Barbosa L.L., Freitas J.C.C., Sad C.M.S., Tose L.V., Vaz G.B., Romão W., de Castro E.V.R., Neto A.C., Lacerda V.Jr. Characterisation and selection of demulsifiers for water-in-crude oil emulsions using low-field NMR and ESI-FT-ICR MS. Fuel. 2015. V. 140. P. 762–772. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.10.020

16. Johnson D.W. Applications of Mass Spectrometric Techniques to the Analysis of Fuels and Lubricants. Intech open: Mass Spectrometry. Chapter 7. 2017. P. 209–228. DOI: 10.5772/intechopen.68592

17. ASTM E2412-10(2018) Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry. ASTM International. 24 p.

18. Caitlyn Da Costaa, Samuel Whitmarshb, Tom Lynchb, Colin S. Creaser. The qualitative and quantitative analysis of lubricant oil additives by direct analysis in real time-mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry. 2016. 405. P. 24–31. DOI: 10.1016/j.ijms.2016.05.011

19. Казмина Е.В. Разработка инфракрасной спектрометрической методики определения антиоксидантной присадки АГИДОЛ-1 в растворах для ее введения в дизельное топливо / Е.В. Казмина, А.Н. Смагунова, Н.П. Бутина, Е.Н. Коржова // Аналитика и контроль. – 2013. – Том 17. № 3. – С. 345–350. – DOI: 10.15826/аналитика.2013.17.3.012

20. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості: СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009. К. : КВЦ: Міністерство палива та енергетики України, 2009. – 152 с.

21. Зайцев С.В. Разработка газохроматографического метода определения в энергетических маслах и воды методом добавок / С.В. Зайцев, В.А. Кишневский, И. Д. Шуляк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 2/6(74). – С. 21–28. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40896

22. Енергетичні оливи та оливні господарства підприємств енергетичної галузі України та підприємств, де застосовується аналогічне обладнання. Організація експлуатації та технічного обслуговування. Норми та вимоги: СОУ ВЕА.100.1/01:2015. К. : Стандарт «ВЕА», 2014. – 216 с.

23. Турбінні оливи для енергетичного обладнання ВП АЕС. Технічні вимоги до якості, умов приймання та зберігання: СОУ-Н НАЕК 006-2011. К. : НАЕК «Енергоатом», 2011. – 49 с.

24. Продукти хімічні органічні рідкі. Газохроматографічний метод визначення води. Загальні вказівки: ДСТУ 2572-94. К. : Держпозживстандарт України, 1995. – 7 с.

25. Експлуатація вимірювальних трансформаторів. Настанова: СОУ-Н ЕЕ 40.1-21677681-90:2013. К. : ОЕП «ГРІФРЕ», 2014. – 56 с.

References

1. Turbinni olyvy dlia enerhetychnoho obladnannia AES. Pravyla ekspluatatsii: SOU NAEK 085:2020. – Kyiv : NAEK «Enerhoatom», 2020. – 53 s.
2. Ljashenko Ja.A. Tribologicheskaja sistema v rezhime granichnogo trenija pod periodicheskim vneshnim vozdejstviem / Ja.A. Ljashenko // Zhurnal tehnichejskoj fiziki. – 2011. – Tom 81. № 6. – S. 125–132.
3. Serdobintsev Yu.P. Development of experimental techniques for determine friction modes of sliding bearings in high-speed machines / Yu.P. Serdobintsev, D.V. Marchuk, M.Yu. Kharkov, Kuach Suan Nam // Modern high technologies. – 2016. – № 6. – R. 295–298.
4. Kuharev I.E. Vlijanie jelektronnogo sostojanija turboagregata na rabotosposobnost' ego uzlov. Diagnostika, demagnitezacija / I.E. Kuharev, A.S. Borjak // XIII Mezhdunarodnaja nauchno-tehnichejskaja konferencija «Gervikon-2011», Mezhdunarodnyj forum «Nasosy-2011», Seminar «Jekkon-11», 6–9 sentjabrja 2011. – Sumy : SumGU, Ukraina. – S. 1–13.
5. Balitskii O.A. Hydrogen effect on the high-nickel surface steel properties during machining and wear with lubricants / O.A. Balitskii, V.O. Kolesnikov, A.I. Balitskii, J.J. Elias, M.R. Havrylyuk // Archives of Materials Science and Engineering. – 2020. – 104(2). – R. 49–57. – DOI: 10.5604/01.3001.0014.4894.
6. Zajcev S.V. Sovremennye metody kontrolja jenergeticheskikh masel i produktov ih degradacii dlja obespechenija nadezhnosti jekspluatatsii maslonapolnennogo jelektroroborudovanija jelektricheskikh stancij i setej: monografija / S.V. Zajcev, V.A. Kishnevskij, G.A. Oborskij, I.V. Prokopovich. – Odessa : «Jekologija», 2019. – 304 s. – ISBN 978-617-7046-80-5
7. Kuznietsov P. Improvement of methods for controlling power oil of cooling tower recycling water supply units at Rivne nuclear power plant / P. Kuznietsov, A. Tykhomyrov, O. Biedunkova, S. Zaitsev // Scientific Horizon. – 2022. – Vol. 25. No. 12. – R. 69–79. – DOI: 10.48077/scihor.25(12).2022.69-79
8. Insulating liquids. Methods for counting and sizing particles. IES publication 60970-2007. Geneva, Switzerland. 2007. 37 r.
9. Yano A. Study on Sludge Formation during the Oxidation Process of Turbine Oils / Akihiko Yano, Shintaro Watanabe, Yasunori Miyazaki, Mitsuyoshi Tsuchiya, Yuji Yamamoto // Tribology Transactions. – 2004. – 47. – R. 111–122. – DOI:10.1080/05698190490278985
10. Ignarina L.M. Novye trebovanija k kontrolju turbinnih masel / L.M. Ignarina, R.A. Nizameeva, N.A. Lykova // Jenergetika Tatarstana. – 2012. – № 4. – S. 63–67.
11. Huzhakulov A.F. Issledovanie protivozisnosnyh svojstv turbinnih masel s kompoziciej prisadok metodom matematicheskogo planirovanija / A.F. Huzhakulov, B.N. Hamidov // Universum: tehnichejskie nauki: jelektronnij nauchnyj zhurnal. – 2021. – 7(88). – S. 90–93. – URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/12069>
12. Ivanova L.V. IK-spektrometrija v analize nefi i nefteproduktov / L.V. Ivanova, R.Z. Safieva, V.R. Koshelev // Vestnik Bashkirskogo universiteta. – 2008. – № 4. – S. 869–874.
13. ASTM Standard D 4768-96. Standard Test Method for Analysis of 2,6-Ditertiary-Butyl Para-Cresol and 2,6-Ditertiary-Butyl Phenol in Insulating Liquids by Gas Chromatography. ASTM International. 1996. 3 p.
14. Temerdashev Z.A. Hromatograficheskoe razdelenie i opredelenie funkcional'nyh prisadok v turbinnom masle / Z.A. Temerdashev, Ju.A. Ivanova, I.A. Kolychev, E.S. Averina, A.V. Rudenko, I.I. Zanozina // Zhurnal analiticheskoi himii. – 2019. – Tom 74. № 12. – S. 922–929. – DOI: 10.1134/S0044450219120132
15. Carneiro G.F., Silva R.C., Barbosa L.L., Freitas J.C.C., Sad C.M.S., Tose L.V., Vaz G.B., Romão W., de Castro E.V.R., Neto A.C., Lacerda V.Jr. Characterisation and selection of demulsifiers for water-in-crude oil emulsions using low-field H NMR and ESI-FT-ICR MS. Fuel. 2015. V. 140. P. 762–772. DOI: 10.1016/j.fuel.2014.10.020
16. Johnson D.W. Applications of Mass Spectrometric Techniques to the Analysis of Fuels and Lubricants. Intech open: Mass Spectrometry. Chapter 7. 2017. P. 209–228. DOI: 10.5772/intechopen.68592
17. ASTM E2412-10(2018) Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry. ASTM International. 24 r.
18. Caitlyn Da Costaa, Samuel Whitmarshb, Tom Lynchb, Colin S. Creaser. The qualitative and quantitative analysis of lubricant oil additives by direct analysis in real time-mass spectrometry. International Journal of Mass Spectrometry. 2016. 405. R. 24–31. DOI: 10.1016/j.ijms.2016.05.011
19. Kaz'mina E.V. Razrabotka infrakrasnoj spektrometricheskoi metodiki opredelenija antiokchidantnoj prisadki AGIDOL-1 v rastvorah dlja ee vvedenija v dizel'noe toplivo / E.V. Kaz'mina, A.N. Smagunova, N.P. Butina, E.N. Korzhova // Analitika i kontrol'. – 2013. – Tom 17. № 3. – S. 345–350. – DOI: 10.15826/analitika.2013.17.3.012
20. Pryimannia, zastosuvannia ta ekspluatatsiia transformatornykh masel. Normy otsiniuvannia yakosti: SOU-N EE 43.101:2009. K. : KVITS: Ministerstvo palyva ta enerhetyky Ukrainy, 2009. – 152 s.
21. Zajcev S.V. Razrabotka gazohromatograficheskogo metoda opredelenija v jenergeticheskikh maslah ionola i vody metodom dobavok / S.V. Zajcev, V.A. Kishnevskij, I. D. Shuljak // Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij. – 2015. – № 2(6)(74). – S. 21–28. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.40896
22. Enerhetychni olyvy ta olyvni gospodarstva pidpriemstv enerhetychnoi haluzi Ukrainy ta pidpriemstv, de zastosovuietsia analohichne obladnannia. Orhanizatsiia ekspluatatsii ta tehnichejskoho obsluhovuvannia. Normy ta vymohy: SOU VEA.100.1/01:2015. K. : Standart «VEA», 2014. – 216 s.
23. Turbinni olyvy dlia enerhetychnoho obladnannia VP AES. Tehnichejski vymohy do yakosti, umov pryimannia ta zberihannia: SOU-N NAEK 006-2011. K. : NAEK «Enerhoatom», 2011. – 49 s.
24. Produkty khimichni orhanichni ridki. Hazokhromatohrafichnyi metod vyznachennia vody. Zahalni vkazivky: DSTU 2572-94. K. : Derzhpozhyvstandart Ukrainy, 1995. – 7 s.
25. Ekspluatatsiia vymiriuvalnykh transformatoriv. Nastanova: SOU-N EE 40.1-21677681-90:2013. K. : OEP «HRIFRE», 2014. – 56 s.