

УДК 621.313

**ВИЗНАЧЕННЯ ВОЛОГОВМІСТУ ТРАНСФОРМАТОРНОГО  
МАСЛА ОПТИЧНИМИ МЕТОДАМИ**

*О. І. Лобода, кандидат технічних наук*

*Таврійський державний агротехнологічний університет*

*e-mail: aleks\_loboda@mail.ru*

**Анотація.** Виконано аналіз сучасних методів визначення вологовмісту трансформаторних масел, розглянуто оптичний метод, заснований на залежності оптичних властивостей діхлориду кобальту від кількості вологи в трансформаторному маслі.

**Ключові слова:** *волога, діхлорид кобальту, ізоляція, спектр поглинання, трансформаторне масло*

Вплив вологи на властивості трансформаторного масла достатньо вивчено та охарактеризовано [1,2]. Значення вологовмісту є одним з вагомих критеріїв якості трансформаторного масла і критерієм для визначення причин погіршення діелектричних властивостей як самого трансформаторного масла (ТМ), так і твердої ізоляції трансформаторів. Тому важливим питанням є аналіз існуючих методів кількісного визначення вмісту вологи в ТМ.

Гранично допустима частка води в ТМ приблизно складає 10...20 грамів води на тонну масла [1, 2]. При великих концентраціях води виникає ризик виходу з ладу силових трансформаторів. Визначити таку малу частку вологи дуже складно, тому постійно розробляються нові й удосконалюються існуючі аналітичні методи, що використовуються на практиці для визначення вологовмісту.

**Мета досліджень** – встановлення впливу вологи на оптичні властивості діхлориду кобальту.

**Матеріали та методика досліджень.** Поява води у маслі є передвісником

прискореного виходу з ладу силового трансформатора і на практиці вказує на незадовільний нагляд за електротехнічним обладнанням або старіння масла.

Нині розрізняють наступні форми води в ТМ:

– вода, осаджена на дно охолоджувального резервуара – не становить прямої небезпеки для пробивної напруги масла, але є неприпустимою тому, що вказує на присутність розчиненої води;

– розчинена вода – сильно знижує пробивну напругу і потрапляє в масло зазвичай із повітря;

– зв'язана вода – є первинною ознакою старіння масла і утворюється в результаті окислення масла. При високому нагріванні, який буває між обмотками і сталевим сердечником трансформатора, розчинена вода переходить в пароподібний стан;

– вода у вигляді емульсії – суміш масла з субмікроскопічними крапельками води, які не можуть бути відокремлені від масла ні нагріванням, ні відстоєм, ні фільтруванням.

Для визначення вологовмісту трансформаторних масел застосовуються такі методи:

- гідродкальцієвий метод [1, 2];
- титрування за Карлом Фішером (КФ) [3];
- газова хроматографія [4];
- мас-спектрометрія [5];
- фото-акустична спектроскопія тощо.

У кожного з перерахованих методів є свої переваги і недоліки. Наприклад, гідродкальцієвий метод досить простий і поширений, але не визначає емульсійну воду, а метод мас-спектрометрії володіє високою точністю, але в той же час із-за великої вартості і складності обладнання ускладнюється його використання.

**Результати досліджень.** У науковій літературі [7] регулярно публікуються огляди оптичних датчиків для визначення вологості як

газоподібних, так і у рідких середовищах. Діхлорид кобальту (II) – один з найчастіше використовуваних оптичних сенсорів води. Він гігроскопічний, а його кристалогідрати  $\text{CoCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  ( $n = 1, 2, 4, 5, 6$ ): синьо-фіолетовий моногідрат; фіолетовий дігідрат; темно-червоний тетрагідрат; червоний пентагідрат; рожевий гексагідрат – змінюють свій колір залежно від кількості води.

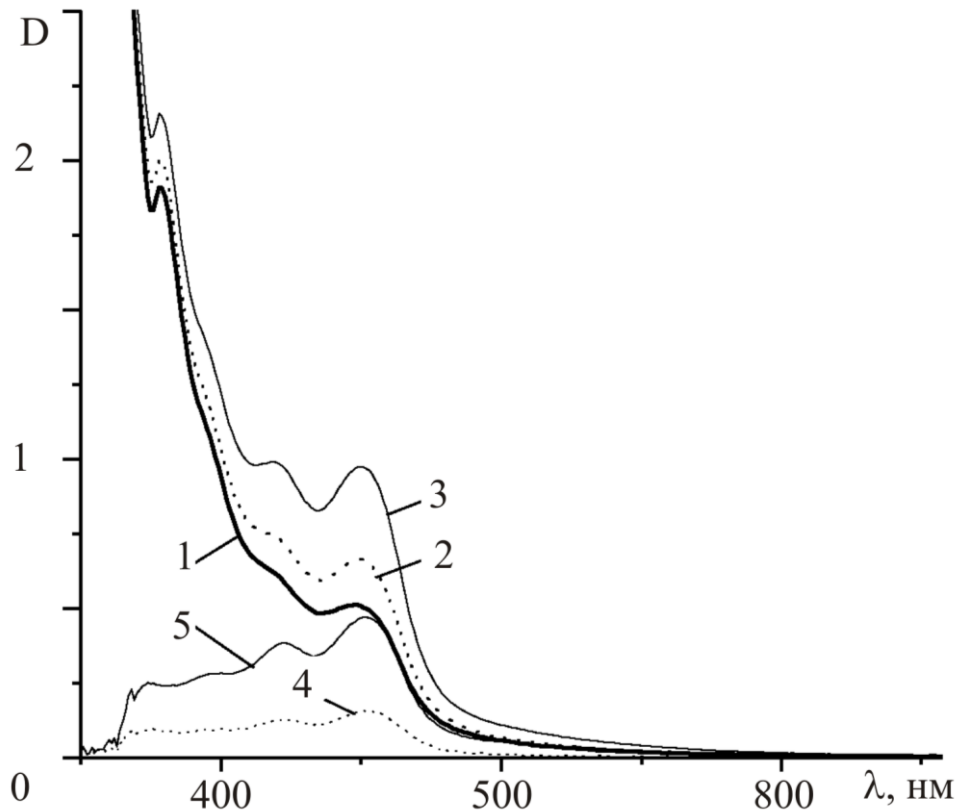
Для тестування чутливості оптичного датчика проведено якісний експеримент: додано безводний  $\text{CoCl}_2$  у свіже трансформаторне масло і проаналізовано зміни в спектрах поглинання у видимому та УФ - діапазонах.

Спектри поглинання УФ та видимого діапазону записані при кімнатній температурі в кюветах товщиною 10 мм на спектрофотометрі СФ-46 в діапазоні довжин хвиль ( $\lambda$ ) 190...1100 нм зі швидкістю 600 нм/хв при ширині щілини 1,0 нм. Положення ліній в спектрах наводиться з точністю  $\pm 2,5$  нм.

Спектр поглинання свіжого ТМ (1) докладно описаний в [6], на представленому рисунку лінії поглинання при  $\lambda = 450$  і  $\lambda = 420$  нм відносяться до нафтаценових, а при  $\lambda = 380$  нм – до антраценових з'єднань. Різка зміна оптичної густини поблизу довжини хвилі  $\lambda = 400$  нм виникає за рахунок поглинання і розсіювання випромінювання структурними неоднорідностями (колоїдними, міцелярними твердими частинками) в трансформаторному маслі. Розчинення в маслі порошку  $\text{CoCl}_2$  призводить до підвищення оптичної щільності при довжині хвилі в діапазоні 360...490 нм (2), а збільшення вологовмісту призводить до зростання інтенсивності цієї смуги поглинання (3).

Пропонується два можливих варіанти пояснення змін у спектрі. Перший варіант:  $\text{CoCl}_2$  утворює з водою кристалогідрати в трансформаторному маслі (400-550 нм – діапазон поглинання  $\text{CoCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  близький до 360-490 нм).

Другий варіант: змінюється інтенсивність поглинання три- і тетрациклічних вуглеводневих сполук внаслідок утворення молекулярних комплексів з водою і діхлоридом кобальту, так як саме ароматичні сполуки визначають гідрофільність трансформаторного масла.



**Рис. Спектри поглинання (D - оптична щільність) трансформаторного масла:**

1 – нове ТМ; 2 – нове ТМ з додаванням безводного порошку  $\text{CoCl}_2$ , 3 – нове ТМ з додаванням безводного порошку  $\text{CoCl}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$ , 4 – різниця спектрів 2 і 1; 5 – різниця спектрів 3 і 1

Для подальшого вибору правильного варіанту планується виконати додаткові дослідження з визначення діапазону вологовмісту. Однак отримані результати дозволяють стверджувати, що оптичний метод визначення вологовмісту ТМ з допомогою  $\text{CoCl}_2$  володіє дуже високою чутливістю і досить перспективний для вирішення завдань силової енергетики.

### **Висновки**

Проведено аналіз існуючих методів визначення вологовмісту трансформаторних масел, запропоновано до використання оптичний метод,

заснований на залежності оптичних властивостей дихлориду кобальту від вологовмісту. Показана висока сприйнятливність запропонованого методу та можливість практичного використання.

### **Список літератури**

1. Липштейн Р. А. Трансформаторное масло / Р. А. Липштейн, М. И. Шахнович. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 296 с.
2. Михеев Г. М. Трансформаторное масло / Г. М. Михеев. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2003. – 148 с.
3. Масла и смазки. Метод определения растворенной воды: ГОСТ 7822 - 75. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002.
4. Царев Н. И. Практическая газовая хроматография / Н. И. Царев, В. И. Царев, И. Б. Катраков. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2000. – 156 с.
5. Хмельницкий Р. А. Методы аналитической химии. Хромато-масс-спектрометрия / Р. А. Хмельницкий, Е. С. Бродский. – М.: Химия, 1984. – 10 с.
6. Козлов В. К. Трансформаторное масло и современная физика / В. К. Козлов, А. Н. Туранов // Диэлектрики и электрическая изоляция. – 2012. – Т. 19, вып. 5. – С. 1485-1497.
7. Фрайден Дж. Современные датчики. Справочник / Дж. Фрайден. – М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГОСОДЕРЖАНИЕ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА ОПТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

*А. И. Лобода*

**Аннотация.** Выполнен анализ современных методов определения влагосодержания трансформаторных масел, рассмотрен оптический метод, основанный на зависимости оптических свойств дихлорида кобальта от количества влаги в трансформаторном масле.

**Ключевые слова:** *влажность, дихлорид кобальта, изоляция, спектр*

*поглощения, трансформаторное масло*

**DETERMINATION OF MOISTURE CONTENT OF TRANSFORMER  
OIL BY OPTICAL METHODS**

*A. Loboda*

**Annotation.** *The analysis of modern methods of determining moisture content of transformer oils, are considered an optical method based on the dependence of the optical properties of the cobalt dichloride, the amount of moisture in transformer oil.*

**Key words:** *humidity, dichloride, cobalt, insulation, absorption spectrum, transformer oil*