

Вінницький національний аграрний університет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Дисципліна: “Діагностика електрообладнання” (КСДО)

ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОЇ ОЛИВИ ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЇЇ ЗВОЛОЖЕННЯ



Лектор

Рубаненко Олександр Євгенійович, к.т.н., професор

План заняття

1. Актуальність діагностування трансформаторних олив
2. Розподіл вологи в обладнанні.
3. Оцінювання ступеня зволоження по температурній міграції вологи в оливу.
4. Методологія діагностування діагностованого обладнання.
5. Мета контролю діагностованого обладнання.
6. Мета контролю зволоження ізоляції
7. Умови проведення діагностування
8. Вимоги до діагностування
9. Оцінювання вологовмісту
10. Процедура випробовувань оливи
11. Оцінювання вологості бар'єрів за даними вимірювання опору ізоляції

Актуальність

2

Умови інтегрування України у світову спільноту ставлять перед структурними елементами аграрного сектору нові завдання, пов'язані з ефективністю їх побудови і використання.

За таких умов велику роль відіграє якісна організація експлуатації електричного обладнання підприємств АПК.

Існуючі форми і методи експлуатації електрообладнання, що використовуються у сільськогосподарських підприємствах, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам виробництва. Дослідження результатів технічного прогресу в галузі методів та засобів технічної експлуатації свідчать про виникнення проблем, пов'язаних **з безпекою праці**, з зменшенням техногенного тиску на довкілля, з раціональним використанням виробничих ресурсів.

Трансформаторна олива є часто використовуваним видом ізоляції багатьох видів високовольтного обладнання, наприклад: силових трансформаторів, вимірювальних трансформаторів, конденсаторів зв'язку, шунтових реакторів, регуляторів напруги і т.п.

Пошкоджуваність цих видів обладнання свідчить про необхідність вивчення методів та засобів контролю стану оливи під час експлуатації. Тому тема лекції – **актуальна**.

Сучасна електроенергетика широко застосовує маслонаповнене електроенергетичне обладнання (МН ЕЕО) - трансформатори (реактори) напругою 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750 і 1150 кВ, а також і ін. устаткування потужністю 4000 і 6300 кВА класу напруги 35 кВ.

МН ЕЕО застосовуються у на різних підприємствах, в тому числі і для ліній електропередач напругою змінного і постійного струму. У забезпеченні надійності робіт МН ЕЕО важливу, якщо не одну з основних, відіграє система ізоляції.

Удосконалення ізоляції високої напруги, викликане якістю МН ЕЕО, визначається удосконаленням технології її сушіння та дегазації в разі необхідності регенерації. Основними питаннями якості обробки ізоляції є питання, пов'язані з видаленням води, газів та інших шкідливих домішок, присутніх в ізоляції, як у твердій, так і в рідкій фазах.

Так, наприклад, рідка ізоляція перед заливанням в МН ЕЕО напругою 750 і 1150 кВ повинна містити вологи близько 5 г/тону, газу менше 0,1 % (об'єму) і механічних домішок менш 5 г/тону. Забезпечити такі вимоги можна, застосувавши технологічний метод термовакuumної обробки ізоляції використовуючи вакуум-дегазаційні установки і установки по регенерації, тобто метод відновлення і сушіння всієї системи ізоляції.

В останні роки в енергосистемах проявляється великий інтерес до вакуум – дегазаційного устаткування і його широко використовують при підготовці і обробці трансформаторних масел

Види оливнонаповненого електроенергетичного устаткування

4

Обладнання

- Оливні вимикачі
- Силові трансформатори
- Оливні трансформатори струму
- Оливні трансформатори напруги
- Оливні конденсатори зв'язку
- Оливні шунтуючі реактори
- Випробовувальні трансформатори
- Інші види обладнання



Порівняльний аналіз старіння оливи

5



1. При заміні оливи очищенню підлягає лише олива.
2. Целюзна ізоляція не очищується.
3. Ресурс целюзної ізоляції за рахунок «не вимивання» з неї продуктів старіння не зростає.
4. **Не осушується** целюзна ізоляція.
5. Потрібно зливати оливу.
6. Потрібні витрати на створення тимчасового оливого господарства, транспортні витрати.

7. Втрати оливи при збиранні та розбиранні додаткового обладнання тимчасового оливого господарства, додаткові витрати на обробку посудин.
8. 15 % оливи залишається в адсорбенті.
9. Заливання регенованого оливи в не осушену целюзну ізоляцію призводить до швидкого погіршення параметрів нового залитої оливи.
10. Не ефективно фільтруються мілкі, механічні домішки. В регенованій оливі значну кількість мілких (менше 5 мкм) механічних домішок, які є полярними продуктами. Ці домішки концентрують в собі кислі продукти старіння оливи і тому процес деструкції масла значно прискорюється.
11. Не дозволяє екологічно безпечно регенерувати адсорбент в самому обладнанні, і тому адсорбент необхідно утилізувати.
12. Робота трансформатора припиняється на час заміни оливи, тому потрібні додаткові оперативні заходи, які можуть погіршити надійність функціонування електроенергетичної системи.

Причини погіршення властивостей ізоляції силових оливонаповнених трансформаторів та реакторів

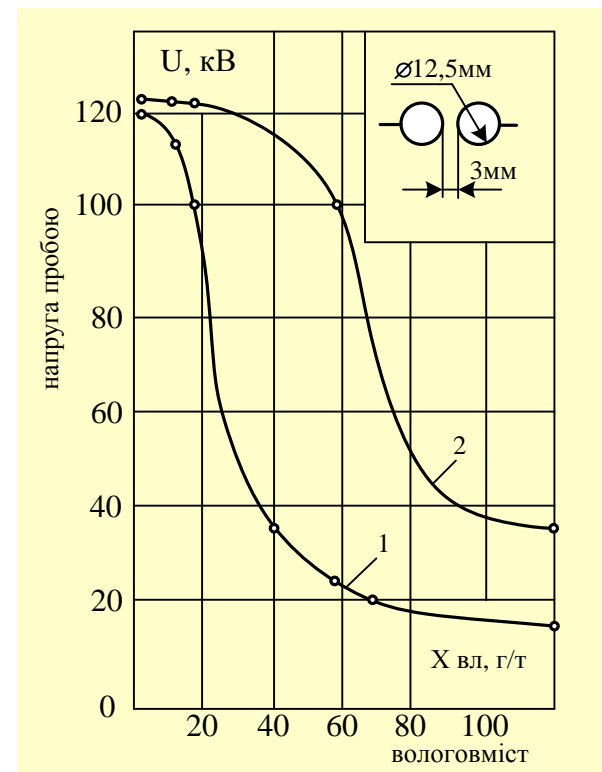
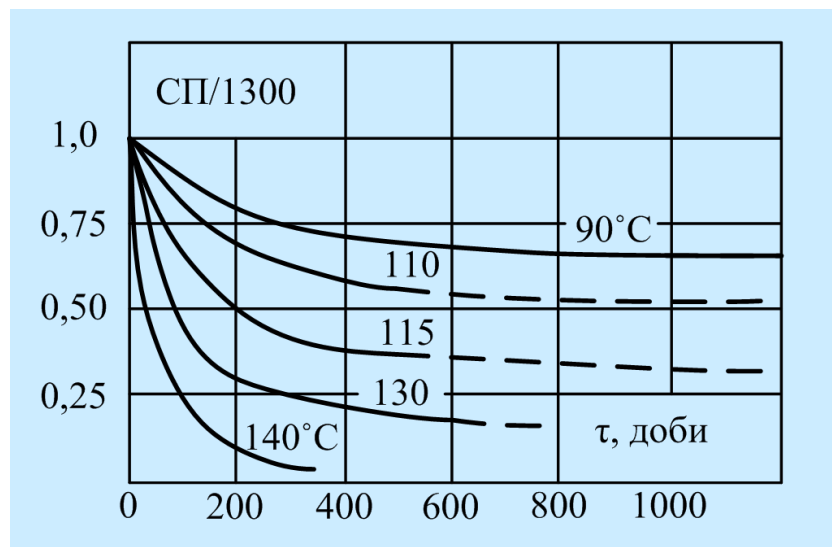
Невеликі нагриви в трансформаторах прискорюють процес старіння ізоляції так само, як і перегриви, за рахунок накопичення води.

Вміст кисню без води не істотно прискорює старіння ізоляції.

Продукти старіння кислотного і полярного характеру прискорюють старіння целюлозної ізоляції.

Ознаки погіршення стану масла

– наявність в маслі: води, газів (етан, метан, етилен, ацетилен та інших), волокон целюлози, окалин металів, оксидів і т.п.



Старіння просоченого маслом паперу в залежності від часу і температури

Розподіл вологи в обладнанні



Внаслідок повільного протікання процесу дифузії вологи в ізоляції, основна маса вологи у міру проникнення з навколишнього повітря зосереджується переважно в тонкій ізоляційній структурі.

Істотний нерівномірний розподіл вологи в ізоляційних деталях зберігається протягом всього періоду експлуатації обладнання.

У ряді випадків, особливо в погано герметизованому устаткуванні, можливе проникнення води і концентрація її на дні бака.

У працюючому обладнанні різниця температур окремих зон обумовлює різницю у відносній вологості масла поблизу поверхні ізоляції.

Волога, що виділяється в процесі старіння, також розподіляється нерівномірно, мігруючи із зони найбільшого зносу в зони нижчих температур.

Вищезгадані обставини обумовлюють складність діагностування ступеня зволоження, і відповідно, необхідність застосування різноманітних методів.

Оцінювання ступеня зволоження по температурній міграції вологи в оливу



Метод, розроблений НІЦ ЗТЗ-сервіс і отримав назву Water Heal Run Test (WHRT). Він припускає оцінку вірогідності зниження запасів електричної міцності внаслідок забруднення масла вологою і домішками, а також оцінку ступеня зволоження обладнання на основі вимірювань примусової температурної міграції вологи і домішок після нагріву обладнання внутрішніми втратами до максимальної робочої температури.

Діагностоване обладнання під навантаженням нагрівається за допомогою зменшення інтенсивності охолодження з метою зниження відносної вологості масла і створення «потенціалу вологості» в поверхневих шарах ізоляції, стимулюючи виділення вологи в масло, і витримується протягом деякого часу при періодичному контролі вологовмісту масла або відносної вологості масла, а також пробивної напруги масла.

Мета та задачі лекції; предмет і об'єкт вивчення.



МЕТА лекції: формування поглиблених знань студентів про методи та засоби діагностування трансформаторної оливи високовольтного обладнання підприємств АПК.

ЗАДАЧІ ЛЕКЦІЇ:

- вивчити призначення та конструктивні особливості діагностичного обладнання,
- ознайомитись з вимогами процесу діагностування трансформаторних олив та контролю вмісту вологи в високовольтному обладнанні;
- знати та вміти застосовувати сучасні методи контролю вмісту вологи у трансформаторній оливі.

Предметом вивчення є правила, способи та засоби діагностування високовольтного обладнання за вмістом вологи в його трансформаторній оливі в умовах сільського господарства.

Об'єктом вивчення є методи надійної експлуатації оливи наповненого електрообладнання підприємств АПК.

- 1 Дослідження призначення діагностованого обладнання (ДО)
- 2 Дослідження конструктивних особливостей ДО
- 3 Аналіз умов експлуатації ДО
- 4 Аналіз пошкоджень ДО
- 5 Методи діагностування ДО
- 6 Засоби діагностування ДО

Мета контролю зволоження ізоляції

11

- оцінювання стану ізоляції при найбільшій робочій температурі по зміні параметрів масла;
- оцінювання рівня зволоження ізоляції шляхом вимірювання вологи, що виділяється в масло при підвищенні температури і витримці протягом певного часу;
- оцінювання вірогідності зниження електричної міцності масла внаслідок зволоження механічних домішок (целюлозних волокон) вологою, що виділилась з ізоляції в масло;
- оцінювання розподілу вологи в твердій ізоляції за допомогою вимірювання швидкості виділення вологи в масло.

Умови проведення діагностування.

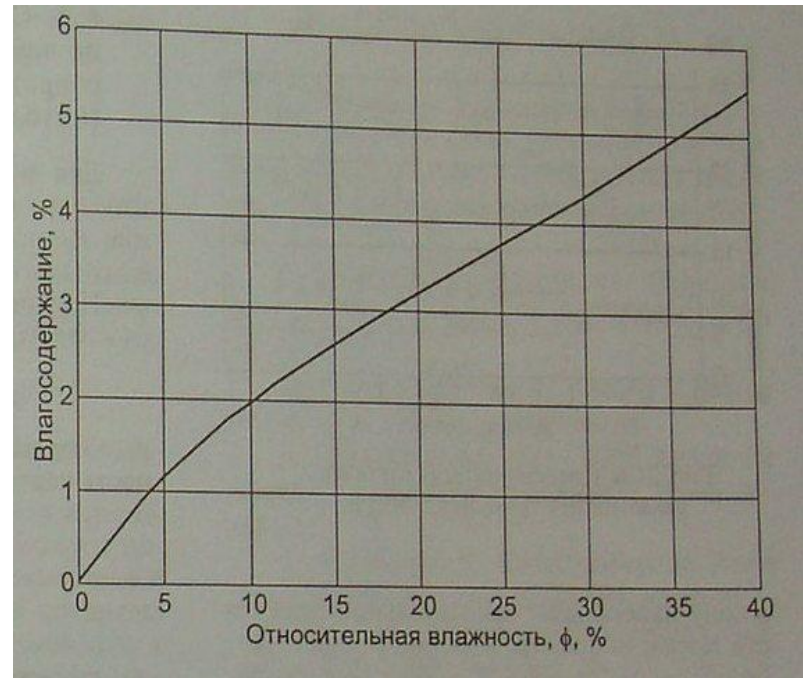
12

Температура повинна бути достатньо високою для того, щоб отримати помітне збільшення вологості масла за рахунок десорбції води з вологих зон.

Значення відносної вологості масла повинне бути нижче за рівноважне значення згідно ізотерм сорбції води.

Кількість виділеної води повинна бути достатньо велика, щоб мати можливість її виміряти.

Вважаючи бажану швидкість виділення води >10 ppm/доба, можна показати, що вологість масла повинна відповідати рівноважному вологовмісту поверхневих шарів не більше 1,5, а відповідна температура - не нижче 60-65 °C.



Ізотерма сорбції води при температурі 70 °C.

Тривалість витримки обладнання при заданій температурі повинна бути чималою, щоб забезпечити дифузію помітної кількості вологи з поверхневих шарів ізоляції в масло. Досвід показує, що якщо вологовміст ізоляції більше 2 - 2,5 %, досить витримати її при розрахунковій температурі 24 години.

Основою для оцінювання ступеня зволоження є ізотерма сорбції целюлозного матеріалу. Ізотерми сорбції різні для електрокартону різної щільності, кабельного паперу, а також для різних температур. Крім того, ізотерма сорбції відрізняється від ізотерми десорбції. Тому оцінювання параметрів зволоження, певною мірою умовна.

Для практичних цілей, оцінювання рівноважної вологості, особливо в досліді WHRT, може бути використана крива, побудована для температури 70 ° C, що дозволяє оцінити малі значення рівноважної вологості.

Вважаючи, що основним джерелом вологи є тонка ізоляційна структура, переважно бар'єрна ізоляція, вологовміст її оцінюється з рівняння

$$W_k \approx W_e + (5 \div 10) \cdot W_m [\%]$$

$$W_k \approx W_e + (5 \div 10) \cdot W_m [\%]$$

W_e - рівноважний вологовміст, —
 W_m - кількість води, що
виділилась за 24 години,
віднесена до маси бар'єрів.
Коефіцієнт при ΔW_m приймається
рівним 10, якщо товщина бар'єрів
2 мм і менше, і 5 - якщо товщина
бар'єрів 3 мм і більше.

Процедура випробовувань оливи

16

Перед початком прогріву на час випробувань на кожному адсорбційному фільтрі перекривають один кран для виключення потоки масла і адсорбції вологи з масла силікогелем або десорбції вологи з силікагеля, якщо останній зволожений.

Процес нагріву обладнання регулюють шляхом відключення частині вентиляторів системи охолодження. Швидкість підвищення температури підтримується на рівні не більше 5 °С/год. Стабільність температури при витримці забезпечують шляхом зміни числа працюючих вентиляторів.

В процесі прогріву кожні 1- 2 години реєструють наступні параметри:

температуру верхніх шарів масла в баку обладнання і навколишнього повітря;

рівень масла в розширювачі;

тиск масла у вводах;

стан системи охолодження (кількість включених вентиляторів).

Процедура випробовувань оливи

17

Відбір проб масла з бака обладнання на вологовміст і пробивну напругу, проводять перед прогрівом, досягши розрахункової температури 65—70°C (0 годин) і через 12, 24, 48 і 72 години після досягнення температури витримки.

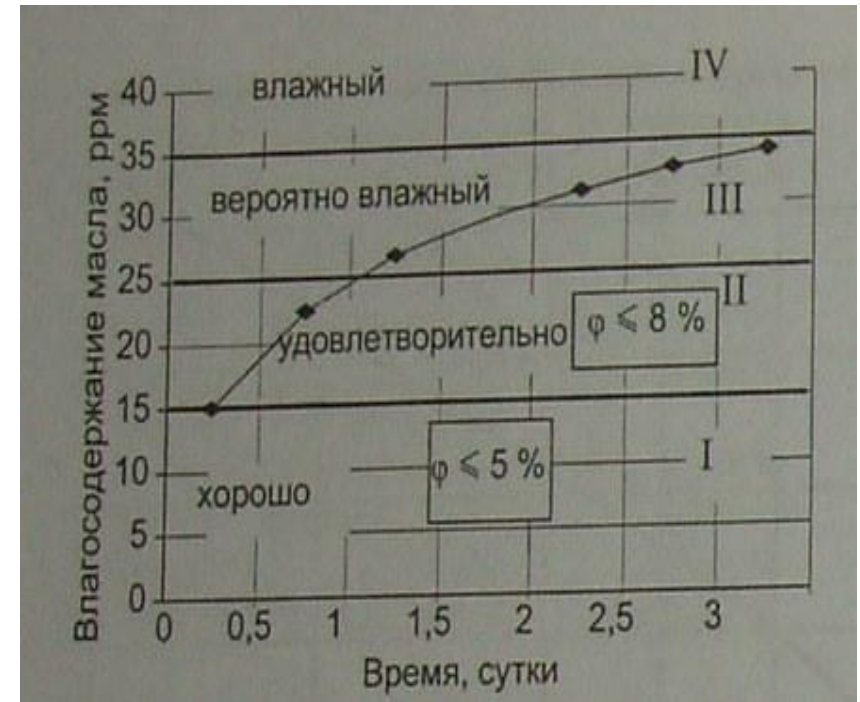
Інтенсивне виділення води в масло при прогріві до порівняно низької температури, зазвичай є свідомством наявності вільної води в маслі.

Використання датчиків безперервного вимірювання вологості дозволяє зручніше під'єднати, до нижньої частини бака в зону найбільшої відносної вологості масла, наприклад, до зливної засувки.

Класифікація станів обладнання

18

Найбільш важливою перевагою методу WHRT є можливість оцінювання стану електроізоляційної системи з погляду можливого зниження запасів електричної міцності. На рис. приведені орієнтовні критерії стану обладнання за наслідками досвіду WHRT



Оцінювання вологості бар'єрів за даними вимірювання опору ізоляції (методика НВЦ ЗТЗ - Сервіс)

19

Для оцінювання середнього вологовмісту ізоляції використовуються результати вимірювання проміжку між обмотками, бажано, при температурі 50-70°C.

Зміряне значення R_{BH-HH} приводиться до температури 20 °C

$$R_{60}(20) = R_{60}(t) * e^{0.05(t-20)}$$

Визначається питома електропровідність картону

$$\gamma_k = \frac{1}{R_{60}(20) * \Lambda_{МБИ}}, \quad \Lambda_{МБИ} = A * \left(B + \frac{1}{1 + \alpha} \right)$$

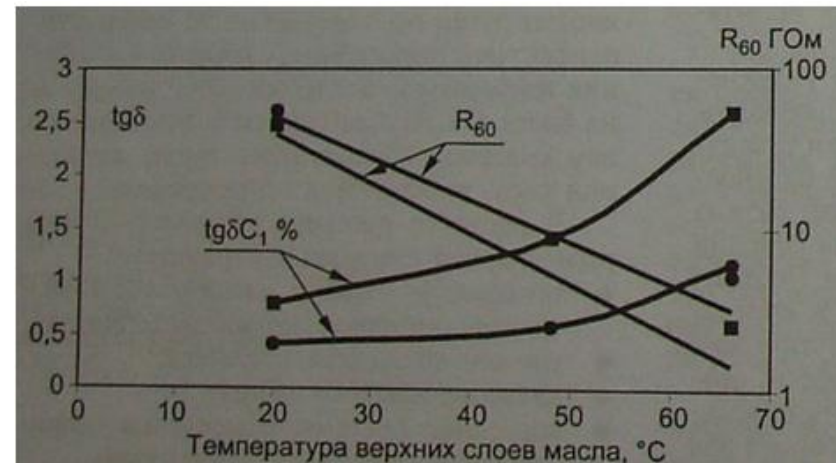
Розраховується середній вологовміст картону

У зв'язку з припущенням, результати оцінювання вологовмісту по такій методиці мають велику похибку.

Оцінювання вологості бар'єрів

Коефіцієнти A і B залежать від конструкції обладнання. У випадку, якщо параметри конструкції невідомі, для орієнтовного оцінювання можна прийняти $A = 1000$ для 3-х фазного обладнання і $A = 500$ - для однофазного конденсатора ($\text{tg}(\delta_{C2})$) при збільшенні тангенса кута втрат масла у ввіді із спеціальним виводом ПІН.

$$B = 0,07 \text{ і } \alpha = \frac{0,25}{\text{tg} \delta_{m70^\circ \text{C}}}$$



Характеристики ізоляції вводів із зволоженою ізоляцією



Зміна тангенса кута втрат C1 ($\text{tg}(\delta_{C1})$) та ПІН

21



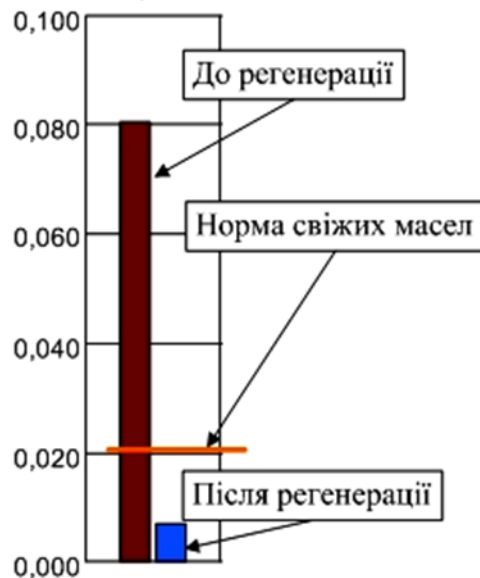
Теплообмінник (олійно-водяний охолоджувач серії Ц, використовується в якості нагрівача насиченою водяною парою): 1 - патрубок входу пари; 2 - пробка спуску конденсату, 3 - парова камера, 4 - патрубок виходу пари (конденсата); 5 - трубна дошка; 6 - трубки; 7 - діафрагма; 8 - кронштейн; 9 - корпус теплообмінника; 10 - патрубок входу масла; 11 - манометр, 12 - термодатчик; 13 - пробка випуску повітря; 14 - патрубок виходу оливи.

Результати очищення оливи мобільною установкою E575R «FLUIDEX»

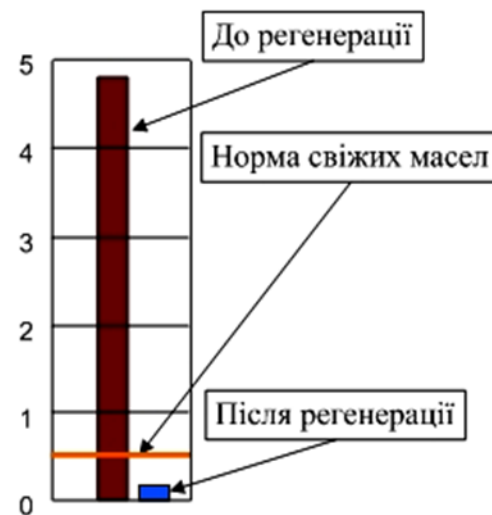


Параметр	До обробки	Після обробки
Колір, одиниць ЦНТ	4,5	2,5
Кислотне число мг КОН на 1 грам масла	0,23	0,011
tg δ при 90 °C , %	56,5	1,276
Вологовміст, грам на тонну	58	14

Кислотне число, мг КОН на 1 г масла



Тангенс кута діелектричних втрат tg δ , %



Розрахунок вартості робіт

Відомо:

олива марки типу ГК,
трансформатор ТДТН
25000/110. вартість 1 кг
оливи марки ГК (за цінами
на 30 листопада 2013
року) становить 18 грн,
кількість оливи в баку
трансформатора – 24000
кг,

кислотне число 0,22 мг
КОН в одному грамі
масла;

tg δ (при температурі
масла 90°C) – 10%;
вартість регенерації – 50%
від вартості якісної
(«свіжої») оливи

**Вартість оливи ГК в баку трансформатора
ТДТН 25000/110:**

$$B_{\text{М ТДТН 25000/110}} = 18 \cdot 24000 = 432000 \text{ грн.}$$

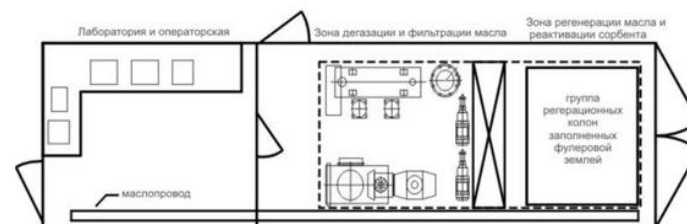
Вартість робіт з регенерації оливи:

$$B_{\text{РЕГЕНЕРАЦІЇ}} = 50 \cdot 432000 / 100 = 216000 \text{ грн.}$$

	Кислотне число КОН, мг в 1 г масла	tg δ масла при температурі масла 90 °C		
		до 10%	10%-15%	більше 15%
Автотрансформатор АДТЦТІ-125/220 (60000 кг масла)	0,20-0,25	420000	504000	588000
	0,1-0,2	336000	420000	504000
	0,06-0,1	252000	336000	420000

Існуючі засоби з видалення вологи та очищення оливи

24



Існуючі форми і методи експлуатації електрообладнання, що використовуються у сільськогосподарських підприємствах, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам виробництва.

Пошкоджуваність цих видів обладнання свідчить про необхідність вивчення методів та засобів контролю стану оливи під час експлуатації

Трансформаторна олива є часто використовуваним видом ізоляції багатьох видів високовольтного обладнання

Удосконалення ізоляції високої напруги передбачає використання технологій її сушіння, дегазації та регенерації. Основними питаннями якості обробки ізоляції є питання, пов'язані з видаленням води.

За «старими» методами експлуатації при заміні оливи очищенню підлягає лише олива, целюлозна ізоляція не очищується.

Невеликі нагріви в трансформаторах прискорюють процес старіння ізоляції так само, як і перегріви, за рахунок накопичення вологи.

Вміст кисню без вологи не істотно прискорює старіння ізоляції.

Продукти старіння кислотного і полярного характеру прискорюють старіння целюлозної ізоляції.

Висновки (продовження)

26

Існуючі форми і методи експлуатації електрообладнання, що використовуються у сільськогосподарських підприємствах, не в повній мірі відповідають сучасним вимогам виробництва.

Пошкоджуваність цих видів обладнання свідчить про необхідність вивчення методів та засобів контролю стану оливи під час експлуатації

Трансформаторна олива є часто використовуваним видом ізоляції багатьох видів високовольтного обладнання

Удосконалення ізоляції високої напруги передбачає використання технологій її сушіння, дегазації та регенерації. Основними питаннями якості обробки ізоляції є питання, пов'язані з видаленням води.

За «старими» методами експлуатації при заміні оливи очищенню підлягає лише олива, целюлозна ізоляція не очищується.

Невеликі нагріви в трансформаторах прискорюють процес старіння ізоляції так само, як і перегріви, за рахунок накопичення вологи.

Вміст кисню без вологи не істотно прискорює старіння ізоляції.

Продукти старіння кислотного і полярного характеру прискорюють старіння целюлозної ізоляції.

Питання для самостійної перевірки знань

27

1. В чому полягає актуальність діагностування трансформаторних олив
2. Як розподіляється волога вологи в обладнанні.
3. Як оцінюється ступень зволоження по температурній міграції вологи в оливу.
4. В чому полягає методологія діагностування діагностованого обладнання.
5. Яка мета контролю діагностованого обладнання.
6. Яка мета контролю зволоження ізоляції
7. Які умови проведення діагностування
8. Які вимоги до діагностування трансформаторної оливи з високовольтного обладнання.
9. В чому полягає оцінювання вологовмісту в оливі
10. Яка процедура випробовувань оливи
11. В чому полягає оцінювання вологості бар'єрів за даними вимірювання опору ізоляції (в силових трансформаторах)

1. Гобрей Р.М. Технічне діагностування, випробовування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина перша / Р.М. Гобрей, **О.Є. Рубаненко**, В.Л. Таловер'я – К.: – “НТУКЦ АсЕлЕнерго”, – 2008. – 528 с.
2. Технічне діагностування, випробовування та вимірювання електрообладнання в умовах монтажу, налагоджування і в експлуатації. Частина 2 / Р.М. Гобрей та ін – К.: – “ДП НТУКЦ”, – 2011. – 1008 с.

Доповідь закінчена.

Дякую за увагу!