

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**Запорізький національний технічний університет**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для самостійної роботи з дисципліни  
«Системи керування та діагностика електромеханічних  
пристроїв та систем»  
для студентів спеціальності

141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
спеціалізації (освітньої програми) Електричні та електронні апарати;  
Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв  
усіх форм навчання

Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Системи керування та діагностика електромеханічних пристроїв та систем» для студентів спеціальності 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка спеціалізації (освітньої програми) Електричні та електронні апарати; Електромеханічне обладнання енергоємних виробництв усіх форм навчання / Укл.: доц., к.т.н. О. А. Сахно, ст. викл. Л.С. Скрупська. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018. – 22 с.

Укладачі:	О.А. Сахно, доцент, к.т.н. Л.С. Скрупська, ст.викладач
Рецензент:	П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.
Відповідальний за випуск:	П.Д. Андрієнко, професор, д.т.н.

Затверджено  
на засіданні кафедри  
«Електричні та електронні апарати»  
Протокол № 5  
від 25 січня 2018 р.

Затверджено НМК ЕТФ  
Протокол № 6  
від 25 січня 2018 р.

**ЗМІСТ**

ЗМІСТ .....	3
1 МЕТА ТА ЗАДАЧА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ .....	4
2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИВЧЕННЮ ТЕМ КУРСУ .....	5
3 ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ ..	6
4 КОНТРОЛЬНА РОБОТА № 1 .....	8
4.1 Загальні відомості .....	8
4.2 Методика розрахунку .....	10
4.3 Методика виконання роботи .....	14
4.4 Варіанти контрольних завдань .....	17
5 ПЕРЕЛІК ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ (ЗАЛІКОВИХ) ПИТАНЬ	19
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	21

## 1 МЕТА ТА ЗАДАЧА ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Згідно діючій державній науково-технічній програмі «Ресурс», затвердженій Постановою КМУ від 08.10.2004 №1331, яка вимагає створення системи підготовки, підвищення кваліфікації та атестації фахівців з питань забезпечення надійності і безпечної експлуатації споруд, конструкцій, обладнання та інженерних мереж, оцінки та діагностики технічного стану об'єктів, навчальним планом підготовки студентів за освітнім ступнім «магістр» передбачено навчальна дисципліна «Системи керування та діагностика електромеханічних пристроїв та систем» в якій розглядаються відповідні питання.

Мета – надати студентам знання, навичок та вмінь, які дозволять використовувати здобуті знання з конструкції обладнання для діагностування його стану, оволодіння спеціальними знаннями теорії та практики діагностування високовольтного електромеханічного обладнання.

Завдання – полягають у вивченні елементної бази засобів діагностування, типових дефектів та відказів обладнання, підвищення рівня знань з експлуатації, та процесів деградування та руйнування високовольтного електромеханічного обладнання, розширення знань з сучасних методик та методів діагностування високовольтної техніки.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати:

- теоретичні та практичні основи діагностування технічного стану електромеханічного обладнання;
- методи діагностування;
- діагностичні параметри, та методи їх вимірювання;
- сучасні прилади діагностування.

вміти:

- обирати найбільш ефективні методи діагностування для різних типів електромагнітних пристроїв та систем;
- вимірювати характеристики часткових розрядів в ізоляції;
- вимірювати тангенс кута діелектричних втрат ізоляції;
- користуватися сучасними засобами вимірювання температури;
- інтерпретувати результати діагностування для здійснення експертної оцінки з технічного стану обладнання;
- здійснювати оцінку технічного стану та залишкового ресурсу електромеханічного обладнання енергоємних виробництв.

## **2 ПРОГРАМА ТА МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ПО ВИВЧЕННЮ ТЕМ КУРСУ**

### **Змістовий модуль 1. Загальні положення діагностування електромеханічних пристроїв та систем.**

Тема 1. Технічна діагностика високовольтного електрообладнання. Пошкоджуваність обладнання, види і причини дефектів. Загальні задачі діагностування.

Тема 2. Дефекти та особливості діагностування целюлозної ізоляції. Старіння целюлозної ізоляції та його оцінка.

Тема 3. Дефекти та особливості діагностування трансформаторного масла.

Тема 4. Діагностування обладнання за характеристиками часткових розрядів в ізоляції.

Тема 5. Діагностування обладнання за результатами хроматографічного аналізу розчинених газів у маслі.

Тема 6. Діагностування обладнання за характеристиками вологовмісту матеріалів ізоляції.

Тема 7. Побудова сучасної системи діагностування енергооб'єктів на базі автоматизованого безперервного контролю за технічним станом електричних апаратів.

*Рекомендована література: [1], [3] стор. 10-43; [4] стор.10-52; [6] стор. 5-40; [8].*

### **Змістовий модуль 2. Діагностування основних типів електромеханічних пристроїв та систем.**

Тема 8. Діагностування високовольтних уводів з різними типами ізоляції. Частина 1.

Тема 9. Діагностування високовольтних уводів з різними типами ізоляції. Частина 2. Діагностування вимірювальних трансформаторів.

Тема 10. Діагностування силового трансформаторного обладнання. Засоби, методи.

Тема 11. Діагностування комутаційних апаратів. Діагностування пристрою РПН. Діагностування високовольтних вимикачів.

Тема 12. Діагностування кабельних ліній та комплектних електричних розподільчих пристроїв.

Тема 13. Діагностування елементів повітряних ліній та нелінійних обмежувачів перенапруг.

*Рекомендована література: [3] стор. 43-230; [4] стор.52-120; [6] стор. 150-190.*

### **Змістовий модуль 3. Оцінка та прогноз залишкового ресурсу електромеханічних пристроїв та систем.**

Тема 14. Розрахунок залишкового ресурсу електромеханічних пристроїв та систем.

Тема 15. Прогноз показників надійності та залишкового ресурсу електромеханічних пристроїв та систем. Методика прогнозу. Частина 1.

Тема 16. Прогноз показників надійності та залишкового ресурсу електромеханічних пристроїв та систем. Методика прогнозу. Частина 2.

*Рекомендована література: [3], [4], [6], [9], [10], [11].*

## **3 ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ**

1. Заходи безпеки при випробуваннях і вимірюваннях.
2. Вимірювання характеристик ізоляційних конструкцій.
3. Вимірювання характеристик ізоляції під робочою напругою.
4. Вимірювання опору ізоляції.
5. Вимірювання тангенса кута діелектричних втрат і ємності ізоляції.
6. Заходи безпеки при випробуванні трансформаторів.

7. Методи контролю стану силових трансформаторів, автотрансформаторів, шунтуючих і дугогасильних реакторів.
8. Методи контролю стану перемикаючих пристроїв.
9. Зняття характеристик намагнічування трансформаторів струму.
10. Вимірювання струму холостого ходу трансформаторів напруги.
11. Перевірка полярності висновків, групи з'єднання обмоток трансформаторів напруги.
12. Контроль параметрів ізоляції комутаційних апаратів.
13. Перевірка мінімальної напруги спрацьовування приводів комутаційних апаратів комутаційних апаратів.
14. Контроль механічних характеристик комутаційних апаратів.
15. Контроль характеристик елегазових вимикачів.
16. Контроль характеристик вакуумних вимикачів.
17. Контроль характеристик вимикачів навантаження.
18. Контроль характеристик роз'єднувачів, короткозамикачів і відокремлювачів.
19. Контроль характеристик комплектних розподільних пристроїв.
20. Контроль характеристик елегазових комплектних розподільних пристроїв.
21. Методи контролю стану струмопроводів, збірних шин і ошиновок, опорних і підвісних ізоляторів.
22. Методи контролю стану конденсаторів.
23. Методи контролю стану вентильних розрядників, обмежувачів перенапруг, трубчастих розрядників.
24. Методи контролю якості електроізоляційних рідин.
25. Методи контролю стану стаціонарних свинцево-кислотних акумуляторних батарей.
26. Методи контролю стану заземлюючих пристроїв.
27. Методи контролю стану повітряних ліній електропередачі.
28. Контроль під напругою стану підвісних тарілчастих фарфорових ізоляторів в ізолюючих підвісках.
29. Контроль стану проводів і грозозахисних тросів.
30. Методи контролю стану вводів, прохідних ізоляторів.
31. Методи контролю стану кабельних ліній.
32. Особливості випробування маслонаповнених КЛ 110-500кВ.

33. Визначення дефектних місць оболонки КЛ 110-220кВ з ізоляцією із зшитого поліетилену.

## **4 КОНТРОЛЬНА РОБОТА**

### **Розрахунок навантажувальної здатності силового трансформаторного обладнання та його ресурсу**

#### **4.1 Загальні відомості**

Питання здатності навантаження трансформаторів - це найважливіше питання експлуатації, без урахування якого неможливе проектування, експлуатація, діагностування трансформаторів. Розміри капітальних вкладень і економічність роботи підстанції також знаходяться в прямій залежності від обліку здатності навантаження трансформаторів. Тому однією з задач діагностики стає розрахунок навантажувальної здатності трансформатора та оцінка вичерпання ресурсу при заданих режимах навантаження.

В експлуатації при зростанні навантаження підстанції та неможливість заміни в даний час трансформаторів більш потужними може виникнути необхідність у перевантаженнях встановлених трансформаторів, більших, ніж по ГОСТ на навантажувальну здатність. Отримавши від заводу-виготовлювача інформацію за значеннями, що вимагаються для розрахунку параметрів розглянутого трансформатора, інженер-діагност може визначити безпечні межі таких перевантажень з урахуванням конкретних режимів та умов експлуатації, виконавши відповідні розрахунки по тій чи іншій методиці в залежності від наявних можливостей і бажаної точності. Такі ж розрахунки можуть бути виконані і при реконструкції трансформаторів, наприклад, при посиленні охолодження або в інших подібних випадках.

В даний час понад 80% електроенергії, вироблюваної на електростанціях України, по шляху до шин споживачів 0,4-10 кВ зазнає від однієї до восьми трансформацій. В кожному ступені трансформації на кіловат потужності передачі доводиться встановлювати 1,5-2,5 кВА трансформаторної потужності.

Силові трансформатори загального призначення, особливо розподільні, як правило, працюють з нерівномірним навантаженням, при цьому відхилення миттєвого значення струму навантаження від середньодобового можуть іноді досягати 50% і більше зазвичай з певною

періодичністю як протягом доби, так і по сезонах року. Температура охолоджуючої середовища також коливається в широких межах. Перевантаженням трансформатор може піддаватися систематично, та умовою їх допустимості є збереження нормального терміну служби ізоляції трансформатора.

В аварійній ситуації головним завданням є безперебійне електропостачання споживачів. Тому при відключенні одного з паралельно працюючих трансформаторів (наприклад, при виході його з ладу) трансформатори, що залишилися у роботі повинні допускати певну перевантаження. В цьому випадку можна допустити певне зниження терміну служби трансформатора. Розрахунок здатності та пропорційного їй зниження ресурсу є задачею технічної діагностики.

В основі розрахунку здатності навантаження лежить теплової знос ізоляції трансформатора. Під впливом температури і ряду інших чинників фізико-хімічні властивості твердої ізоляції з плином часу зазнають змін, при цьому ізоляція стає крихкою. Хоча електрична міцність її практично не знижується, вона більше не здатна витримувати механічні навантаження від вібрацій або коротких замикань. Цей незворотний процес називається старінням. Швидкість старіння ізоляції залежить від температури, а досягнутий ступінь старіння - від температури і часу її впливу. На швидкість і досягнуту ступінь старіння ізоляції впливають також волога, кисень повітря і інші чинники, однак при існуючому рівні знань строгий облік цих факторів не може бути виконаний.

Для розрахунку здатності навантаження потрібно розрахувати температуру в найбільш нагрітих місцях обмотки, визначити залежність швидкості старіння ізоляції від температури і температуру, при впливі якої трансформатор працюватиме заданий, економічно виправданий термін (можливе скорочення терміну служби трансформатора з інших причин, наприклад через недостатню електричної міцності ізоляції, недостатньою електродинамічною стійкістю, дефектів конструкції, не враховується).

Розрахунок температур найбільш нагрітих точок також може бути корисним при діагностуванні ефективності роботи системи охолодження та в інших випадках коли можна на базі порівняння дійсних та розрахункових температур здійснити діагностування трансформатору.

Розрахунок температури найбільш нагрітої точки обмотки зводиться до розрахунків перевищення температури верхніх шарів масла над температурою охолоджуючої середовища і перевищення температури найбільш нагрітої точки обмотки над температурою масла при несталих режимах нагрівання, а також такий незмінною температури охолоджуючої середовища, яка була б еквівалентна природно змінюється.

Залежність швидкості старіння ізоляції від температури визначають експериментально на зразках і моделях ізоляції, використовуючи при цьому ті чи інші фізичні або хімічні критерії.

Температуру ізоляції, при впливі якої трансформатор працюватиме заданий термін, визначають за результатами ресурсних випробувань достатньої кількості трансформаторів або моделей при більш високих, ніж робітники, температурах. Результати випробувань екстраполюють в область робочих температур на основі певної залежності швидкості старіння ізоляції від температури.

У зв'язку з тим що перераховані питання є дуже складними і не мають точних рішень, для розробки прийнятних для практики керівництв по навантаженню трансформаторів доводиться приймати ряд спрощують положень та умов, що забезпечують в кінцевому підсумку певні запаси.

Найбільш точна модель для розрахунку температури найбільш нагрітої точки та характеристик термічного старіння ізоляції представлена у документі IEC 60076-7 «Loading guide for oil immersed power transformers».

## 4.2 Методика розрахунку

Таблиця 4.1 – Вхідні данні для методики

<b>Позначення</b>	<b>Найменування</b>
TopOil	Температура верхніх шарів масла (ВСМ), °С
ambientTemp	Температура повітря, °С
HStempRise	Стартове значення температури найбільш нагрітої точки (ТННТ), °С
CoolCap	Ефективність роботи системи охолодження, %
MaxHs	Максимальная допустима ТННТ, °С

Позначення	Найменування
Load1st	Заплановане навантаження – перший рівень, %
Load2nd	Заплановане навантаження – другий рівень, %
TopOilRise	Проектне перевищення температури ВСМ над температурою повітря, °С
NoLoadLoss	Втрати холостогоходу, Вт
LoadLosses	Втрати при номінальному навантаженні, Вт
OilExp	Показник ступеню масла
HSfact	Коефіцієнт ТННТ (1,3 для великих трансформаторів, для всіх варіантів контрольної роботи)
WindToOilDiff	Градiєнта температури обмотки (обмотка - масло), °С
WindExp	Показник ступеню обмотки
TimeConstOil	Температурна стала масла, год
TimeConstWind	Температурна стала обмотки, год

Таблиця 4.2 – Значення коефіцієнтів

Коефіцієнт	Тип СО			
	М	Д	ДЦ	Ц
OilExp	0.80	0.80	1.00	1.00
WindExp	1.30	1.30	1.30	2.00
k <sub>11</sub>	0.50	0.50	1.00	1.00
k <sub>21</sub>	2.00	2.00	1.30	1.00
k <sub>22</sub>	2.00	2.00	1.00	1.00
TimeConsOil	3.50	2.50	1.50	1.50
TimeConstWind	0.1666	0.1166	0.1166	0.1166

Відношення втрат при номінальному струмі до втрат холостого ходу:

$$R = \frac{LoadLosses}{NoLoadLoss} \quad (4.1)$$

Функція, що описує відносне зростання температури верхніх слоїв масла в сталому режимі:

$$f_1 = 1 - e^{\frac{-timestep}{TimeConstOil \cdot k_{11}}} \quad (4.2)$$

Функція, що описує відносне зростання температури найбільш нагрітої точки в сталому режимі:

$$f_2 = k_{21} \cdot \left(1 - e^{\frac{-timestep}{TimeConstWind \cdot k_{22}}}\right) - (k_{21} - 1) \cdot \left(1 - e^{\frac{-timestep}{TimeConstOil \cdot k_{22}}}\right) \quad (4.3)$$

Функція, що описує відносне зменшення температури верхніх слоїв масла згідно зі станом охолодження трансформатору:

$$f_3 = e^{\frac{-timestep}{TimeConstOil \cdot k_{11}}} \quad (4.4)$$

де timestep – час, год (час змінюється від 0 до n годин, де n – інтервал часу знаходження трансформатору з незмінним навантаженням).

Прогнозована температура ВСМ при нагріванні:

$$IncStepOilTemp = ambientTemp + tempRiseTopOil\_tank\_strt + (temp - tempRiseTopOil\_tank\_strt) \cdot f_1 \quad (4.5)$$

де

$$temp = TopOilRise \cdot \left(\frac{(1 + R) \cdot loadCurrent^2}{(1 + R)}\right)^{OilExp} \cdot \left(\frac{100}{CoolCap}\right)$$

Прогнозована ТННТ при нагріванні:

$$IncStepHotSpot = temp + incStepOilTemp + tempRise\_hotspot\_strt - tempRise\_hotspot\_strt \cdot f_2 \quad (4.6)$$

де

$$temp = (HSfact \cdot WindToOilDiff \cdot loadCurrent^{WindExp}) \cdot f_2$$

Прогнозована температура ВСМ при охолодженні:

$$(4.7)$$

$$DecStepOilTemp = ambientTemp + temp \\ + (tempRiseTopOil\_tank\_strt - temp) \cdot f_3$$

де

$$temp = TopOilRise \cdot \left( \frac{(1 + R) \cdot loadCurrent^2}{(1 + R)} \right)^{OilExp} \cdot \left( \frac{100}{CoolCap} \right)$$

Прогнозована ТННТ при охолодженні:

$$DecStepHotSpot = HSfact \cdot WindToOilDiff \cdot loadCurrent^{WindExp} \\ + DecStepOilTemp \quad (4.8)$$

Розрахунок температурного режиму (нагрів чи охолодження) здійснюється за формулою:

$$OilFC = TopOilRise \cdot \left( \frac{(1 + R) \cdot loadCurrent^2}{(1 + R)} \right)^{OilExp} \quad (4.9)$$

Початковий тепловий стан трансформатора описується параметрами:

- початкове перевищення ТННТ:

$$tempRise\_hotspot\_strt = HStempRise - TopOil \quad (4.10)$$

- початкове перевищення температури ВСМ:

$$tempRiseTopOil\_tank\_strt = TopOil - ambientTemp \quad (4.11)$$

Миттєве значення вичерпаного ресурсу ізоляції:

$$tmpvalue = 2^{\frac{temp\_hs\_w - 98}{6}} \quad (4.12)$$

де  $temp\_hs\_w$  – розраховане значення ТННТ, °С.

Інтегральне значення вичерпаного ресурсу ізоляції:

$$LR = \left[ \sum_{n=0}^{\frac{PT}{TS}} (tmpvalue) \right] \cdot TS \quad (4.13)$$

де  $TS$  – крок розрахунку (для контрольної роботи 0,1 год),

n – номер кроку розрахунку.

### 4.3 Методика виконання роботи

- 4.3.1 Вибрати згідно п.4.4. вихідні данні для свого варіанту.
- 4.3.2 Вибрати необхідні значення коефіцієнтів за табл. 4.2 для вказаного у завданні типу системи охолодження.
- 4.3.3 Розрахувати початковий тепловий стан трансформатору за формулами (10) та (11).
- 4.3.4 Присвоїти змінній loadCurrent значення першого ступеня навантаження (Load1st/100).
- 4.3.5 Поточний час: timestep = 0 год.
- 4.3.6 Розрахувати данні за формулами (1) – (4).
- 4.3.7 Розрахувати температурний режим за формулою (9).
- 4.3.8 Розрахувати прогнозовані значення температури ВСМ (TopOil) та ТННТ (temp\_hs\_w). При цьому формули для розрахунку слід вибирати за правилом:
  - якщо OilFC > temRiseTopOil\_tank\_strt то по формулам (5) та (6),
  - якщо OilFC ≤ temRiseTopOil\_tank\_strt то по формулам (7) та (8).
- 4.3.9 Розрахувати миттєве значення вичерпаного ресурсу ізоляції за інтервал 0,1 год за формулою (12).
- 4.3.10 Змінити поточний час timestep = timestep + 0,1, та здійснити розрахунки за пп. 4.3.6 – 4.3.10. Змінювати час потрібно поки не виконається умова (temp\_hs\_w ≥ MaxHs). На кожному кроці треба фіксувати значення температури ВСМ та ТННТ, а також миттєве значення вичерпаного ресурсу ізоляції. Якщо умова виконана то треба записати ts1 = timestep та переходити до п. 4.3.11.
- 4.3.11 Розрахувати початковий тепловий стан трансформатору за формулами:

$$tempRiseTopOil\_tank\_strt = TopOil - ambientTemp,$$

$$tempRise\_hotspot\_strt = temp\_hs\_w - TopOil.$$

де TopOil, temp\_hs\_w – температури розраховані на поточному кроці виконання за п.4.3.8.

- 4.3.12 Присвоїти змінній loadCurrent значення першого ступеня навантаження (Load2nd/100).
- 4.3.13 Поточний час: timestep = 0 год.
- 4.3.14 Розрахувати данні за формулами (1) – (4).
- 4.3.15 Розрахувати температурний режим за формулою (9).
- 4.3.16 Розрахувати прогнозовані значення температури ВСМ (TopOil) та ТННТ (temp\_hs\_w). При цьому формули для розрахунку слід вибирати за правилом:
  - якщо OilFC > temRiseTopOil\_tank\_strt то по формулам (5) та (6),
  - якщо OilFC ≤ temRiseTopOil\_tank\_strt то по формулам (7) та (8).
- 4.3.17 Розрахувати миттєве значення вичерпаного ресурсу ізоляції за інтервал 0,1 год за формулою (12).
- 4.3.18 Змінити поточний час timestep = timestep + 0,1, та здійснити розрахунки за пп. 4.3.14 – 4.3.17. Змінювати час потрібно поки не виконається умова timestep + ts1 = 10 год. На кожному кроці треба фіксувати значення температури ВСМ та ТННТ, а також миттєве значення вичерпаного ресурсу ізоляції. Якщо умова виконана то треба переходити до п. 4.3.19.
- 4.3.19 Розрахувати інтегральне значення вичерпаного ресурсу ізоляції за формулою (13).
- 4.3.20 Побудувати графік зміни ТННТ (HST) и ВСМ (VSM), приклад рис. 4.1.

Тобто, прогнозований час для розрахунку – 10 год, шаг розрахунку 0,1 год, в результаті розрахунку треба отримати 101 значень температури ВСМ, ТННТ та миттєвих значень вичерпаного ресурсу ізоляції. Далі треба порахувати інтегральне значення вичерпаного ресурсу за 10 год роботи трансформатора в заданому режимі, а також побудувати графік зміни температур. Звіт по роботі має включати в себе кратку методику розрахунку, результати проміжних розрахунків в табличному вигляді, графік температур ВСМ та ТННТ, розраховане значення вичерпання ресурсу в наслідок теплового старіння, власні

висновки про доцільність експлуатації трансформатору в заданому режимі.

### Приклад результатів виконання роботи

	0	1	2
0	0	35.33	35
1	0.1	53.754	40.013
2	0.2	68.097	44.747
3	0.3	79.376	49.218
4	0.4	88.35	53.441

.....			
96	9.6	60.183	48.28
97	9.7	60.169	48.266
98	9.8	60.155	48.252
99	9.9	60.142	48.239
100	10	60.13	48.227

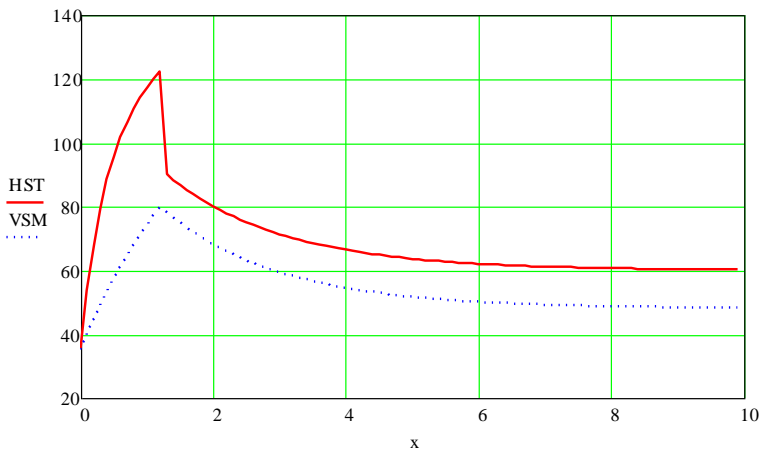


Рисунок 4.1 – Приклад графіку

Фактичний знос ресурсу за прогнозований проміжок часу (10год) – 5.73год.

Висновки: завданий режим навантаження не призведе до сверхнормованного зносу ізоляції трансформатору, тому може бути використаний без обмежень та ризику для обладнання.

#### 4.4 Варіанти контрольних завдань

Вар Параметр	1	2	3	4	5	6
Тип системи охолодження	М	Д	ДЦ	М	Д	ДЦ
TopOilRise	45.00	45.45	45.90	46.35	46.80	47.25
NoLoadLoss	26600.00	26900.00	27200.00	27500.00	27800.00	28100.00
LoadLosses	151500.0	152300.0	153100.0	153900.0	154700.0	155500.0
WindToOilDiff	10.50	10.60	10.70	10.80	10.90	11.00
TopOil	35.00	34.00	33.00	32.00	31.00	30.00
ambientTemp	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	20.00
HStempRise	35.33	34.80	34.40	34.13	34.00	34.00
CoolCap	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00
MaxHs	105.00	110.00	115.00	120.00	125.00	130.00
Load1st	200.00	190.00	180.00	170.00	160.00	150.00
Load2nd	120.00	110.00	100.00	90.00	80.00	70.00

Вар Параметр	7	8	9	10	11	12
Тип системи охолодження	М	Д	ДЦ	М	Д	ДЦ
TopOilRise	47.70	48.15	48.60	49.05	49.50	49.95
NoLoadLoss	28400.00	28700.00	29000.00	29300.00	29600.00	29900.00
LoadLosses	156300.00	157100.00	157900.00	158700.00	159500.00	160300.00
WindToOilDiff	11.10	11.20	11.30	11.40	11.50	11.60
TopOil	29.00	28.00	27.00	26.00	25.00	24.00
ambientTemp	22.00	24.00	26.00	28.00	30.00	32.00
HStempRise	34.13	34.40	34.80	35.33	36.00	36.80

<b>CoolCap</b>	40.00	50.00	60.00	70.00	80.00	90.00
<b>MaxHs</b>	135.00	140.00	145.00	150.00	145.00	140.00
<b>Load1st</b>	140.00	130.00	120.00	200.00	190.00	180.00
<b>Load2nd</b>	60.00	50.00	40.00	120.00	110.00	100.00

<b>Вар</b> <b>Параметр</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>
<b>Тип системи охолодження</b>	М	Д	ДЦ	М	Д	ДЦ
<b>TopOilRise</b>	50.40	50.85	51.30	51.75	52.20	52.65
<b>NoLoadLoss</b>	30200.00	30500.00	30800.00	30500.00	30200.00	29900.00
<b>LoadLosses</b>	161100.00	161900.00	162700.00	163500.00	164300.00	165100.00
<b>WindToOilDiff</b>	11.70	11.80	11.90	12.00	12.10	12.20
<b>TopOil</b>	23.00	22.00	21.00	24.00	27.00	30.00
<b>ambientTemp</b>	34.00	36.00	38.00	36.00	34.00	32.00
<b>HStempRise</b>	37.73	38.80	40.00	43.20	46.27	49.20
<b>CoolCap</b>	100.00	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00
<b>MaxHs</b>	135.00	130.00	125.00	120.00	115.00	110.00
<b>Load1st</b>	170.00	160.00	150.00	140.00	130.00	120.00
<b>Load2nd</b>	90.00	80.00	70.00	60.00	50.00	40.00

<b>Вар</b> <b>Параметр</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>
<b>Тип системи охолодження</b>	М	Д	ДЦ	М	Д	ДЦ
<b>TopOilRise</b>	53.10	53.55	54.00	54.45	54.90	55.35
<b>NoLoadLoss</b>	29600.00	29300.00	29000.00	28700.00	28400.00	28100.00
<b>LoadLosses</b>	165900.00	166700.00	167500.00	168300.00	169100.00	169900.00
<b>WindToOilDiff</b>	12.30	12.40	12.50	12.60	12.70	12.80
<b>TopOil</b>	33.00	36.00	39.00	42.00	45.00	48.00
<b>ambientTemp</b>	30.00	28.00	26.00	24.00	22.00	20.00

<b>HStempRise</b>	52.00	54.67	57.20	59.60	61.87	64.00
<b>CoolCap</b>	60.00	70.00	80.00	90.00	100.00	90.00
<b>MaxHs</b>	105.00	110.00	115.00	120.00	125.00	130.00
<b>Load1st</b>	200.00	190.00	180.00	170.00	160.00	150.00
<b>Load2nd</b>	120.00	110.00	100.00	90.00	80.00	70.00

<b>Вар</b> <b>Параметр</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>
<b>Тип системи охолодження</b>	М	Д	ДЦ	М	Д	ДЦ
<b>TopOilRise</b>	55.80	56.25	56.70	57.15	57.60	58.35
<b>NoLoadLoss</b>	27800.00	27500.00	27200.00	26900.00	26600.00	26300.00
<b>LoadLosses</b>	170700.00	171500.00	172300.00	173100.00	173900.00	174700.00
<b>WindToOilDiff</b>	12.90	13.00	13.10	13.20	13.30	13.40
<b>TopOil</b>	51.00	54.00	57.00	60.00	63.00	66.00
<b>ambientTemp</b>	18.00	16.00	14.00	12.00	10.00	8.00
<b>HStempRise</b>	66.00	67.87	69.60	71.20	72.67	74.00
<b>CoolCap</b>	80.00	70.00	60.00	50.00	60.00	70.00
<b>MaxHs</b>	135.00	140.00	145.00	150.00	145.00	140.00
<b>Load1st</b>	140.00	130.00	120.00	200.00	190.00	180.00
<b>Load2nd</b>	60.00	50.00	40.00	120.00	110.00	100.00

## **5 ПЕРЕЛІК ЕКЗАМЕНАЦІЙНИХ (ЗАЛКОВИХ) ПИТАНЬ**

1. Технічна діагностика високовольтного електрообладнання. Основні терміни та визначення.
2. Дефекти високовольтних трансформаторів та їх причини.
3. Дефекти високовольтного комутаційного обладнання та їх причини.
4. Дефекти в ізоляції високовольтного обладнання та їх причини.
5. Способи діагностування дефектів в ізоляції високовольтного обладнання.

6. Способи діагностування дефектів в високовольтного комутаційного обладнання.
7. Причини старіння целюлозної ізоляції.
8. Коефіцієнт полімеризації та методи його контролювання.
9. Методи діагностування паперово-масляної ізоляції.
10. Часткові розряди – причини виникнення, головні терміни.
11. Методи діагностування ізоляції за характеристиками часткових розрядів.
12. Математичні методи та засоби виявлення часткових розрядів на фоні випадкових завад.
13. Діагностування ізоляції на основі методів аналізу трансформаторного масла.
14. Ідентифікація виду дефекту в обладнанні на основі концентрацій розчинених газів в маслі. Особливості контролю концентрацій газів.
15. Діагностування маслонаповненого обладнання на основі аналізу результатів газової хроматографії за методом «Трикутника Дюваля».
16. Діагностування обладнання на основі аналізу результатів газової хроматографії за методом співвідношень Роджерса.
17. Особливості газоутворення в маслі в залежності від типів дефектів в обладнанні.
18. Діагностування стану конденсаторної ізоляції в процесі експлуатації.
19. Діагностування обладнання за показниками вологовмісту ізоляції.
20. Діагностування силового трансформаторного обладнання.
21. Діагностування трансформаторного обладнання за допомогою реєстрації температурних режимів. Засоби контролю.
22. Види та причини відмов високовольтних уводів.
23. Діагностичні критерій ізоляції високовольтних уводів.
24. Особливості діагностування стану ізоляції високовольтних уводів під робочою напругою.
25. Діагностування стану нелінійних обмежувачів перенапруг.
26. Діагностування стану елегазових розподільчих пристроїв та кабельних ліній.
27. Діагностування вимірювальних трансформаторів.
28. Діагностування пристроїв РПН.

29. Діагностування вимикачів.
30. Особливості застосування безперервного контролю стану високовольтного обладнання.
31. Засоби визначення ресурсу та залишкового ресурсу обладнання.
32. Розрахунок залишкового ресурсу електричних апаратів.
33. Прогноз показників надійності та залишкового ресурсу апаратів.

### ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Норми випробування електрообладнання: СОУ-Н ЕЕ 20.302:2007 — Офіц. вид., приказ Мінпаливенерго 2007-01-15 г. №13. — К. : ОЕП «ГРИФРЕ» : М-во палива та енергетики України, 2007. — 262 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України).
2. Перевірка ізоляції трансформаторів струму 330 - 750 кВ під робочою напругою: СОУ-Н МПЕ 40.1.46.301-2006. — Офіц. вид. — К. : ГРИФРЕ : М-во палива та енергетики України, 2006. — 31 с. — (Нормативний документ Мінпаливенерго України. Інструкція).
3. Сви П. М. Методы и средства диагностики оборудования высокого напряжения / П. М. Сви. — М. : Энергоатомиздат, 1992 — 240 с. : ил.
4. Сви П. М. Контроль изоляции оборудования высокого напряжения.-2-е изд., перераб. и доп. / П. М. Сви. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 128 с.: ил.
5. Методические указания по диагностике электрических аппаратов, распределительных устройств электростанций и подстанций : МУ 0632 — 2006 — [Действует с 01.06.2006]. М. : «Росэнергоатом», 2006. — 46 с. — (Действует в концерне Росэнергоатом)
6. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования / [Составитель ОАО «ОРГРЭС» под. ред. Ф.Л. Когана]. М. : Энергосервис, 1998. — 493 с.
7. Бажанов С. А. Инфракрасная диагностика электрооборудования распределительных устройств / С. А. Бажанов — М. : НТФ "Энергопресс", "Энергетик", 2000 — 76 с.; ил. [Библиотечка электротехника, приложение к журналу "Энергетик". Выпуск 4(16)]
8. Правила устройства электроустановок. — Х.: «Форт», 2009. - 704 с.

9. Рассальский А. Н. Совершенствование системы диагностики высоковольтных трансформаторов тока на основе автоматизированного непрерывного контроля и прогноза остаточного ресурса / А. Н. Рассальский, П. Д. Андриенко, А. А. Сахно // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2011. — № 48. — С. 50—55.

10. Орлов А. И. Математика случая: Вероятность и статистика – основные факты: Учебное пособие. / А. И. Орлов. — М. : МЗ-Пресс, 2004. — 110 с.

11. Сахно А. А. Математическая модель прогноза остаточного ресурса трансформаторов тока 330 – 750 кВ с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа / А. А. Сахно // Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. — 2010. — № 55. — С. 97—106.