



Міністерство освіти і науки України  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**  
Навчально-науковий інститут енергетики  
та комп'ютерних технологій  
Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту

## **ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація  
енергетичного обладнання і засобів автоматизації»**

**для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форми навчання, спеціальностей  
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,  
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

**Харків 2020**

**Міністерство освіти і науки України**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ**  
**УНІВЕРСИТЕТ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**  
**імені ПЕТРА ВАСИЛЕНКА**

**Навчально-науковий інститут**  
**енергетики та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електропостачання та енергетичного менеджменту**

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ**  
**ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація  
енергетичного обладнання і засобів автоматизації»

для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
денної та заочної форми навчання, спеціальностей  
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка,  
151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Затверджено рішенням  
Науково-методичної ради  
ННІ ЕКТ ХНТУСГ  
Протокол № 7  
від 27.05.2020 р.

**Харків 2020**

Схвалено  
на засіданні кафедри  
електропостачання та енергетичного менеджменту  
Протокол № 9 від 28.04.2020 р.

Експлуатаційні випробування трансформаторного масла: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи з дисц. «Технічна експертиза та експлуатація енергетичного обладнання і засобів автоматизації» для студентів другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочн. форм навч., спец.: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Харків. нац. техн. у-т сіл. госп-ва ім. П. Василенка; упоряд.: І. М. Трунова, В. Г. Пазій. - Харків : [б. в.], 2020.-20 с.

Методичні вказівки містять пояснення до роботи, програму виконання роботи, форму звітності, контрольні запитання та рекомендовану літературу.

Видання призначене студентам другого (магістерського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання, спеціальностей: 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка, 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

**Рецензенти:**

**Н. Г. Косуліна**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри біомедичної інженерії та теоретичної електротехніки Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

**С. О. Тимчук**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка;

**Відповідальний за випуск** (зав. каф.): **О. О. Мірошник**, д-р техн. наук, проф.

© Трунова І. М., Пазій В. Г.,  
упорядкування, 2020  
© ХНТУСГ, 2020

## ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА

**Мета роботи:** вивчити методику випробування трансформаторного масла.

### ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел повинні відбуватися за СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009: Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості [1].

В умовах сільського господарства найбільше розповсюджені масляні трансформатори. Стан масла в трансформаторі характеризує стан самого трансформатора, тому при експлуатації систем сільського електропостачання проводять нагляд за станом масла.

Кожна партія масла до заливання або доливання повинна мати сертифікат підприємства-постачальника, який підтверджує відповідність масла стандарту. Для масла, яке надходить у комплекті з трансформатором, відповідність стандарту підтверджується записом у паспорті трансформатора.

Характеристики трансформаторного масла значно залежать від домішок. Так, зміст 0,01...0,02 % вологи в маслі призводить до зниження пробивної напруги в 4-5 разів. Це пояснюється тим, що полярна рідина – вода, яка знаходиться в неполярній рідині – маслі, здатна орієнтуватися у вигляді ланцюгів, що зорієнтовані повздовж між електродами в напрямку поля. По цих ланцюгам і здійснюється пробій зволоженого масла. Для створення ланцюгів достатньо невеликої кількості вологи, подальше зволоження масла призводить до збільшення кількості ланцюгів, що не впливає на пробивну напругу. В нерівномірних полях, в містах з підвищеною напруженістю висока концентрація вологи призводить до створення великих капель, що осідають на дні посуду за межами міжелектродного простору. Тому вплив вологи менш помітний при пробіі масла в нерівномірному електричному полі.

При експлуатації трансформаторного масла волога може потрапляти в масло із оточуючого середовища і виникати внаслідок процесів окислення. Негативно впливають на масло і деякі домішки. Парафін, що розчиняється в маслі, збільшує його в'язкість. Наявність парафіну в маслі вимикачів недопустиме. Вугілля нешкідливе для масла, але діє як фактор стабілізації для емульсії води і сприяє збільшенню її кількості. Осадки і шлам (продукти старіння масла) гігроскопічні і накопичують в себе значну кількість вологи. Вони є полярними діелектриками і можуть утворювати містки, що проводять струм між електродами, по яким здійснюється пробій масла. Накопи-

чення осадків і шламу на поверхні твердої ізоляції, що знаходиться в маслі веде до перемикання і пошкоджень. Крім того, осадки закупорюють канали між обмотками трансформатора і погіршують його охолодження.

Окислення масла здійснюється під впливом кисню повітря, підвищеної температури і домішок. Окремо ці фактори діють на масло значно слабше.

Якість масла перевіряється шляхом періодичного *відбору проб* та їх *лабораторного аналізу*.

Пробу відбирають у сухі й чисті скляні банки з притертими пробками, на яких закріплюють етикетки з переліком обладнання, датою, причинами відбору, а також прізвищем особи, яка брала пробу. Якщо масло відбирається в нестандартний посуд (наприклад, пляшки), то він закривається пробкою (не гумовою), яку обертають пергаментним папером, і заливається сургучем або парафіном. Для отримання проби відкривають спускний вентиль у нижній частині трансформатора, спускають не менш 2 л масла, щоб злити брудне масло, яке зібралось у нижній частині трансформатора біля крана. Потім обтирають чистою ганчіркою кран від бруду і відливають трохи масла, для промивання крана, та промивають двічі банку маслом із трансформатора. Потім відбирають у посуд не менш 0,5 л масла для випробування на пробі і 1 л – для скороченого та повного аналізу.

Проби масла з трансформаторів і реакторів, установлених на відкритому повітрі, потрібно відбирати в суху погоду, взимку – у морозну. При відбиранні проби масла взимку банку слід прогріти теплим маслом із трансформатора і потім, швидко виливши, набрати масло для проби.

Якщо для випробувань масло необхідно перевозити, то пробку також заливають парафіном, щоб в масло не потрапляла волога з повітря. Посуд з маслом, що занесли з морозу в тепле приміщення, не можна розкривати раніше, ніж він не прогріється до кімнатної температури, щоб запобігти утворенню конденсату парів вологи.

Перед випробуванням посуд з маслом повільно перевертають декілька разів, щоб перемішати масло, але треба це робити так, щоб в маслі не з'явилися бульбашки повітря. Потім відкривають пробку, заливають декілька масла, щоб промити край посуду і тричі промивають передчасно просушені електроди маслопробійника (масло після промивання електродів виливають).

В трансформаторах потужністю до 630 кВ·А включно проби масла в умовах експлуатації не відбирають і масло замінюють за результатами профілактичних випробувань ізоляції.

Для зберігання трансформаторного масла повинні використовуватися сталеві герметичні ємкості (чисті та сухі), що мають усередині маслостійке покриття. Зовні вони повинні мати таке покриття, що захищає від корозії і, при зовнішньому розташуванні, має світловідбиваючі властивості. Допус-

тима температура зберігання масла, при сезонних коливаннях оточуючої температури, від мінус 40 °С до плюс 60 °С.

Трансформаторне масло, що знаходиться у резерві, повинно підлягати випробуванням:

*а) не менше одного разу у три роки в такому обсязі:*

- 1) пробивна напруга;
- 2) температура спалаху;
- 3) кислотне число;
- 4) реакція водної витяжки;
- 5) наявність механічних домішок і нерозчиненої води;

*б) один раз на рік у такому обсязі:*

- 1) пробивна напруга.

Для диференційованого підходу до оцінювання якості масел, які експлуатуються, та з урахуванням вимог експлуатації електрообладнання поділяють на категорії, наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 - Категорії високовольтного маслonaповненого обладнання

Клас напруги, кВ	Категорія відповідно до класу напруги	Категорія відповідно до класу напруги і типу обладнання		
		Силові трансформатори і реактори	Вимірjувальні трансформатори і уводи	Вимикачі
750	А	А1	А2	-
220-500	Б	Б1	Б2	Б3
60-150	В	В1	В2	В3
15-35	Г	Г1	Г2	Г3
до 15	Д	Д1	Д2	Д3

Повному аналізу масло підлягає на нафтоперегінному заводі та в експлуатації після регенерації.

Перед увімкненням під напругу трансформаторів і реакторів після монтажу або ремонту масло, залите в них, повинне підлягати **скороченому аналізу**.

В рамках скороченого аналізу якості трансформаторного масла визначаються показники наступних параметрів:

- зовнішній вигляд і колір;
- наявність механічних домішок;
- наявність вільної води, яка визначається візуально;
- пробивна напруга;
- кислотне число;
- температура спалаху в закритому тиглі;
- реакція водної витяжки (вміст водорозчинних кислот і лугів).

Таблиця 2 - Вимоги до якості експлуатаційних трансформаторних масел

Показники якості масла	Категорія обладнання	Гранично допустиме значення показника якості	Періодичність визначення показників якості масла	Заходи, що застосовуються у разі підвищення гранично-допустимого значення
1	2	3	4	5
1 Пробивна напруга, кВ	А Б  В (тільки для обладнання класу напруги 150кВ) В (крім обладнання класу напруги 150кВ) Г (тільки для трансформаторів власних потреб) Г (крім трансформаторів власних потреб) Д	60/553) 50/453)  45/403) 40/353) 30/253) 25 20	А, Б: через 3 місяці після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки  В, Г: через 12 місяців після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки  Д: 1 раз у 6 років	Фільтрація, обробка центрифугою, обробка цеолітами, вакуумна обробка. У разі великого вмісту вологи в маслі може знадобитися підсушка ізоляції активної частини (рішення приймається з урахуванням показників 6 і 8)
2 Кислотне число, мг КОН/г масла	А, Б, В, Г, Д  А, Б, В, Г, Д	0,1  0,25	А, Б, В, Г: 1 разу 3 роки  Д: 1 раз у 6 років	Заміна адсорбенту в термосифонних або адсорбційних фільтрах Регенерація або заміна масла
3 Вміст водорозчинних кислот, мг КОН/г масла	А, Б, В, Г, Д  Для негерметичних уводів до 500 кВ включно	0,014  0,03	А, Б, В, Г: 1 разу 3 роки Д: 1 раз у 6 років 1 раз у 3 роки	Заміна адсорбенту в термосифонних або адсорбційних фільтрах Заміна масла

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
4 Температура спалаху в закритому тиглі, °С5)	А, Б В, Г Д	Для усіх категорій: зниження на 5 °С у порівнянні з попереднім аналізом, але не більше 15 °С у порівнянні з початковою величиною	А,Б: через 3 місяці після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки В,Г: через 12 місяців після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки Д: 1 раз у 6 років	Виявлення та усунення причин розкладу масла. Проведення хроматографічного аналізу. При температурі спалаху в закритому тиглі менше 120 °С - вакуумна обробка масла
5 Тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С, %	А Б В, Г	5,0 10,0 15,0	А, Б: через 3 місяці після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки В, Г: через 12 місяців після введення в експлуатацію, далі 1 раз у 3 роки	Заміна адсорбенту в термосифонних або адсорбційних фільтрах. При досягненні граничних значень за показниками 2 або 10 - регенерація чи заміна масла
6 Вологовміст, % маси (г/т)	А, Б, а також усі категорії обладнання з азотним та плівковим захистом. Для решти категорій обладнання без спеціальних засобів захисту з системою охолодження М і Д	0,002 (20) Відсутність	Перед уведенням в експлуатацію, через 3 місяці після вмикання, потім 1 раз у 3 роки	Обробка цеолітом, вакуумна сушка
7 Газовміст, % об'ємні	Для всіх категорій обладнання з плівковим захистом масла, якщо немає інших вимог заводів-виготовлювачів обладнання	2,0	Перед уведенням в експлуатацію, через 3 місяці після введення, потім 1 раз у 3 роки, якщо немає інших вимог заводів-виготовлювачів	Дегазація масла



Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
8 Вміст механічних домішок, % маси, (г/г)	А  А  Б, В, Г	0,0015 (15)  1000шт у 10 мл масла (розмір часток більше 10 мкм) <sup>9)</sup>  Не нормується	Періодичність для категорії А така сама, як при перевірці пробивної напруги  Для решти категорій при проведенні планових аналізів - візуальний контроль наявності	Фільтрація
9 Вміст антиокислювальної присадки іонол (агідол-1)	А, Б, В	0,1	Перед введенням в експлуатацію, потім через 3 роки	Уведення іонолу (агідолу-1) в масло
10 Розчинний і нерозчинний в маслі осад	А, Б	Відсутність	При кислотному числі 0,1 мг КОН/г масла і більше	Регенерація масла
11 Питомий опір, при 90 °С, ГОм.м	А, Б	При 20 °С 200 ГОм.м, при 90 °С 1 ГОм.м	Рекомендується провадити сумісно з визначенням показника 5	Показник факультативний. Рекомендується для прийняття рішення щодо регенерації або заміни масла
12 Поверхнений натяг, мН/м	А, Б, В	15	Через 12 місяців після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 6 років	Показник факультативний. Рекомендується для прийняття рішення щодо регенерації або заміни масла

Скорочений аналіз масла здійснюється в такі строки:

- масло з силових трансформаторів напругою 6 кВ і вище з термосифонними фільтрами, негерметичних маслонаповнених вводів – не рідше 1 разу на 3 роки;
- з герметичних вводів – при підвищених значеннях кута діелектричних втрат вводів;
- з силових трансформаторів – при спрацюванні газових реле;
- з масляних вимикачів при капітальному, поточному ремонті та в міжремонтний період;
- для трансформаторів без термосифонних фільтрів – 1 раз на рік.

Позачергово відбирати проби масла для скороченого аналізу потрібно з усіх трансформаторів при зменшенні опору ізоляції, при появі ознак внутрішнього пошкодження трансформатора та реактора (виділення газу, сторонні шуми всередині трансформатора та реактора тощо).

Необхідність збільшення кількості показників якості масел та зменшення періодичності контролю визначається рішенням технічного керівника енергопідприємства.

Для *подовження строку служби масла* і, як наслідок, строку служби самого трансформатора здійснюють такі заходи:

1. Повністю або частково захищають масло від контакту з зовнішнім повітрям.

Трансформатори мають розширники, що змонтовані на кришці бака, це різко скорочує поверхню контакту масла з оточуючим середовищем. На великих трансформаторах монтують фільтри, що поглинають кисень і вологу з повітря, яке потрапляє в трансформатор при його роботі.

Існують трансформатори з азотним захистом масла, в яких повітря між кришкою бака і маслом викачане і замінено на азот. На кришці баку закріплена ємність (еластичний мішок), об'єм якого змінюється залежно від температури нагріву трансформатора. Деякі з фірм встановлюють на кришку бака трансформатора клапанний пристрій, якій при нагріві трансформатора надлишок азоту, що знаходиться під кришкою, випускає в атмосферу, а при охолодженні трансформатора – герметизує його.

2. Знижують температуру нагріву масла при експлуатації.

Відповідно до ПТЕ баки трансформатора фарбують світлою фарбою, також забезпечують відповідну вентиляцію і захист від сонячних промінів.

3. Для підтримки необхідної якості ізоляційного масла в експлуатації та уповільнення його старіння масло в трансформаторах з масою масла 1000 кг і більше повинне підлягати безперервній регенерації в термосифонних або адсорбційних фільтрах (в трансформаторах потужністю 160 кВ·А і вище)

**Регенерація масла** (відновлення) - дозволяє вилучити з нього продукти окислення і продукти старіння. Періодичність регенерації - 5...7 років.

Термосифон – циліндр, що заповнений адсорбентом і приєднаний патрубками до верхньої і нижньої частин баку трансформатора (рис.1). Термосифонні фільтри застосовують на трансформаторах з системами охолодження М (ONAN) і Д (ONAF). Масло в термосифонних фільтрах переміщується внаслідок різниці щільності нагрітого і охолодженого масла. Масло, циркулюючи в термосифоні очищується від води, кислот, смол і шламу.

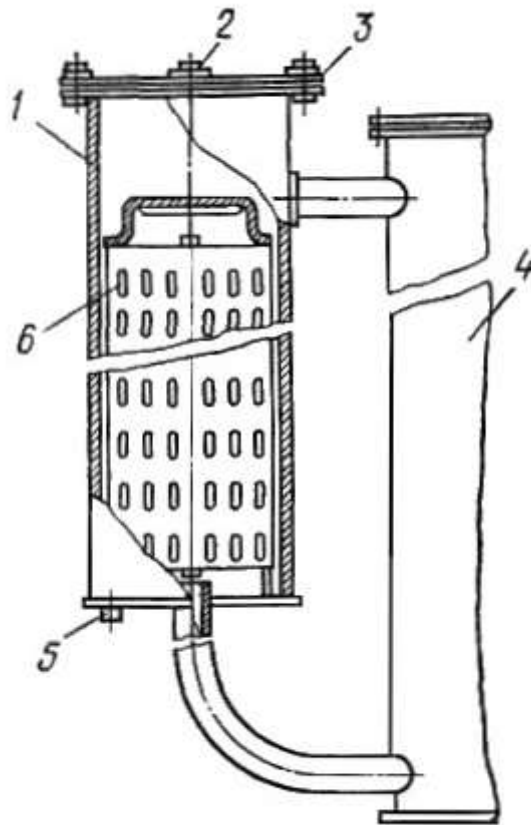


Рисунок 1 - Типовий термосифонний фільтр для трансформатора ТМ 10/0,4 кВ: 1 - циліндр, 2 і 5 - пробки для випуску повітря і спуску масла, 3 - знімна кришка циліндра, 4 - бак трансформатора, 6 - решітка (фільтр) з силікагелем

Регенерація масла можлива і з застосуванням періодичного приєднання адсорбенту (рис.2).

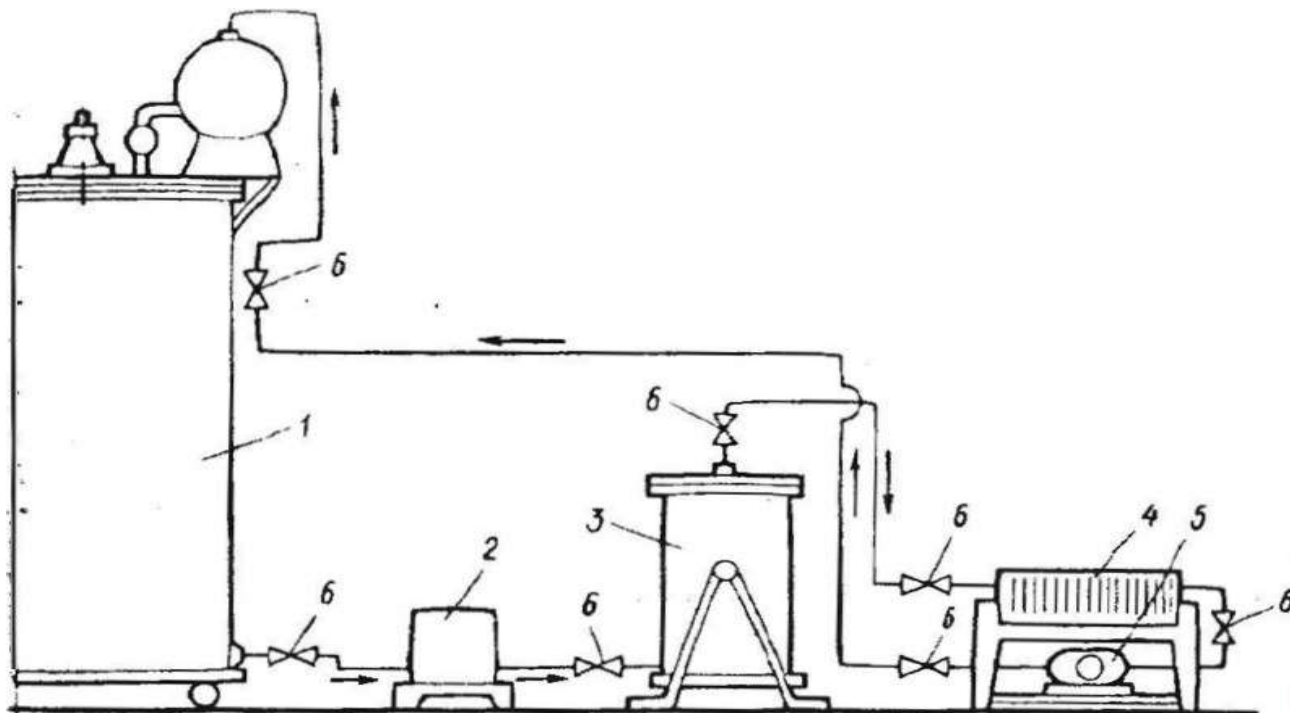


Рисунок 2 - Схема регенерації без зливання масла із трансформатора: 1- трансформатор; 2 - підігрівач; 3 - адсорбер; 4 – фільтр-прес; 5 - насос; 6 - засувки

В трансформаторах з системами охолодження ДЦ (OFAF) і Ц (OFWF) застосовують адсорбційні фільтри, в яких забезпечується примусове тиснення масла крізь фільтри.

Адсорбенти поділяються на природні (відбілююча глина “зикеївська опока”) і штучні (силікагель – КСК, КСМ; активний окисел алюмінію).

В останні роки розроблено комбінований фільтр з двома компонентами силікагелю і більш активного вологопоглинача – цеоліту. Їх співвідношення як 1:2,5. Цеоліти, що вже відробили, відновлюють в умовах стаціонару продуванням гарячим повітрям. Але нормативні документи не рекомендують використовувати один цеоліт, оскільки він не адсорбує продукти старіння масла.

Кількість сорбенту, який засипається в термосифонний фільтр, становить близько 1 % маси масла в трансформаторі (для невеликих трансформаторів – близько 1,25 %, для великих - 0,75 %).

Термосифонний фільтр заповнюється маслом знизу для кращого витиснення повітря з фільтра. При заповненні фільтра маслом повітря випускає пробка на його верхньому патрубку (або на масло охолоднику) залишається

на деякий час відкритою до повного витиснення повітря і закривається після того, як через неї піде масло.

Сорбенти в термосифонних фільтрах трансформаторів потужністю до 630 кВ·А необхідно замінювати, якщо в пробі масла, яка відбирається не рідше 1 разу на 3 роки, є перевищення кислотного числа масла понад 0,1 мг КОН, а в фільтрах більш потужних трансформаторів – при тому ж кислотному числі або при вмісті вологорозчинених кислот більш ніж 0,014 мг КОН. Вміст вологи в сорбенті перед завантаженням в фільтр не повинен перевищувати 0,5 %.

У трансформаторів з системами охолодження ДЦ (OFAF) і Ц (OFWF) у адсорбційному фільтрі вперше сорбент потрібно замінювати після 1 року експлуатації, а потім – не рідше 1 разу на 3 роки, якщо в пробі масла, яка відбирається, виявлено збільшення кислотного числа до 0,1 мг КОН.

Для осушування повітря, яке надходить до трансформатора та реактора, потрібно застосовувати повітроосушник, у якому осушником є силікагель марки КСМ або цеоліт марки NaA.

Для приготування індикаторного силікагелю осушника застосовується силікагель із просоченням хлористим кобальтом. При цьому силікагелю беруть 100 частин, хлористого кобальту – 3 частини. Осушник, приготовлений таким чином, слід поміщати в невеликій кількості (тільки проти оглядового вікна) фільтру, увесь же фільтр заповнюється осушником без його просочення хлористим кобальтом. Це дає можливість відбудовувати осушник при більш високій температурі 400-500 °С, при якій хлористий кобальт розкладається. Рекомендується використовувати готовий індикаторний силікагель.

Контроль за осушником при експлуатації передбачає нагляд за забарвленням сорбенту і рівнем масла в масляному затворі. При посвітлінні кольору окремих зерен слід посилити нагляд за фільтром, а коли декілька зерен набудуть рожевого кольору, його слід замінити, бо при зволоженому сорбенті повітря у фільтрі не сушиться. Незалежно від кольору індикаторного силікагелю сорбент слід замінювати не рідше 1 разу на 6 місяців.

Осушник, насичений хлористим кобальтом, для повторного використання потрібно відновлювати прогріванням при температурі 115-120 °С протягом 15-20 год. до набуття ним блакитного кольору.

При заміні сорбенту в повітроосушнику слід замінити і масло в масляному затворі. Замінювати сорбент слід у суху погоду, вимикаючи повітроосушник з роботи не більш ніж на 3 год.

4. Підвищення в експлуатації стабільності масел, що пройшли регенерацію, досягається застосуванням спеціальних присадок, які гальмують процес окислення. Залежно від механізму дії присадки відносять до таких груп:

- 1) інгібітори – антиокислювачі (інол);

2) деактиватори – речовини, що зменшують каталітичну дію розчинів в маслі, до змісту яких входять метали;

3) пасиватори - речовини, що утворюють на металі плівку, яка запобігає каталітичній дії металів на масло

Наприклад, антранілова кислота – присадка з багатофункціональною дією (деактиватор і пасиватор).

Доливання масла в трансформатори, де вже є масло з присадками (інгібіроване масло), здійснюють тім же маслом, що було залито. Масла різних марок, які мають антиокислювальні присадки, як і різні масла, які не мають присадок, можуть без перешкоди змішуватись у будь-яких кількостях. Змішувати масло без присадки з маслом з присадкою не допускається. Це може призвести до погіршення стабільності суміші. Не дозволяється змішувати масла з нафті різних місцезнаходжень без перевірки впливу на них присадок. Перевірка на стабільність суміші масла здійснюється у випадку, коли змішують інгібіроване і неінгібіроване масло. При цьому стабільність суміші повинна бути не гірше стабільності одного із масел, що має меншу стабільність.

5. Регулярно згідно з планами перевіряють стан масла і при необхідності його очищують.

Якщо при лабораторному аналізі показники якості масла нижчі, порівняно з встановленими нормами, втрачені властивості трансформаторного масла відновлюються очищенням, сушінням і регенерацією.

**Очищення масла.** От води і механічних домішок масло очищують центрифугуванням і фільтруванням.

*Центрифугування* дозволяє відокремити воду і домішки, які важчі за масло. Температура масла повинна бути 45...55 °С.

При зниженій температурі висока в'язкість масла запобігає відокремленню води і домішок, а при підвищеній температурі вище 70 °С воду важко відокремити внаслідок початку пароутворення і підвищеного розчинення води в маслі. Крім того, при підвищеній температурі здійснюється інтенсивне старіння масла.

Центрифугу використовують для очищення масла, що знаходиться в баці трансформатора, який працює, але при суворому виконанні вимог техніки безпеки. Вона здатна очистити масло, до складу якого входять емульсії

*Фільтрування* - протиснення масла крізь пористе середовище (картон, папір, матерія, шар відбілюючого матеріалу або силікагелю) – здійснюють за допомогою фільтрів-пресів.

Фільтрувати масло бажано при температурі 40-50 °С, так як при більшій температурі падає гігроскопічність картону і збільшується розчинність води в маслі. Для очищення 1 т масла потребується біля 1 кг картону.

Фільтр-прес включають, як правило після центрифуги для вилучення залишків шламу і води. Він забезпечує майже граничне очищення масла від води і найменших часток вугілля, найбільш високу електричну міцність масла. Використання в фільтрах-пресах додаткового фільтрувального середовища – силікагелю або глин, що відбілюють, значно знижує кислотне число масла.

**Визначення пробивної напруги трансформаторного масла.** Пробивну напругу трансформаторного масла визначають за допомогою випробувального апарату АИИ-70, схема якого приведена на рисунку 3.

До складу апарату входить високовольтний трансформатор TV, номінальна напруга високовольтної обмотки якого становить 70 кВ, коефіцієнт трансформації  $k=650$ .

Проба масла заливається до фарфорової місткості F з латунними електродами у вигляді секторів куль радіусом 25 мм, діаметр секторів 36 мм. Відстань між електродами складає 2,5 мм. Масло заливається до рівня не менше, ніж на 15 мм вище електродів.

Опір R захищає трансформатор від перевантаження при пробі масла.

Конденсатори C1 та C2 призначені для захисту від перенапруги первинної обмотки трансформатора TV.

Випробувальний апарат АИИ-70 живиться від мережі змінного струму, з частотою 50 Гц, напругою 220 В, що захищена від коротких замикань запобіжниками FU1 та FU2.

Напруга подається на регульований автотрансформатор T контактами KM1.2 магнітного пускача KM1 за допомогою кнопки SB1 чорного кольору.

Автотрансформатор T має допоміжну обмотку для живлення сигнальних ламп HL1 та HL2, призначених для сигналізації про включення високовольтного трансформатора TV та магнітного пускача KM1. Н

а виході трансформатора встановлений кіловольтметр PV1, відградуваний в кіловольтах пробивної напруги на високовольтній обмотці трансформатора TV. Він вмикається та захищається автоматичними вимикачами QF1, один з вимикачів якого шунтується перемикачем SA для одержання більш грубого захисту.

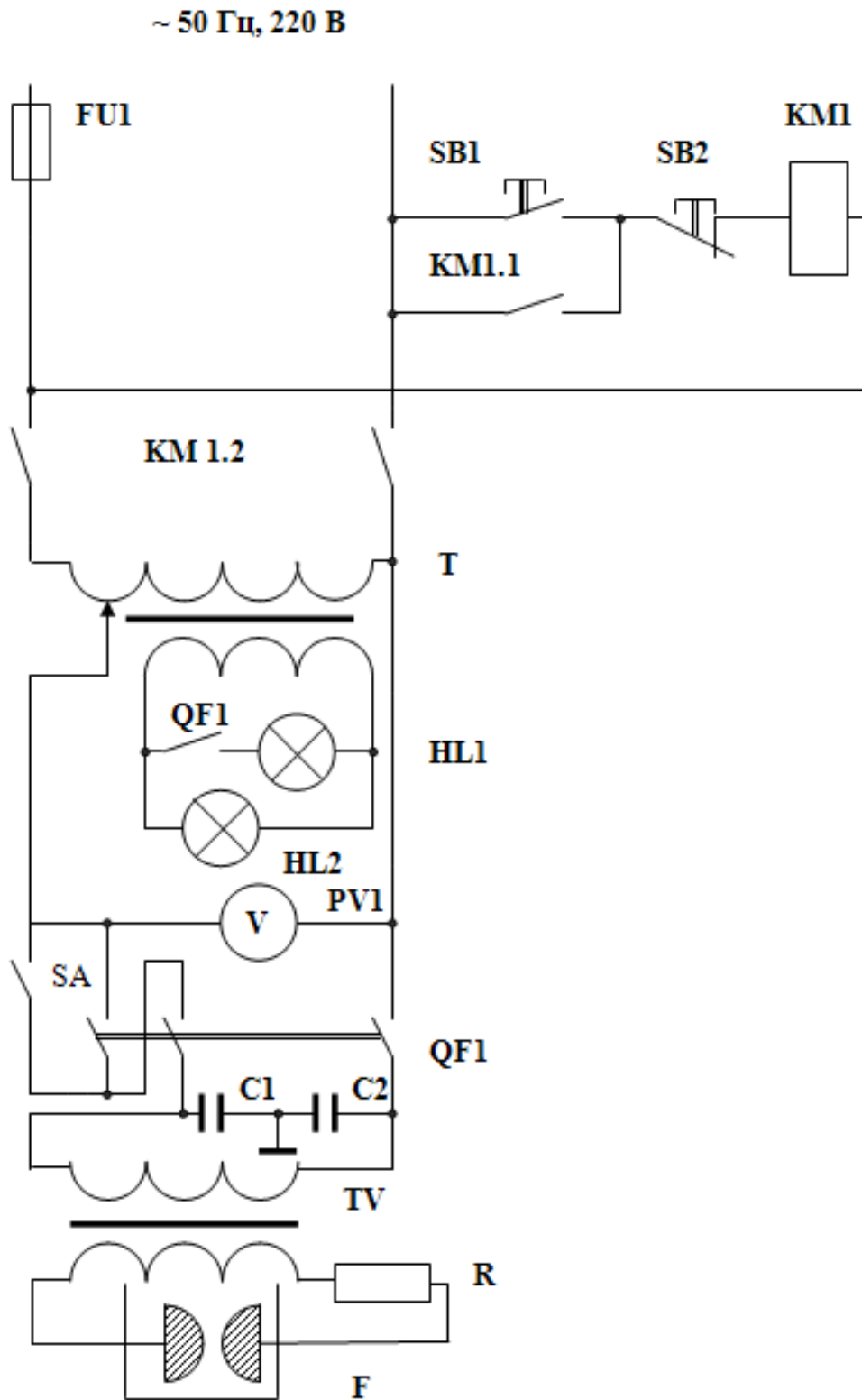


Рисунок 3 – Схема електрична принципова випробувальної установки



## ПРОГРАМА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Встановити рукоятку автотрансформатора Т (див. рис.3) проти годинникової стрілки до упору, що відповідає нульовій величині напруги на виході трансформатора Т.

Перемикач SA «захист» повинен знаходитися в положенні «чутлива».

2. Кнопкою SB1 ввімкнути магнітний пускач KM1, який через контакти KM1.2 подасть струм в обмотку автотрансформатора.

Повинна засвітитися сигнальна лампа HL2.

3. Ввімкнути автоматичний вимикач QF1, який через свої контакти подасть струм в первинну обмотку підвищувального трансформатора TV, а через контакт QF1.1 подасть струм до сигнальної лампи HL1.

4. Поступово підвищувати напругу від 0 до пробою зі швидкістю не більше 1 кВ/с, обертаючи рукоятку автотрансформатора за годинниковою стрілкою та спостерігаючи у спеціальне віконце за проміжком між електродами.

Під час пробою між електродами виникне яскрава дуга, а автоматичний вимикач відключить підвищувальний трансформатор.

5. Почати відлік часу. Покази кіловольтметра записати в протокол випробування.

Обертаючи рукоятку автотрансформатора проти годинникової стрілки, зменшити напругу до 0.

Кнопкою SB1 червоного кольору вимкнути магнітний пускач.

6. Через 5 хвилин провести повторне випробування трансформаторного масла, так, як написано в пунктах 2...5.

7. Для однієї проби масла виконати 5 пробів з інтервалом 5 хвилин. Величина пробивної напруги трансформаторного масла дорівнює середньоарифметичному з 5-х результатів.

8. Оформити протокол випробування трансформаторного масла.

Зробити висновок про можливість подальшого використання випробуваного трансформаторного масла на визначений клас напруги та визначену категорію обладнання.

**ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАНЬ**  
**трансформаторного масла**

1. Організація, що прислала пробу \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

2. Назва маслонаповненого апарату \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

3. Дата взяття проби \_\_\_\_\_

4. Місце взяття проби \_\_\_\_\_

5. Прізвище особи, яка брала пробу \_\_\_\_\_

6. Пробивна напруга в кВ

№ з/п	1	2	3	4	5	Середнє
Напруга, кВ						

7. Висновок \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Начальник лабораторії \_\_\_\_\_ (дата, підпис)

Випробування проводили (прізвища) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(дата, підписи)

## КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які особливості експлуатації трансформаторного масла?
2. Як правильно зробити відбір проби масла?
3. Які основні показники якості трансформаторного масла?
4. Які показники якості трансформаторного масла входять до скороченого аналізу і які особливості проведення такого аналізу?
5. Які заходи використовуються для подовження строку служби трансформаторного масла?
6. Як змінюється електрична міцність трансформаторного масла з підвищенням кількості вологи в ньому?
7. Які існують способи очищення трансформаторного масла?
8. Які присадки застосовують для підвищення стабільності трансформаторного масла?
9. Як провести випробування для визначення пробивної напруги трансформаторного масла?
10. Які заходи слід задіяти у разі підвищення значення пробивної напруги трансформаторного масла понад допустиме значення?
11. Які заходи слід задіяти у разі підвищення значення тангенса кута діелектричних втрат трансформаторного масла понад допустиме значення?

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Приймання, застосування та експлуатація трансформаторних масел. Норми оцінювання якості: СОУ-Н ЕЕ 43.101:2009. – К.: Міненерговугілля, 2018. – 78 с.
2. ГКД 34.20.507-2003. Технічна експлуатація електричних станцій і мереж. Правила (в редакції наказу Міненерговугілля від 21.06.2019 № 271). Електронний ресурс. URL: [http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50043&documentList\\_stind=101](http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/uk/doccatalog/list?currDir=50043&documentList_stind=101)
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Електронний ресурс. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1143-06>

Навчальне видання

**ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВИПРОБУВАННЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНОГО МАСЛА**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи  
з дисципліни «Технічна експертиза та експлуатація  
енергетичного обладнання і засобів автоматизації»**

**Упорядники:  
ТРУНОВА Ірина Михайлівна,  
ПАЗІЙ Володимир Григорович**

Формат 60x84x16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.  
Ум. друк. арк. 1,16.  
Тираж 30 прим.  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка