

Редакція:

17.01.1997

Міністерство енергетики України

ГКД 34.43.101-97

ПРИЙМАННЯ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ  
Методичні вказівки

НДІ Енергетики  
Київ 1998

Передмова

1 РОЗРОБЛЕНО НІЦ «Електромережа» НДІ Енергетики УНВО «Енергопрогрес», ВАТ  
Всеукраїнський інститут трансформаторобудування, АТ НІЦ «ЗТЗ-Сервіс»

2 ВИКОНАВЦІ В.Б. Абрамов, Т.М. Абрамова, Г.Д. Головань, А.І. Панченко, В.В. Соколов,  
М.Я. Осервасер, О.М. Синечко

3 ЗАТВЕРДЖЕНО 1997-01-17 Міністерство енергетики та електрифікації України, В.А.  
Лучніков

4 ЗАМІСТЬ РД 34.43.105-89 Методические указания по эксплуатации  
трансформаторных масел. — Затв. Головтехуправлінням Міненерго СРСР  
РД 34.43.201-88 Типовая инструкция по контролю качества и применению  
импортных трансформаторных масел. — Затв. Головтехуправлінням Міненерго  
СРСР 19.09.88

5 СТРОК ПЕРЕВІРКИ 2002 рік

УДК 621.315.615.2.004.1 ГКД 34.43.101-97

ПРИЙМАННЯ, ЗАСТОСУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНИХ МАСЕЛ  
Методичні вказівки

ПРИЕМКА, ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ТРАНСФОРМАТОРНЫХ МАСЕЛ  
Методические указания

# 1 Галузь використання

1.1 Ці методичні вказівки поширюються на нафтові трансформаторні масла (оливи) всіх марок, що застосовуються в електрообладнанні загального призначення на підприємствах Міненерго України, і є обов'язковими для персоналу цих підприємств.

1.2 На підставі положень цих методичних вказівок підприємства Міненерго України, що експлуатують маслонаповнене електрообладнання, можуть розробляти місцеві інструкції, які враховують конкретні умови і сприяють раціональному використанню трансформаторних масел, підвищенню надійності та подовженню строку служби електрообладнання.

## 2 Нормативні посилання

У цих методичних вказівках є посилання на такі нормативні документи:

- IEC publication 156 (1963) Method for the determination of the electric strength of insulating oils [Публікація IEC 156 (1963) Метод визначення пробивної напруги ізоляційних масел]<sup>1)</sup>;
- IEC publication 247 (1978) Measurement of relative permittivity, dielectric dissipation factor and d.c. resistivity of insulating liquids [Публікація IEC 247 (1978)

<sup>1)</sup> Посилання на цей Міжнародний стандарт має рекомендаційний характер.

Вимірювання відносної діелектричної спроникності, тангенсу кута діелектричних втрат і в питомого опору рідких діелектриків]<sup>1)</sup>;

- IEC publication 296 (1982) Specification for unused mineral insulating oils for transformers and switchgear [Публікація EC 296 (1982) Специфікація на свіжі нафтові ізоляційні масла для трансформаторів та вимикачів]<sup>1)</sup>;

- IEC publication 422 (1989) Supervision and maintenance guide for mineral insulating oils in electrical equipment [Публікація IEC 422 (1989) Правила експлуатації та контролю якості ізоляційних масел в електричному обладнанні]<sup>1)</sup>;

- IEC publication 628 (1985) Gassing of insulating liquids under electrical stress and ionization [Публікація IEC 628 (1985) Газоутворення у рідких діелектриках у разі впливу електричної напруги та іонізації]<sup>1)</sup>;

- IEC publication 666 (1979) Detection and determination of specified antioxidant additives in insulating oils [Публікація EC 666 (1979) Виявлення та визначення антиокислювальних присадок в ізоляційних маслах]<sup>1)</sup>;

- IEC publication 733 (1982) Determination of water in insulating oils, and in oil-impregnated paper and pressboard [Публікація IEC 733 (1982) Визначення води в ізоляційних маслах та в папері і пресованому картоні, які просочені маслом]<sup>1)</sup>;

- EC publication 814 (1985) Determination of water in insulating liquids by automatic coulometric Karl Fischer titration [Публікація IEC 814 (1985) Визначення води у рідких діелектриках за методом Карла Фішера]<sup>1)</sup>;

- EC publication 970 (1989) Methods for counting and sizing particles in insulating liquids

[Публікація ЕС 970 (1989) Методи підрахунку та класифікації за розміром часток у рідких діелектриках]<sup>1)</sup>;

- EC publication 997 (1989) Determination of polychlorinated biphenyls (PCBs) in mineral insulating oils by packed column gas chromatography (GC) [Публікація IEC 997 (1989) Визначення поліхлорбіфенілів (ПХБ) у мінеральних ізоляційних маслах за допомогою колонкової газової хроматографії]<sup>1)</sup>;

- EC publication 1125 (1992) Unused hydrocarbon-based insulating liquids - Test methods for evaluating the oxidation stability [Публікація IEC 1125 (1992) Свіжі рідкі діелектрики на основі вуглеводнів - Методи випробувань для оцінювання стабільності проти окислення]<sup>1)</sup>;

<sup>1)</sup> Посилання на цей Міжнародний стандарт має рекомендаційний характер.

- IEC publication 1198 (1993) Mineral insulating oils - Methods for determination of 2-furfural and related compounds [Публікація IEC 1198 (1993) Мінеральні ізоляційні масла - Методи визначення 2-фурфуролу та похідних сполук]<sup>1)</sup>;

1. ISO Standard 2049 (1972) Petroleum products - Determination of color

(Стандарт ISO 2049-72 Нефтепродукты. Метод определения цвета)<sup>1)</sup>;

- ISO Standard 2719 (1988) Petroleum products - Determination of flash point -Pensky-Martens closed cup method (Стандарт ISO 2719 - 88 Нефтепродукты и смазочные материалы. Определение точки вспышки. Метод Пенски-Мартенс в закрытом сосуде)<sup>1)</sup>;

1. ISO Standard 3016-(1974) Petroleum oils - Determination of pour point

(Стандарт ISO 3016 - 74 Масла нефтяные. Метод определения температуры застывания)<sup>1)</sup>;

- ISO Standard 3104 (1976) Petroleum products - Transparent and opaque liquids - Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity (Стандарт ISO 3104 - 76 Нефтепродукты светлые и темные. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости)<sup>1)</sup>;

- ISO Standard 3675 (1976) Crude petroleum and liquid petroleum products -Laboratory determination of density or relative density - Hydrometer method (Стандарт ISO 3675 - 76 Нефть сырая и жидкие нефтепродукты. Лабораторное определение плотности или относительной плотности при помощи ареометра)<sup>1)</sup>;

- ISO Standard 5562 (1978) Petroleum products - Electrical insulating oils -Detection of corrosive sulphur (Стандарт ISO 5562 - 78 Нефтепродукты. Масла трансформаторные. Метод определения коррозионной серы. НП)<sup>1)</sup>;

-ISO Standard 6295 (1983) Petroleum products - Mineral oil - Determination of interfacial tension of oil against water by the ring method (Стандарт ISO 6295 - 83 Нефтепродукты. Минеральные масла. Определение натяжения на границе раздела фаз масло - вода. Метод с применением кольца. НП)<sup>1)</sup>;

- ASTM standard D 2144 - 94 Methods for examination of electrical insulating oils by infrared absorption (Стандарт ASTM D 2144 - 94 Методи дослідження електроізоляційних масел за допомогою інфрачервоного поглинання)<sup>1)</sup>;

- ASTM standard D 3635 - 90 Test method for copper in electrical insulating oil by atomic absorption spectrophotometry (Стандарт ASTM D 3635 - 90 Метод

<sup>1)</sup> Посилання на цей Міжнародний стандарт має рекомендаційний характер. визначення міді в електроізоляційному маслі за допомогою атомної абсорбційної спектрофотометрії)<sup>1)</sup>;

- I/IEEE C.57.106-1993 An American National Standard IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Insulating Oil in Equipment (Американский национальный стандарт по приемке и эксплуатации изоляционного масла в маслонаполненном оборудовании)<sup>1)</sup>;

- ГОСТ 12.1.007 - 76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности;

- ГОСТ 12.1.044 - 89 (СТ СЭВ 4831 - 84, СТ СЭВ 6219 - 88, СТ СЭВ 6527 - 68) ССБТ.

Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения;

- ГОСТ 33 - 82 Нефтепродукты. Метод определения кинематической и расчет динамической вязкости;

- ГОСТ 981 - 75 Масла нефтяные. Метод определения стабильности против окисления;

- ГОСТ 982 - 80 Масла трансформаторные. Технические условия;

- ГОСТ 1461 - 75 Нефть и нефтепродукты. Метод определения зольности;

- ГОСТ 1510-84 (СТ СЭВ 1415 - 78) Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение;

- ГОСТ 1547 - 84 Масла и смазки. Метод определения наличия воды;

- ГОСТ 2517 - 85 Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб;

- ГОСТ 2917 - 76 Масла и присадки. Метод определения коррозионного воздействия на металлы;

- ГОСТ 3900 - 85 (СТ СЭВ 6754 - 85) Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности;

- ГОСТ 3956 - 76 Силикагель технический. Технические условия;

- ГОСТ 5439 - 76 Газы горючие природные и искусственные. Метод определения объемной доли компонентов на комплектах для газовых анализов типа КГА;

- ГОСТ 5789 - 78 Толуол. Технические условия;

- ГОСТ 5985 - 79 (СТ СЭВ 3963 - 83) Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа;

<sup>1)</sup> Посилання на цей Міжнародний стандарт має рекомендаційний характер.

- ГОСТ 6307 - 75 (СТ СЭВ 3967 - 83) Нефтепродукты. Метод Определения наличия водорастворимых кислот и щелочей;

- ГОСТ 6356 -75 (СТ СЭВ 1495 - 79) Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле;

1. ГОСТ 6370 - 83 (СТ СЭВ 2876 - 81) Нефть, нефтепродукты и присадки.

Метод определения механических примесей;

- ГОСТ 6433.5 - 84 (СТ СЭВ 2121 - 80) Диэлектрики жидкие. Отбор проб;

1. ГОСТ 6581 - 75 (СТ СЭВ 3166 - 81) Материалы электроизоляционные жидкие. Методы электрических испытаний; - ГОСТ 6722 - 75 Картон фильтровальный технический. Технические условия;
  - ГОСТ 7822 - 75 Масла нефтяные. Метод определения растворенной воды;
  - ГОСТ 8136 - 85 Оксид алюминия активный. Технические условия;
  - ГОСТ 8984 - 75 Силикагель-индикатор. Технические условия;
  - ГОСТ 10121 - 76 Масло трансформаторное селективной очистки. Технические условия;
  - ГОСТ 11362 - 76 (СТ СЭВ 5025 - 85) Нефтепродукты. Метод определения числа нейтрализации потенциометрическим титрованием;
  - ГОСТ 11677 - 85 (СТ СЭВ 1102 - 86) Трансформаторы силовое. Общие технические условия;
  - ГОСТ 17216 - 71 Промышленная чистота. Классы чистоты жидкостей;
  - ГОСТ 18300 - 87 Спирт этиловый ректификованный технический. Технические условия;
  - ГОСТ 19121 - 73 (СТ СЭВ 3361 - 81) Нефтепродукты. Метод определения содержания серы сжиганием в лампе;
  - ГОСТ 19296 - 73 Масла нефтяные. Фотоэлектроколориметрический метод определения натровой пробы;
  - ГОСТ 20284 - 74 Нефть и нефтепродукты. Метод определения цвета на колориметре ЦНТ;
  - ГОСТ 20287 - 91 Нефтепродукты. Метод определения температур текучести и застывания;
1. ГОСТ 24614 - 81 Жидкости и газы, не взаимодействующие с реактивом Фишера. Кулонометрический метод определения воды;
- 1) Посилання на цей Міжнародний стандарт має рекомендаційний характер.
- ТУ 34-11-11066 - 86 Установка для обработки трансформаторного масла типа УВМ-2. Технические условия;
1. ТУ 34-38-8509 - 386 Установка маслоочистительная ПСМ1-3000, поставляемая для экспорта. Технические условия;
  - ТУ 34-38-10217 - 81 Установка передвижная сепараторная маслоочистительная ПСМ2-4. Технические условия;
  - ТУ 34-38-10610 - 83 Машина маслоочистительная СМ1-3000. Технические условия;
  - ТУ 34-38-10612 - 83 Фильтропресс ФП2-3000. Технические условия;
  - ТУ 34-38-11043 - 86 Машина сепараторная маслоочистительная СМ2-4. Технические условия;
  - ТУ 34-38-11103 - 86 Фильтропресс рамный ФП4-4. Технические условия;
  - ТУ 34-43-1090 - 78 Установка блочная цеолитовая БЦ-77-1100. Технические условия;
  - ТУ 34-43-1347 - 78 Установка передвижная вакуумной обработки и азотирования трансформаторного масла типа УВМ-1. Технические условия;
  - ТУ 34-43-11020 - 86 Установка цеолитовая передвижная М002-А

Технические условия;

- ТУ 38-10281 - 75 Цеолиты общего назначения формованные со связующими.

Технические условия;

- ТУ 81-04-178 - 78 Бумага фильтровальная ДРКБ. Технические условия;

- ТУ 81-04-519 - 78 Материал фильтровальный МФ-16 для масляных полнопоточных фильтров двигателей ЯМЗ и КАМАЗ. Технические условия;

- ТУ 113-12-11.075 - 87 Силикагель-индикатор. Тип ИС-2. Технические условия;

- ТУ 38.101.281 - 80 Масло трансформаторное адсорбционной очистки ТАп.

Технические условия;

- ТУ 38.101.857 - 80 Масло трансформаторное МВ. Технические условия;

- ТУ 38.101.890 - 81 Масло трансформаторное ТКп. Технические условия<sup>1)</sup>;

- ТУ 38.101.1025 - 85 Масло трансформаторное гидрокрекинга ГК. Технические условия;

<sup>1)</sup> Масло марки ТКп за цими ТУ не виробляється, але знаходиться в експлуатації.

- ТУ 38.101.1271-89 Масло трансформаторное арктическое АГК. Технические условия;

- ТУ 38.401.58.49 - 92 Масло трансформаторное ТКп. Технические условия.

- Правила пожежної безпеки в Україні. - Затв. наказом МВС України від 22.06.95 №400;

- Общесоюзные нормы технологического проектирования. Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности. - Затв. МВС СРСР 27.02.86;

- РД 34.20.501 Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. - Затв. Міненерго СРСР 20.02.89;

- РД 34.43.202 Масла трансформаторные. Методика определения содержания механических примесей: РТМ 34-70-653 - 83. - Затв. Головтехуправлінням Міненерго СРСР 21.11.83;

- РД 34.46.302 - 89 Методические указания по диагностике развивающихся дефектов по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов (временные). - Затв. Головтехуправлінням Міненерго СРСР 12.12.89;

- РД 34.46.303 - 89 Методические указания по подготовке и проведению хроматографического анализа газов, растворенных в масле силовых трансформаторов. - Затв. Головтехуправлінням Міненерго СРСР 14.12.89;

- Инструкция ОВБ 463.252 - 66 Эксплуатация прибора для определения объемного содержания воздуха в масле при монтаже трансформаторов (Запорожский трансформаторный завод);

- Правила устройства электроустановок. 6-е изд., перераб. и доп. - Москва: Энергоатомиздат, 1986. - Зі змінами та доповненнями.

З Стислі відомості про трансформаторні масла та їх класифікація

### **3.1 Загальні положення про виробництво і властивості трансформаторних масел**

3.1.1 Трансформаторні масла є продуктом очищення (рафінування) дистилятів, які отримують у результаті розгонки нафт. Ці дистиляти вміщують фракції, що википають при атмосферному тиску в діапазоні температур від 300 до 400 °С. Природа хімічних сполук википаючих фракцій багато в чому визначається походженням нафт.

3.1.2 Якість і характеристики трансформаторних масел визначаються складом їх компонентів, процес очищення дистилятів є спрямованим регулюванням цього складу.

3.1.3 Правильний вибір вихідної нафти (наприклад нафтової, безсіркової) дозволяє отримати дистилят, окремі характеристики якого практично не відрізняються від аналогічних для трансформаторного масла. Технологія очищення дистиляту, в цьому разі, вигідно відрізняється за складністю від випадку використання для перегонки інших (наприклад, парафіністої, сіркової) нафт, де повинні використовуватися додаткові стадії обробки для отримання високоякісних масел. Зміна сировини (нафти) повинна призводити до зміни технології очищення дистиляту для отримання трансформаторного масла тієї самої якості. У зв'язку з цим Публікація IEC 296 (стандарт МЕК) оговорює можливості зажадання покупцем інформації про сировину - і технологію, що використовуються для виробництва масел.

3.1.4 Тільки урахування повного переліку вихідних параметрів, наведеного у розділі 4, дасть змогу на стадії постачання ідентифікувати масло і визначити можливість і доцільність його використання втому чи іншому типі обладнання.

3.1.5 До складу трансформаторних масел входять вуглеводневі компоненти (парафіни, нафени, ароматичні вуглеводні) і обмежені за вмістом неуглеводневі компоненти. Цей склад залежно від процентного вмісту компонентів визначає такі властивості масел, як стійкість до окислення, інакше - термоокисну стабільність, стійкість до впливу електричного поля, діелектричні властивості та ін.

3.1.6 Відомості, що дозволяють оцінити стабільність, стійкість, розчинюючу здібність, в'язкість, а також інші необхідні властивості масел, можна отримати або із супроводжуючої документації, зажадавши доповнення її необхідною інформацією, або виконавши спеціальний обсяг досліджень, який би доповнив обов'язкові дані, що наведені далі в 3.4 (таблиця 3.1).

У першому випадку необхідна інформація щодо хімічного складу масел.

Інтерпретація цієї інформації є предметом спеціальних знань. Відзначимо тільки, що термоокисна стабільність і розчинююча здатність масел неоднозначно пов'язані з концентрацією ароматики: розчинність газів та вологи збільшується із збільшенням вмісту в маслах ароматичних вуглеводнів, а стабільність масел знижується. Проте, її регулюючи склад ароматики, можна, і при великій її концентрації, досягти високої стабільності масла. Стійкість до впливу електричного поля пов'язана зі складом насичених вуглеводнів: масла на нафтової основі характеризуються більшим значенням електричної напруги початку виникнення часткових розрядів, ніж масла з підвищеним вмістом парафінів.

У другому випадку додаткові дослідження можуть бути виконані тільки із залученням спеціалізованих базових лабораторій, що мають аналітичну апаратуру і стенди, які дозволяють провести фізико-хімічний аналіз та комплексні

електрофізичні й фізико-хімічні випробування масел відповідно до вимог міжнародних стандартів.

До додаткових досліджень необхідно віднести: інфрачервоний, ультрафіолетовий та мас-спектральні аналізи вуглеводневого складу масел; газостійкість масел в електричному полі; стійкість до впливу часткових розрядів; термоокисну стабільність відповідно до міжнародних стандартів.

3.1.7 Можна рекомендувати виконувати додаткові дослідження із залученням таких спеціалізованих організацій, як НДІ Енергетики УНВО «Енэргопрогрес», ВАТ ВІТ, АТ НІЦ «ЗТЗ-Сервіс», УкрНДІНП «МАСМА».

## **3.2 Способи очищення масляних дистилятів**

3.2.1 Існують декілька основних способів очищення дистиляту нафтових трансформаторних масел. До них необхідно віднести кислотно-лужне очищення, селективне очищення, гідроочищення (гідрокрекінг), адсорбційне очищення. Для отримання високоякісних трансформаторних масел застосовують, як правило, декілька способів, які доповнюють один одного.

3.2.2 Кислотно-лужне очищення зводиться до обробки дистиляту сірчаною кислотою концентрацією від 93 % до 98 %.

При цьому з дистиляту осаджуються і видаляються з кислим гудроном асфальтосмолисті та азотисті сполуки, ненасичені вуглеводні, поліциклічні ароматичні вуглеводні, нафтенові кислоти. Подальша обробка лугом призводить до нейтралізації залишків сірчаної кислоти, нафтових кислот, фенолів, сульфокислот і ефірів сірчаної кислоти. Після закінчення нейтралізації масло нагрівають, промивають водою до нейтральної реакції і підсушують продувкою повітря при температурі від 70 до 95 °С.

На підприємствах Міненерго України експлуатуються такі марки трансформаторних масел кислотно-лужного очищення: ТКп (ТУ 38.101.890), Т-750 (ГОСТ 982), Т-1500 (ГОСТ 982), МВ (ТУ 38.101.857).

3.2.3 Селективне очищення - це вибіркове видобування розчинником із дистиляту небажаних компонентів.

Із великої кількості розчинників, запропонованих для очищення нафтопродуктів, у виробництві трансформаторних масел знайшли застосування фенол і фурфурол. Для отримання масла із сірчаних нафт використовується в основному фенол. Відомо і використовується трансформаторне масло марки ТСп (ГОСТ 10121), що пройшло селективне очищення.

3.2.4 Гідрокрекінг - комбінований вплив на дистилят температури, тиску і гідрогенізації.

Сірчані, кисневі та азотисті сполуки в умовах гідрокрекінгу перетворюються з утворенням сірководню, води, аміаку. З вуглеводневої частини утворюються з основному насичені вуглеводні.

Ці масла характеризуються низьким вмістом ароматичних вуглеводнів.

На енергопідприємствах України в основному застосовується масло марки ГК (ТУ 38.101.1025), що пройшло очищення гідрокрекінгом. Відомо також масло марки АГК (ТУ 38.101.1271), що отримується тим самим способом.

3.2.5 Адсорбційне очищення застосовується як основний процес очищення трансформаторних дистилятів і як заключна операція з доочищення масел, що отримують іншими способами. У процесі адсорбційного очищення використовують синтетичні і природні адсорбенти (активний оксид алюмінію, силікагель, зикейвська опока та ін.).

Адсорбційне очищення дистиляту, наприклад, використовується при виробництві масла марки ТАп (ТУ 38.101.281).

### 3.3 Присадки

3.3.1 Для підсилення або надання необхідних властивостей в базові (отримані після очищення дистилятів) трансформаторні масла додають присадки. Найважливішими з них є:

- антиокислювальні присадки (інгібітори), які підвищують протиокислювальну стабільність масла. Як таку присадку, в основному, використовують 2,6-дітретичний бутил-4-метилфенол, що має назву іонол (синоніми: агідол-І; керобіт; 2,6-дітретбутилпаракрезол, ДБПК, ДБК, топанол-О);

- депресорні присадки (депресанти), які знижують температуру застигання масел, що містять підвищений процент парафінів.

Існують й інші присадки, які підвищують газостійкість, збільшують розчинність газів, пасивують вплив металів та ін.

3.3.2 З огляду на це трансформаторні масла необхідно поділяти на масла без присадок і масла з присадками (окремий випадок - неінгібіровані та інгібіровані масла).

3.3.3 Потрібно зауважити, що введенням присадок корегуються властивості масел, обумовлені їх вуглеводневим складом, тому інформація про наявність і природу присадок є важливою при прийнятті рішень щодо змішування масел.

3.3.4 При прийнятті рішення щодо застосування масла необхідне! враховувати, що трансформаторні масла, які експлуатуються на енергопідприємствах Міненерго України, вміщують антиокислювальну присадку іонол.

### 3.4 Класифікація трансформаторних масел за фізичними показниками

3.4.1 З вуглеводневим складом трансформаторних масел пов'язані такі важливі фізичні показники як густина, температура застигання, температура спалаху.

3.4.2 Підвищення вмісту нафтенів і ароматичних вуглеводнів є, стосовно ряду показників, позитивним фактором: збільшується газостійкість, підвищується розчинююча здатність, знижується температура застигання масел. Однак, при цьому збільшується густина масел. Для виключення «вспливання» кристалів льоду при температурах нижче за 0 °С рекомендаціями ІЕС значення густини обмежується величиною, що дорівнює 0,895 кг/дм<sup>3</sup>.

Парафіни є найбільш стабільними вуглеводнями, однак збільшення їх вмісту підвищує температуру застигання масел.

Наявність низькомолекулярних вуглеводневих фракцій знижує температуру

спалаху масел. Разом з тим, ця температура регламентується не стільки протипожежними вимогами, скільки необхідністю досягнення можливості проведення глибокої дегазації і осушки масел, що забезпечується у разі достатньо низької пружності пари. Рекомендаціями ІЕС значення температури спалаху обмежуються величиною не менше 130 - 140 °С. Однак, за наявності існування зв'язку між температурою спалаху (присутність низькокиплячих фракцій) і в'язкістю та з огляду на забезпечення низької в'язкості при температурах нижчих за 0 °С, для вимикачів дозволяється застосовувати спеціальні марки трансформаторних масел з температурою спалаху в закритому тиглі не менше 95 °С.

3.4.3 Публікація ІЕС 296 поділяє свіжі масла на три класи. Поділ ґрунтується на значеннях температури спалаху, температури застигання і в'язкості при 40 °С та при заданій більш-низькій температурі. Значення характеристик інгібірованих та неінгібірованих масел, що відповідають цим класам, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Дані Публікації ІЕС296 щодо специфікації нафтових ізоляційних масел при їх поставці

| Параметр                                                                                         | Норма для масла класу                       |                         |                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                                                                                                  | I                                           | II                      | III                  |
| 1 Кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с:<br>при 40 °С<br>20 °С<br>-15 °С<br>-30 °С<br>-40 °С | ≤16,5<br>≤40,0<br>≤800                      | ≤11,0<br>≤25,0<br>≤1800 | ≤3,5<br>≤6,0<br>≤150 |
| 2 Температура спалаху, °С                                                                        | ≥140                                        | ≥130                    | ≥95                  |
| 3 Температура застигання, °С                                                                     | ≤30                                         | ≤45                     | ≤60                  |
| 4 Зовнішній вигляд                                                                               | Чисте, вільне від осаду та змулених речовин |                         |                      |
| 5 Густина при 20 °С, кг/дм <sup>3</sup>                                                          | ≤0,895                                      |                         |                      |
| 6 Кислотне число, мг КОН/г масла                                                                 | ≤0,03                                       |                         |                      |
| 7 Корозійна сірка                                                                                | Некорозійна                                 |                         |                      |
| 8 Антиокислювальна присадка                                                                      | 1)                                          |                         |                      |
| 9 Стабільність проти окислення                                                                   | 2)                                          |                         |                      |
| 10 Пробивна напруга, кВ:<br>при поставці<br>при обробці                                          | ≥30<br>≥503)                                |                         |                      |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| 1) Тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С і частоті від 40 до 60 Гц, в.о.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ≤ 0,005 |
| <p>1) Неінгібірованими вважаються масла, що не вміщують іонолу або вміщують його в кількості менше 0,08 %; інгібіровані масла - масла, що вміщують іонол в кількості від 0,15 % до 0,40 %.</p> <p>2) Процедура випробувань і характеристики - відповідно до Публікації IEC 1125,</p> <p>3) Обробка включає видалення із зразка масла, що випробовується, вологи та механічних домішок нагріванням його до 60 °С і фільтруванням у вакуумі при тиску близько 2,5 кПа крізь скляний фільтр з пористістю класу P10.</p> |         |

## 3.5 Класифікація трансформаторних масел за їх станом

3.5.1 У цих методичних вказівках використовується поняття «стан трансформаторного масла», при цьому мається на увазі сукупність властивостей трансформаторного масла, які зазнають змін у процесі збереження та експлуатації.

3.5.2 Залежно від стану необхідно розрізняти:

- свіжі масла - масла, які поступають від заводів-виготовлювачів і параметри яких визначаються відповідно до стандартів, технічних умов, сертифікатів, інших документів, що встановлюють і підтверджують якість цієї продукції;
- експлуатаційні масла - масла, параметри яких контролюються і оцінюються відповідно до вимог норм, періодичності та обсягів контролю, тобто вимогами, що визначаються особливостями обладнання, в якому це масло експлуатується (тип обладнання, клас його напруги та ін.);
- регенеровані масла - це масла, параметри яких відновлюються спеціальними технологічними заходами до стану свіжого або експлуатаційного після того, як якість масла частково чи повністю досягла невідповідності вимогам норм експлуатації.

3.5.3 Свіже масло має визначену марку; у разі дотримання вимог до постачання - відповідає параметрам, зазначеним у документації, що супроводжує масло; перед заливом потребує, як правило, тільки кілька стандартних операцій щодо осушки і дегазації.

3.5.4 Експлуатаційне масло, залежно від особливостей та наслідків впливу на нього різних факторів (старіння, доливи, очищення в процесі експлуатації), можна умовно поділити на три групи: масло в задовільному стані; масло, що погребує очищення, яке може провадитися зі зливом та без зливу з обладнання (наявність вологи, механічних домішок); масло, параметри якого перевищили браковочні норми і яке потребує регенерації на підприємстві або переробки на заводі-виготовлювачі. У зв'язку з долинами протягом терміну використання таке масло може не відповідати, повною мірою, визначеній марці і його характеристики контролюються відповідно до вимог, що визначаються особливостями електричного обладнання, в якому це масло експлуатується.

3.5.5 Регенероване масло, залежно від характеристик, яких досягнуто, може бути віднесено до тієї чи іншої марки, до тієї чи іншої галузі використання.

Використання регенерованих масел, з огляду на деякі їх відміни від свіжих масел, характеризується низкою особливостей, які містяться в розділах 5 і 7.

### **3.6 Загальні положення щодо застосування і класифікації трансформаторних масел для окремих категорій обладнання**

3.6.1 При прийнятті рішення щодо застосування масла необхідно враховувати можливості використання конкретного масла в тому чи іншому типі обладнання, того чи іншого класу напруги. 3.6.2 Можливість застосування масла в обладнанні конкретного класу напруги визначається величиною пробивної напруги масла, що вимірюється в стандартному розрядному проміжку за ГОСТ 6581, а також маркою масла (технологією отримання; складом нафти, яка перероблюється; хімічним вуглеводневим складом). Наприклад, масла селективного очищення відповідно ГОСТ 10121 можуть застосовуватися тільки в обладнанні напругою до 220 кВ включно, масла марок ТКп і ТАп - до 500 кВ включно.

Залежно від величини пробивної напруги у вітчизняній практиці прийнято розрізняти масла для обладнання класу напруги:

- до 15 кВ, де рекомендована пробивна напруга масла до заливу становить не менше 30 кВ;
- від 15 до 35 кВ, де рекомендована пробивна напруга масла до заливу становить не менше 35 кВ;
- від 60 до 500 кВ, де рекомендована пробивна напруга масла до заливу становить не менше 60 кВ;
- від 750 кВ і вище, де рекомендована пробивна напруга масла до заливу становить не менше 70 кВ.

Пробивна напруга свіжих масел в основному визначається наявністю в них домішок (волога, механічні забруднення) і необхідна величина цього параметру повинна бути досягнута фільтруванням і осушкою масла. Відсутність результату такої обробки (пробивна напруга масла не збільшується до необхідної величини) властива маслам низької якості; маслам, отриманим з порушенням технології очищення (рафінування) дистилятів; маслам, підданим регенеруванню і не відновленим в його процесі до стану, близького до свіжого масла.

3.6.3 З точки зору можливості і доцільності застосування для конкретного типу обладнання необхідно розрізняти масла, що застосовуються:

- у силових трансформаторах та реакторах, де важливою вимогою, що пред'являється до масла, є висока протиокислювальна стабільність, причому чим вище клас напруги і потужність обладнання, тим вищими повинні бути ці вимоги;
- у високовольтних уводах, вимірювальних трансформаторах струму і напруги, де, з огляду на малі об'єми масла, більш відчутний вплив локальних несприятливих факторів на погіршення стану цього масла. У таких випадках, крім вимог до термоокислювальної стабільності, підвищуються також вимоги щодо стійкості масла до впливу електричного поля. Необхідно враховувати також, що у герметичному мало-об'ємному маслonaповненому обладнанні (високовольтні уводи, вимірювальні

трансформатори) доцільно використовувати масла з газопоглинаючими, а не газогенеруючими властивостями;

- у вимикачах, де однією з найважливіших властивостей є низька в'язкість масел при температурах, нижчих за 0 °С.

3.6.4 Неможливо виробити загальні правила, що застосовуються до всіх типів маслонаповненого обладнання. Для диференційованого підходу до якості масел, що експлуатуються, та для урахування вимог експлуатації електрообладнання у цих методичних вказівках поділяється за категоріями, наведеними в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Категорії високовольтного маслонаповненого обладнання

| Клас напруги, кВ                                                                                                                                                     | Категорія відповідно до класу напруги | Категорія відповідно до класу напруги і типу обладнання |                                     |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------|
|                                                                                                                                                                      |                                       | Силові трансформатори і реактори                        | Вимірювальні 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       |
| Примітка. Далі в тексті, якщо при посиланні на категорію не вказано цифровий індекс типу обладнання, то вимоги пред'являються до обладнання вказаного класу напруги. |                                       |                                                         |                                     |          |

4 Приймання трансформаторних масел, що поставляються на підприємства

## 4.1 Загальні положення

4.1.1 Процес приймання трансформаторного масла на підприємстві, ді це масло буде використовуватися, складається з кількох етапів:

- ідентифікація трансформаторного масла до його поставки;
- приймання масла при безпосередній його поставці (постачання та приймання);
- переведення (за необхідності) масла на зберігання.

## 4.2 Ідентифікація трансформаторного масла

4.2.1 Для ідентифікації запропонованого до поставки трансформаторного масла постачальник повинен надати покупцеві необхідний мінімум технічної документації, яка характеризує якість запропонованого масла, і зразки масла відповідно до 4.2.2, 4.2.3.

Процедура ідентифікації масла покупцем полягає у проведенні експертизи документації та зразків відповідно до 4.2.4, 4.2.5, 4.2.6, 4.2.7, після чого приймається

рішення про закупку цього масла та оговорюються умови його поставки відповідно до 4.2.8, 4.3.1 і 4.3.2.

4.2.2 Технічна документація на поставку трансформаторного масла обов'язково повинна вміщувати:

- найменування фірми-виготовлювача;
- марку масла;
- класифікаційну ознаку (таблиця 3.1), наприклад: масло відповідає Публікації IEC 296, клас IIA (літера A означає наявність антиокислювальної присадки);
- сертифікат (протокол) на запропоновану для закупки партію масла, який вміщує значення показників, наведених у таблиці 4.1. Методи випробувань повинні відповідати стандартам IEC, ISO, ГОСТ або національному стандарту, що не суперечить вимогам міжнародних стандартів.

Таблиця 4.1 - Перелік показників, які повинні бути наведені в сертифікатах (протоколах) на масло, що поставляється

| Найменування показника <sup>1)</sup>                             | Примітка                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                | 2                                                                                              |
| 1 Густина при 20 °C, кг/дм <sup>3</sup>                          | —                                                                                              |
| 2 В'язкість кінематична, мм <sup>2</sup> /с: при 40 °C<br>-30 °C | —                                                                                              |
| 3 Температура спалаху в закритому тиглі, °C                      | Показник використовується також для контролю в процесі експлуатації масла                      |
| 4 Температура застигання, °C                                     | —                                                                                              |
| 5 Кислотне число, мг КОН/г масла                                 | Показник використовується також для контролю в процесі експлуатації масла                      |
| 6 Поверхневий натяг при 25 °C, 10-3 Н/м                          | Показник рекомендується також для контролю в процесі експлуатації масла відповідно до А.2.8    |
| 7 Корозійна сірка                                                | —                                                                                              |
| 8 Вміст антиокислювальної присадки, % маси                       | Показник використовується також для контролю в процесі експлуатації масла відповідно до А.2.16 |
| 9 Стабільність проти                                             | Показник використовується також для контролю при                                               |

|                         |                                                                           |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| окислення               | змішуванні і підготовці масел до заливу в обладнання                      |
| 10 Пробивна напруга, кВ | Показник використовується також для контролю в процесі експлуатації масла |

Закінчення таблиці 4.1

| 1                                                                                                                                                     | 2                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 11 Тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С і 50 Гц, %                                                                                              | Показник використовується також для контролю в процесі експлуатації масла |
| 12 Вміст води, % маси (г/т)                                                                                                                           | —                                                                         |
| 13 Вміст ароматичних вуглеводнів, %                                                                                                                   | Показник використовується відповідно до А.2.14, А.2.17                    |
| 14 Вміст у маслі поліхлорбіфенілів, млн-1 (ppm)                                                                                                       | Показник використовується відповідно до А.2.18                            |
| 1) Методики визначення показників повинні відповідати вимогам ГОСТ, IEC, ISO або вимогам національних стандартів, що не суперечать вимогам IEC та ISO |                                                                           |

4.2.3 Для масел, досвід експлуатації яких в Україні відсутній, документація повинна вміщувати додаткову інформацію:

- походження сировини;
- технологія виготовлення масла;
- вміст нафтових і парафінових вуглеводнів у маслі, що поставляється;
- наявність або відсутність поліхлорбіфенілів (ПХБ) у запропонованій до поставки партії (протокол випробувань хроматографічним методом і ксерокопію хроматограми);
- тип та природа антиокислювальних присадок;
- наявність або відсутність у запропонованій марці масла депресорної присадки, її вміст, тип і природа (протокол виготовлювача), інших присадок.

Для таких масел обов'язковим є також надання покупцеві зразка масла з партії, що пропонується до поставки, в кількості не менше 2 л в тарі продавця, яка герметично закрита, опломбована та має ідентифікатори відповідності (марковані написи) зразка партії, на яку оформлено сертифікат (протокол).

Не рекомендується провадити експертизу і укласти договір на поставку масла на територію України, якщо відсутні які-небудь дані із вказаних вище.

4.2.4 Експертиза відповідності показників якості масла вимогам покупця здійснюється на основі інформації, отриманій в обсязі 4.2.2, 4.2.3 і випробувань зразків масла, та обов'язково повинна передувати підписанню контракту (договору) на поставку масла.

Випробування зразків масла можуть не провадитися у випадку дотримання умов чинних в Україні міждержавних угод про визнання властивостей матеріалів<sup>1)</sup>.

Експертиза може здійснюватися покупцем або із залученням спеціалізованих наукових та інженерних організацій, які повинні скласти акт експертизи з додатком

відповідних протоколів випробувань зразків. Для нових масел, досвід експлуатації яких в Україні відсутній, залучення спеціалізованих організацій та складання акту експертизи є обов'язковим.

При експертизі рівень показників якості масла, що закуповується, оцінюється з точки зору ефективності застосування даного масла для заливки обладнання, яке експлуатується покупцем. Потрібно при цьому враховувати категорії маслоснаповненого обладнання (таблиця 3.2).

Для масел, які виробляються або раніше вироблялися в СНД, результати випробувань партії масла, наведені в протоколі, не можуть бути нижче значень, наведених у таблиці 4.2. Для масел імпортного виробництва потрібно орієнтуватися на параметри, наведені в таблиці 4.3.

4.2.5 Можливість використання масла для доливу діючого обладнання забезпечується можливістю змішування масла, що купується, з тим, що використовувалося раніше. Крім попередньої оцінки такої можливості на основі експертизи технічної документації, рекомендується виконати спеціальні випробування, які вміщують в собі такі процедури:

- а) взяти суміш масел у пропорції доливу, яка передбачається, або, якщо це невідомо, 1:1;
- б) визначити стабільність суміші і окремо кожного компонента (в одній і тій же лабораторії за методикою А.3.5, додаток А);
- в) піддати суміш і вихідні масла штучному старінню у відкритому посуді при температурі (95 ± 2) °С протягом 72 год;

1. Соглашение о сотрудничестве по созданию и применению данных о физических константах и свойствах веществ и материалов. - Введена 06.10.92 Міждержавною Радою з стандартизації, метрології і специфікації СНД та ін.

Таблиця 4.2 - Вимоги до якості масел виробництва країн СНД

| Найменування показників                                                           | Марка і значення показників якості масла |                       |                      |                             |                           |                             |                      |                            | Нормативний документ, що регламентує метод визначення показників |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   | ГК<br>ТУ<br>38.101.<br>1025              | Т-1500<br>ГОСТ<br>982 | Т-750<br>ГОСТ<br>982 | ТКп<br>ТУ<br>38.101.<br>890 | ТКп<br>ТУ<br>38.401.58.49 | ТАп<br>ТУ<br>38.101.<br>281 | ТСп<br>ГОСТ<br>10121 | МВ<br>ТУ<br>38.101.<br>857 |                                                                  |
| 1                                                                                 | 2                                        | 3                     | 4                    | 5                           | 6                         | 7                           | 8                    | 9                          | 10                                                               |
| 1.1. Вязкість кінематична, не більше, мм <sup>2</sup> /с (сСт): при 50 °С - 30 °С | 9<br>1200                                | 8<br>1600             | 8<br>1600            | 9<br>1500                   | 9<br>1500                 | 9                           | 9<br>1300            | 2<br>150<br>(при -50 °С)   | ГОСТ 33                                                          |
| 2 Густина при 20 °С, не більше,                                                   | 0,895                                    | 0,885                 | 0,895                | 0,895                       | 0,895                     |                             |                      |                            | ГОСТ 3900                                                        |

|                    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| кг/дм <sup>3</sup> |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

Продовження таблиці 4.2

|                                                             |             |      |      |      |      |       |       |                               |               |
|-------------------------------------------------------------|-------------|------|------|------|------|-------|-------|-------------------------------|---------------|
| 1                                                           | 2           | 3    | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     | 9                             | 10            |
| 3 Кислотне число,<br>не більше,<br>мг КОН / г масла         | 0,01        | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02  | 0,02  | 0,02                          | ГОСТ<br>5985  |
| 4 Температура<br>спалаху в закритому тиглі, не<br>менше, °С | 135         | 135  | 135  | 135  | 135  | 135   | 135   | 94 (у<br>відкритому<br>тиглі) | ГОСТ<br>6356  |
| 5 Вміст водорочинних кислот і<br>лугів                      | Відсутність |      |      |      |      |       |       |                               | ГОСТ<br>6307  |
| 6 Вміст механічних домішок                                  | Відсутність |      |      |      |      |       |       |                               | ГОСТ<br>6370  |
| 7 Температура застигання, не<br>більше, °С                  | -45         | -45  | -55  | -45  | -45  | -50   | -45   | -70                           | ГОСТ<br>20287 |
| 8 Зольність, не<br>більше, %                                |             |      |      |      |      | 0,005 | 0,005 |                               | ГОСТ<br>1461  |

Продовження таблиці 4.2

|                                                                                                 |          |          |          |     |   |   |         |          |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|-----|---|---|---------|----------|---------------|
| 1                                                                                               | 2        | 3        | 4        | 5   | 6 | 7 | 8       | 9        | 10            |
| 9 Натрова проба<br>(оптична густина), не більше                                                 |          | 0,4      | 0,4      | 0,4 |   |   | 0,4     |          | ГОСТ<br>19296 |
| 10 Прозорість,<br>при 5 °С                                                                      |          | Витримує |          |     |   |   | Прозоре |          | ГОСТ<br>982   |
| 11 Випробування корозійного<br>впливу на<br>пластинки із міді марки М1 або<br>М2 за ГОСТ 859-78 | Витримує |          | Витримує |     |   |   |         | Витримує | ГОСТ<br>2917  |
| 12 Колір на колориметрі ЦНТ, не<br>більше, одиниці                                              | 1        | 1,5      | 1        |     |   |   | 1       |          | ГОСТ<br>20284 |

Продовження таблиці 4.2

|                                          |   |   |   |   |       |   |   |   |                        |
|------------------------------------------|---|---|---|---|-------|---|---|---|------------------------|
| 1                                        | 2 | 3 | 4 | 5 | 6     | 7 | 8 | 9 | 10                     |
| 13 Показник<br>заломлення n <sub>D</sub> |   |   |   |   | 1,495 |   |   |   | ТУ<br>38.401.58.<br>49 |

|                                                                                                                                                                |               |                          |                           |               |               |                |                      |             |              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------------------|---------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------------|-------------|--------------|
| при 20 °С,<br>не більше                                                                                                                                        |               |                          |                           |               |               |                |                      |             |              |
| 14 Тангенс кута<br>діелектричних<br>втрат при 90 °С,<br>не більше, %                                                                                           | 0,5           | 0,5                      | 0,5                       | 2,2           | 2,2           | 0,5            | 1,7                  | 0,5         | ГОСТ<br>6581 |
| 15 Стабільність<br>проти окислення<br>за ГОСТ 981:<br>- маса летких<br>кислот, не<br>більше, мг КОН/г<br>масла ;<br>- масова частка<br>осаду, не більше,<br>%; | 0,04<br>0,015 | 0,05<br>Відсут-<br>ність | 0,005<br>Відсут-<br>ність | 0,008<br>0,01 | 0,005<br>0,01 | 0,008<br>0,008 | 0,005<br>Відсутність | Відсутність | ГОСТ 981     |

Продовження таблиці 4.2

| 1                                                                                                                                                                                    | 2                       | 3                      | 4                      | 5                       | 6                       | 7                        | 8                       | 9                      | 10                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------------------------------------|
| - кислотне число<br>окисленого масла,<br>не більше, мг КОН/г<br>масла ;<br>- умови процесу<br>окислення:<br>а) температура, °С;<br>б) тривалість, год;<br>в) витрата кисню,<br>мл/хв | 0,10<br>155<br>14<br>50 | 0,2<br>135<br>30<br>50 | 0,2<br>130<br>30<br>50 | 0,1<br>120<br>14<br>200 | 0,1<br>120<br>14<br>200 | 0,05<br>120<br>14<br>200 | 0,1<br>120<br>14<br>200 | 0,1<br>130<br>30<br>50 |                                                    |
| 16 Стабільність проти окислення, метод ІЕС<br>- індукційний період,<br>не більше, год                                                                                                | 150                     |                        |                        |                         |                         |                          |                         |                        | Визначення<br>показника<br>відповідно<br>до А .3.5 |

Закінчення таблиці 4.2

| 1                               | 2        | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10                      |
|---------------------------------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------------------|
| 17 Вміст сірки, не<br>більше, % |          |     |     |     |     |     | 0,6 |     | ГОСТ 19121              |
| 18 Вміст іонолу, не<br>менше, % | 0,25-0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | Визначення<br>показника |



|                                                                                               |             |       |       |       |       |       |                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 20 °C, не більше, кг/дм <sup>3</sup>                                                          |             |       |       |       |       |       | 3675              |
| 7 Поверхневий натяг, при 25 °C, не менше, 10-3 Н/м                                            | —           | —     | —     | 35    | 35    | 36    | ISO 6295          |
| 8 Кислотне число, не більше, мг КОН/г масла                                                   | 0,03        | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | 0,03  | IEC 296           |
| 9 Корозійна сірка                                                                             | Некорозійна |       |       | —     |       |       | ISO 5662          |
| 10 Вміст води, не більше, г/т                                                                 | —           | —     | —     | —     | 15    | 10    | IEC 814, IEC 733  |
| 11 Тангенс кута діелектричних втрат при 90 °C, частоті від 40 до 60 Гц, не більше, в.о.       | 0,005       | 0,005 | 0,005 | 0,015 | 0,015 | 0,010 | IEC 247           |
| 12 Стабільність проти окислення для інгібованих масел:<br>- індукційний період, не менше, год | 120         | 120   | 120   | —     | —     | —     | IEC 1125, метод В |

Закінчення таблиці 4.3

|                                                                          | 2        | 3        | 4        | 5       | 6       | 7       | 8       |
|--------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|
| 13 Пробивна напруга, не менше, кВ:<br>- при поставці<br>- після очищення | 30<br>50 | 30<br>50 | 30<br>50 | 40<br>— | 50<br>— | 60<br>— | IEC 156 |
| 14 Об'ємний опір при 90 °C, не менше, ГОм                                | —        | —        | —        | 60      | 60      | 60      | IEC 247 |
| 1) Значення показника відповідно до класу масла - за Публікацією IEC 296 |          |          |          |         |         |         |         |

г) визначити тангенс кута діелектричних втрат при 90 °C вихідних масел і суміші до старіння і після нього.

Суміш вважається такою, що витримала випробування на старіння, якщо вона виявилася не гіршою, ніж масло в діючому обладнанні.

Результати цих випробувань оформлюються протоколом і є невід'ємною частиною акту експертизи. Цей тест може бути виконано або покупцем із

залученням спеціалізованих наукових та інженерних організацій, або продавцем.

4.2.6 Випробування зразка масла, яке поставлено продавцем, виконується покупцем або залученою ним спеціалізованою організацією в обсязі не менше переліку, наведеному в таблиці 4.1. Результати випробувань оформлюються протоколом.

Якщо результати випробувань не підтверджують величини показників, які наведено у сертифікаті продавця, то провадяться повторні випробування на іншій пробі тієї ж партії обов'язково в сторонній організації. Результати повторних випробувань є остаточними.

4.2.7 За результатами експертизи оформлюється акт із висновком, в якому вказується:

- а) рекомендується чи не рекомендується закупівля запропонованого масла;
- б) обов'язково - галузь використання масла;
- в) можливість змішування з маслами, які використовуються організацією - покупцем;
- г) обумовлені додаткові вимоги щодо експлуатації та зберігання масла. Акт експертизи є, при позитивному висновку, підставою для продовження роботи над контрактом.

Акт експертизи з протоколами випробувань підлягає збереженню організацією-покупцем на протязі всього строку служби обладнання, в якому використовується куплене масло. У технічній документації на обладнання, в якому використовується масло, повинна бути показана марка май id, номер и дата акта технічної експертизи. Акт експертизи поширюється тільки на масло, яке поставляється в межах одного контракту. Якщо контракт укладається на поставку декількох партій, спеціальна стаття контракту повинна гарантувати незмінність обмежувальних значень характеристик, які контролюються при експертизі, на усі партії, що поставляється.

4.2.8 На основі результатів і рекомендацій експертизи покупець приймає рішення про закупівлю масла і заключає контракт на закупівлю і поставку. Гарантії постачальника, закріплені контрактом (договором), повинні розповсюджуватися на характеристики масла:

- у вихідному стані на час отримання їх покупцем;
- у процесі збереження в умовах, означених цими методичними вказівками, або в контракті на поставку;
- у процесі нормальної експлуатації обладнання відповідно до вимог чинної нормативної документації або контракту на поставку!

Відповідальність за технічну обґрунтованість придбання масла несе організація, яка підписала акт технічної експертизи з урахуванням формулювання висновку.

Відповідальність за дотримання вимог приймання, зберігання і експлуатації масла несе організація, яка уклала контракт (договір) на його закупівлю. При цьому в контракті можуть бути зазначені умови (вимоги) зберігання і експлуатації, які забезпечують гарантійні зобов'язання постачальника.

## **4.3 Вимоги до постачання і приймання трансформаторного масла**

4.3.1 Спосіб постачання масла і вимоги до тари обумовлюються контрактом відповідно до вимог ГОСТ 1510.

4.3.2 Кожна поставка масла повинна супроводжуватися документами постачальника. Склад і зміст супроводжуючої документації повинні бути визначені контрактом, але обов'язково мають вміщувати дані відповідно до 4.2.2.

4.3.3 Масло, що надійшло покупцеві, підлягає лабораторним випробуванням. Проби цього масла повинні бути випробувані на

- пробивну напругу;
- температуру спалаху;
- кислотне число;
- реакцію водної витяжки;
- наявність механічних домішок і нерозчиненої води.

Масло, що призначене для заливу у трансформатори та уводи 220 кВ і вище, повинно бути додатково перевірене на стабільність і тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С. Випробування на стабільність і тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С проби масла, відібраної із залізничної цистерни, у зв'язку з їх тривалістю дозволяється провадити після зливу масла.

Відбір проб здійснюється відповідно до вимог ГОСТ 6433.5 і ГОСТ 2517:

- а) при поставці в залізничних і автоналивних цистернах до зливу з кожної цистерни;
- б) при поставці в барабанах (бочках) кількість проб, відібраних для випробувань, визначається контрактом (договором) на поставку, але не менше однієї на кожні 10 т масла.

4.3.4 Порядок пред'явлення претензій до якості масла, яке поставляється, за результатами випробувань має бути визначений контрактом (договором).

4.3.5 Трансформаторне масло, що надійшло споживачеві, після проведених до зливу відповідно до 4.3.3 лабораторних випробувань, зливається в ємкості масло-господарства споживача і передається на зберігання або підлягає обробці (розділ 5) для заливу в маслonaповнене обладнання, що експлуатується.

4.3.6 Злив масла здійснюється з використанням маслопроводів і обладнання маслогосподарства. Основні положення організації та експлуатації масляного господарства визначені у розділі 8.

## **4.4 Вимоги до зберігання масел**

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

Ємкості мають бути обладнані засувками для заливу масла та люком для забезпечення можливості очищення, ревізії і ремонту ємкості, рекомендується мати два масловідбірника: перший - для відбору проб із дна і другий – розташований у нижній точці відбору масла, на рівні зливного вентиля.

«Дихання» (сполучення з атмосферою) ємкості має забезпечуватися через

силікагелевий або цеолітовий патрон. Рекомендується підтримувати точку роси в надмасляному просторі не більше мінус 25 °С.

Рекомендується оснащувати ємкості нижнім колектором з отворами від 3 до 4 мм для забезпечення можливості підсушки масла подаванням осушеного повітря або азоту (барботаж). Схему пристрою наведено на рисунку 4.1.

4.4.2 Через три доби після зливу масла в ємкості для постійного зберігання з кожної ємкості відбираються проби для лабораторних випробувань (верхня та донна) відповідно до ГОСТ 6433.5 і ГОСТ 2517. Обсяг випробувань повинен відповідати вимогам за 4.3.3.

4.4.3 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.

1 — вентиль для під'єднання магістралі подавання осушеного повітря або азоту; 2 — ємкість ( Н — висота ємкості, L — поперечний розмір ємкості ); 3 — колекторна труба для барботування (умовний прохід 20 — 25 мм, отвори : на верхньому півколі колекторної труби діаметром 2—3 мм з густиною 150—200 отворів на 1 м колектора)

Рисунок 4.1 — Схема пристрою для підсушки масла подаванням осушеного повітря або азоту

Рекомендується в процесі зберігання один раз на рік провадити аналіз масла з обох масловідбірників у такому обсязі:

- зовнішній вигляд, наявність механічних домішок і нерозчиненої води (оцінювання відповідно до А.2.1, додаток А);
- температура спалаху;
- пробивна напруга;
- тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С.

Усі показники визначаються відповідно до методик нормативних документів, зазначених у таблиці 4.2.

4.4.4 У разі погіршення результатів, отриманих відповідно до 4.4.3, порівняно з початковим аналізом більше ніж на 10 %, необхідно вжити заходи з припинення погіршення характеристик аж до зливу масла з ємкості або обробці за технологією, що забезпечує вихідні характеристики.

5 Застосування трансформаторного масла на підприємствах

## **5. 1 Галузь застосування трансформаторних масел**

5.1.1 Галузь використання у маслonaповненому електрообладнанні (далі - обладнані) масел, що виробляються або раніше вироблялися у країнах СНД, наведено в таблиці 5.1.

5.1.2 Залив і долив трансформаторів необхідно провадити попередньо підготовленим, чистим та сухим маслом із показниками якості, які пред'являються до масел, що заливають в обладнання, відповідно до таблиці 5.2.

Показники якості масла, яке заливають до баків контактору пристрою РПН, повинні задовольняти вимогам до масла обладнання відповідної категорії по класу напруги.

Таблиця 5.1 - Галузь використання масел виробництва країн СНД

| Марка масла виробництва країн СНД                                                                                                                  | Категорія обладнання <sup>1)</sup> |                                                                                    | Нормативний документ, що регламентує метод визначення показників |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                    | заново змонтованого                | після ремонту та, якщо обладнання раніше було залите маслом цієї марки, для доливу |                                                                  |
| ГК                                                                                                                                                 | Усі категорії                      | Усі категорії                                                                      | ТУ 38.101.1025                                                   |
| Т-1500                                                                                                                                             | Усі категорії                      | Усі категорії                                                                      | ГОСТ 982                                                         |
| Т-750                                                                                                                                              | Усі категорії                      | Усі категорії                                                                      | ГОСТ 982                                                         |
| ТКп                                                                                                                                                | Б, В, Г, Д                         | Б, В, Г, Д                                                                         | ТУ 38.101.890                                                    |
| ТКп                                                                                                                                                | В, Г, Д                            | В, Г, Д                                                                            | ТУ 38.401.58.49                                                  |
| ТАп                                                                                                                                                | —                                  | БЗ                                                                                 | ТУ 38.101.281                                                    |
| ТСП                                                                                                                                                | Д1, Д2                             | Д1, Д2                                                                             | ГОСТ 10121                                                       |
| МВ                                                                                                                                                 | 2)                                 | 2)                                                                                 | ТУ 38.101.857                                                    |
| <sup>1)</sup> Категорія обладнання - відповідно до таблиці 3.2<br><sup>2)</sup> Масляні вимикачі, які експлуатуються у районах з холодним кліматом |                                    |                                                                                    |                                                                  |

Долив масла в обладнання повинен провадитися з урахуванням галузі використання масла відповідно до таблиці 5.1 для відомих, найбільш поширених масел.

Для марок масел, досвід експлуатації яких відсутній, при визначенні їх галузі використання потрібно керуватися розділом 4.

5.1.3 Регеновані масла з обладнання категорій А, Б, В, відновлені до норм, зазначених у таблиці 5.2, можна застосовувати для заливу і доливу обладнання на категорію нижче.

У разі необхідності повторного використання масла в обладнанні тієї самої категорії необхідно провести спеціальні випробування для визначення наявності залишкових продуктів старіння згідно з А.2.27 (додаток А) у спеціалізованій лабораторії. Невиконання цієї вимоги може призвести до аномально швидкого

окислення масла і зашламленню твердої ізоляції, яке не можна усунути.

Таблиця 5.2 - Граничнодопустимі значення показників якості трансформаторного масла, підготовленого та залитого в обладнання

| Найменування показників                                                 | Категорія обладнання <sup>1)</sup>             | Значення показників якості трансформаторного масла до заливу в обладнання | Значення показників якості трансформаторного масла після заливу в обладнання | Нормативні документи, регламенти, методи визначення показників |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1                                                                       | 2                                              | 3                                                                         | 4                                                                            | 5                                                              |
| 1 Пробивна напруга для трансформаторів, апаратів і уводів, не менше, кВ | А                                              | 70/65 <sup>2)</sup>                                                       | 65/60 <sup>2)</sup>                                                          | ГОСТ 6782                                                      |
|                                                                         | Б                                              | 60/55 <sup>2)</sup>                                                       | 55/50 <sup>2)</sup>                                                          |                                                                |
|                                                                         | В (тільки для обладнання класу напруги 150 кВ) | 55/50 <sup>2)</sup>                                                       | 50/45 <sup>2)</sup>                                                          |                                                                |
|                                                                         | В (крім обладнання класу напруги 150кВ)        | 50/45 <sup>2)</sup>                                                       | 45/40 <sup>2)</sup>                                                          |                                                                |
|                                                                         | Г (тільки для трансформаторів власних потреб)  | 40/35 <sup>2)</sup>                                                       | 35/30 <sup>2)</sup>                                                          |                                                                |
|                                                                         | Г(крім трансформаторів власних потреб)         | 35                                                                        | 30                                                                           |                                                                |
|                                                                         | Д                                              | 30                                                                        | 25                                                                           |                                                                |

Продовження таблиці 5.2

| 1                                                            | 2                                                                                                                                                            | 3                        | 4                        | 5         |
|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------|
| 2 Вологовміст, не більше, % маси (г/т)                       | Для усіх категорій обладнання з плівковим або азотним захистом, вимірювальних трансформаторів та герметичних уводів<br>Для решти обладнання всіх категорій . | 0,001 (10)<br>0,002 (20) | 0,001(10)<br>0,0025 (25) | ГОСТ 7822 |
| 3 Тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С, не більше, %3) | А,Б,В,Г,Д                                                                                                                                                    | 0,5                      | 0,7                      | ГОСТ 6581 |

|                                                                 |           |      |      |              |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|------|------|--------------|
| 4 Кислотне число,<br>не більше,<br>мг КОН/г масла <sup>3)</sup> | А,Б,В,Г,Д | 0,01 | 0,01 | ГОСТ<br>5985 |
|-----------------------------------------------------------------|-----------|------|------|--------------|

Продовження таблиці 5.2

| 1                                                                                                                                                      | 2                     | 3                                          |                                            | 4                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 5 Вміст водорозчинних кислот,<br>мг КОН / г масла                                                                                                      | А,Б,В,Г,Д             | Відсутність                                |                                            | ГОСТ 6307                                  |
| 6 Вміст механічних домішок, не більше:<br>- кількість в 10 мл масла (розмір часток більше 10<br>мкм),шт;<br>- % маси (г/т)                             | А<br><br>А<br>Б,В,Г,Д | 1000<br><br>0,0005<br>(5)<br>0,005<br>(50) | 1000<br><br>0,0005<br>(5)<br>0,005<br>(50) | ІЕС970<br><br>РД<br>34.43.202<br>ГОСТ 6370 |
| 7 Температура спалаху в закритому тиглі, не менше,<br>°С                                                                                               | А,Б,В,Г,Д             | 135                                        | 135                                        | ГОСТ 6356                                  |
| 8 Газовміст (для герметичного обладнання), не<br>більше, % об'єму:<br>- при використанні абсорбціометрів, що<br>встановлені в дегазаційних установках; | А,Б,В,Г,Д             | 0,1                                        | 0,2                                        | Інструкція<br>ОВБ<br>463.252               |

Закінчення таблиці 5.2

| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 2         | 3   | 4   | 5                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----|-----|----------------------------------------------|
| - при використанні<br>хроматографічного аналізу                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | А,Б,В,Г,Д | 0,2 | 0,3 | РД 34.46.303                                 |
| 9 Стабільність проти окислення,<br>індукційний період, не менше, год <sup>3)</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                        | А,Б,В,Г,Д | 120 | 120 | Визначення показників<br>відповідно до А.3.5 |
| <sup>1)</sup> Категорія обладнання - згідно з приміткою до таблиці 3.2<br><sup>2)</sup> У чисельнику наведено значення показника для електричного обладнання, що<br>вводиться в експлуатацію з 01.01.99, в знаменнику - введеного в експлуатацію до<br>01.01.99.<br><sup>3)</sup> Для окремих марок масел значення показника - відповідно до таблиці Б.1. |           |     |     |                                              |

5.1.4 Масла ТКп і ТАп можна використовувати для доливу вимірювальних трансформаторів струму і напруги, маслонаповнених уводів категорії Б, В, Г, Д включно, а масло ТСП - для того самого типу обладнання категорії В, Г, Д включно.

5.1.5 Масла Т-1500 і Т-750, а також відповідні до них за висновком, оформленим згідно з розділом 4, рекомендується використовувати для силових трансформаторів та реакторів категорії А і Б або для вимірювальних трансформаторів струму і напруги та маслонаповнених уводів категорії А, Б і В.

- 5.1.6 Для доливу маслonaповнених уводів використовуються сухі трансформаторні масла марки Т-750 або ГК, що мають пробивну напругу не менше 70 кВ і вологовміст не більше 10г/т.
- 5.1.7 Усі трансформаторні масла можна використовувати в масляних вимикачах, але, з економічних міркувань, недоцільно використовувати масла ГК, Т-1500, Т-750 і відповідні до них за висновком, оформленим згідно з розділом 4.
- 5.1.8 За необхідності в силові трансформатори категорії Б та нижче допускається залив після капітального ремонту:
- експлуатаційного масла з кислотним числом не більше 0,05 мг КОН/г масла, яке відповідає нормам на експлуатаційне масло за реакцією водної втяжки, вмістом розчиненого шламу, механічних домішок та має при цьому пробивну напругу на 10 кВ вище за експлуатаційну норму і тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С не більше 2,6 %;
  - суміші експлуатаційного масла з будь-яким свіжим сухим трансформаторним маслом, якщо при цьому не спостерігається погіршення якості суміші в порівнянні з будь-яким маслом, що змішується (відповідно до 5.2).

## 5.2 Змішування трансформаторних масел

5.2.1 Допускається змішування трансформаторних масел, наведених у таблиці 5.1, у будь-яких співвідношеннях, якщо тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С пробної суміші не перевищує тангенса кута діелектричних втрат при 90 °С компонента з найбільшими діелектричними втратами (випробування відповідно до 4.2.5, переліки *в, г*).

Суміш масел, призначених для різних класів напруг, повинна використовуватися тільки в обладнанні нижчого класу напруги.

Якщо тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С суміші перевищує тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С компонента з найбільшими діелектричними втратами, то таку суміш можна використовувати тільки для заливу в масляні вимикачі.

5.2.2 Допускається долив маслом ГК силових трансформаторів, що залиті маслами інших марок. При цьому потрібно зважити на те, що масло гідрокрекінгу ГК має високі експлуатаційні властивості та високу термоокислювальну стабільність у порівнянні з іншими марками масел, тому, з економічних міркувань, рекомендується застосовувати її не змішуючи. За необхідності найбільш раціонально використовувати її для змішування з маслами марок Т-750, Т-1500.

5.2.3 Змішування неінгібірованих масел, що раніше випускалися в країнах СНД і знаходяться в експлуатації, із свіжими інгібірованими маслами не допускається без додавання антиокислювальної присадки (іонолу).

Іонол вводиться до суміші масел у такій кількості, щоб вміст присадки становив не менше 0,25 % від маси суміші. Після цього суміш випробовується на стабільність проти окислення. Стабільність суміші повинна бути вищою за стабільність неінгібірованого масла.

5.2.4 Імпортні масла, які вміщують антиокислювальну присадку іонол в концентрації не менше 0,3 % від маси масла, відповідають вимогам Публікації ІЕС 296, мають

температуру спалаху не менше 135 °С і вміст сірки в яких не більший 0,35 % від маси, можна змішувати в будь-яких співвідношеннях з маслами ТКп, ТАп та використовувати в обладнанні категорій Б, В, Г, у разі змішування з маслом марки ТСп - в обладнанні категорій В, Г.

Не допускається застосування імпорتنих масел, які не вміщують антиокислювальну присадку іонол.

При вмісті сірки більше 0,35 % від маси - імпорتنі масла можна використовувати в обладнанні категорії Г.

Після отримання позитивного результату тесту відповідно до 4.2.5

допускається змішувати імпорتنі масла, які вміщують сірку не більше 0,35 % від маси:

- з маслами Т-750 і Т-1500 та використовувати такі суміші в обладнанні до категорії Б включно;
- з маслами ГК та використовувати суміші в силових трансформаторах і реакторах до категорії Б включно.

5.2.5 Не допускається змішувати ізоляційні масло марки МВ з будь-якими трансформаторними маслами.

5.2.6 Питання змішування масел є достатньо складним і не має загального універсального алгоритму рішення, тому у разі виникнення такої проблеми, яка виходить за межі поданих в цьому розділі вказівок, рекомендується звернутись за консультацією до спеціалізованої організації. Особливо це відноситься до питання змішування масел, які призначенні до заливу в обладнання категорії А.

## **5.3 Заходи з підготовки масла до заливу в електрообладнання**

5.3.1 В обладнання заливають чисте, сухе трансформаторне масло, що пройшло обробку (очищення, осушення) і відповідає всім нормованим показникам відповідно до таблиці 5.2 (для окремих марок масел - відповідно до таблиці Б. 1, додаток Б). Масла, що не відповідають вимогам ГОСТ, ТУ або стандартам ІЕС по нормованим показникам, не допускається заливати в обладнання.

5.3.2 Технологію обробки трансформаторного масла перед заливом в обладнання наведено в додатку Б.

5.3.3 Свіжі, сухі та підготовлені до заливу в обладнання масла безпосередньо до заливу і після цього повинні відповідати граничнодопустимим значенням показників якості, що наведені в таблиці 5.2 (з урахуванням таких значень для конкретних марок масел відповідно до таблиці Б. 1).

5.3.4 Показники, які повинні бути визначені для трансформаторного масла, що підготовлене до заливу у заново змонтоване обладнання, наведено в таблиці 5.3.

5.3.5 До початку монтажу із трансформаторів, які транспортуються без масла, має бути зроблено відбір проб залишків масла (із дна).

Пробивна напруга залишків масла повинна бути у трансформаторах категорій:

- А - не менше 50 кВ;
- Б - не менше 45 кВ;

- В - не менше 35 кВ.

5.3.6 Масло для заливу герметичних уводів повинно бути дегазованим.

5.3.7 У маслонаповнених каскадних вимірювальних трансформаторах оцінювання стану масла в окремих ступенях трансформаторів повинне

Таблиця 5.3 - Перелік показників, які визначаються перед заливом трансформаторного масла у заново змонтоване обладнання

| Тип обладнання та момент визначення значень показників якості масла                                        | Категорія обладнання <sup>1)</sup>                                 | Показник, що визначається (нумерація відповідно до таблиці 5.2) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1 Трансформатори, які транспортуються без масла:<br>- перед заливом                                        | А,Б,В<br>Г, Д                                                      | 1,2,3,4,5,6,7,9<br>1,4,5,6,7                                    |
| 2 Трансформатори, які транспортуються з маслом:<br>- до початку монтажу<br>- після монтажу перед вмиканням | А, Б, В<br>А, Б, В<br>(Г, Д) <sup>2)</sup><br>(Г, Д) <sup>3)</sup> | 1,2,3,4,5,6,7<br>1,2,3,4,5,6,7<br>1,4,5,6,7<br>1,6              |
| 3 Трансформатори з плівковим захистом:<br>- перед заливом<br>- після монтажу перед вмиканням               | А,Б,В,Г, Д<br>А, Б, В                                              | 1,2,3,4,5,6,7,8,9<br>1,2,3,4,5,6,7,8                            |
| 4. Вимірювальні трансформатори:<br>- до початку монтажу<br>- після монтажу перед вмиканням                 | А, Б<br>В, Г, Д<br>А,Б,В<br>Г <sup>4)</sup>                        | 1,2,3,4,5,6,7<br>1,4,5,6,7<br>1,4,5,6,7<br>1,4,5,6,7            |
| 5 Трансформатори струму:<br>- після монтажу перед вмиканням                                                | А,Б,В                                                              | 1,4,5,6,7                                                       |
| 6 Негерметичні уводи:<br>- до початку монтажу                                                              | А, Б<br>В,Г, Д                                                     | 1,2,3,4,5,6,7<br>1,4,5,6,7                                      |

Закінчення таблиці 5.3

|                                                                                |             |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|
| 7 Масляні вимикачі:<br>- після монтажу, капітального та позапланового ремонтів | А,Б,В, Г, Д | 1,6 |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----|

- 1) Категорія обладнання - згідно з приміткою до таблиці 3.2.  
2) За відсутності заводського протоколу випробування масла.  
3) За наявності документів з результатами випробувань масла, проведених на заводі-виготовлювачі небільше, як за шість місяців до експлуатації, та за умови відповідності цих результатів нормам на показники якості масла.  
4) З об'ємом масла 30 кг і більше (із вимірювальних трансформаторів категорії Г з

об'ємом масла менше 30 кг проби масла можуть не відбиратися, але в разі погіршення характеристик ізоляції допускається повна заміна масла).

виконуватися за нормами категорій обладнання, що відповідають номінальній робочій напрузі ступеня (каскаду).

5.3.8 У бакових вимикачах випробування масла провадиться до і після заливу, а у маломасляних вимикачах усіх напруг - до заливу масла.

5.3.9 При заливі масла в обладнання рекомендується відбирати проби масла об'ємом від 5 до 10 см<sup>3</sup>. Зберігати їх герметично закритими без доступу світла і використовувати як еталон для визначення процентного вмісту присадки в процесі експлуатації масла.

## 6 Експлуатація трансформаторних масел

### 6.1 Стисла характеристика старіння масла в процесі експлуатації

6.1.1 Трансформаторні масла в процесі експлуатації змінюють свої хімічні та електрофізичні властивості під впливом різних факторів: температури, електричного поля, молекулярного кисню, взаємодії з конструкційними матеріалами електрообладнання (особливо у випадках використання в конструкціях неякісних ізоляційних матеріалів, наприклад лаків, нестійких до впливу масла).

У результаті відбувається потемніння масла, утворюються низько- та високомолекулярні продукти окислення, зростають діелектричні втрати; на певній стадії окислення можливе утворення осаду та випадання шламу.

Сукупність цих змін визначається терміном «старіння».

6.1.2 Переважаючим фактором старіння трансформаторного масла є окислювальне перетворення вуглеводнів, що входять до його складу, під впливом молекулярного кисню.

Швидкість окислення масла, характер продуктів, що утворюються, залежать від хімічного складу масла, ступеня його очищення, умов експлуатації.

6.1.3 На початковій стадії окислення масло поглинає кисень у невеликій кількості і зміни, що відбуваються у цей період, практично не виявляються звичайними методами фізико-хімічного аналізу.

Цей період окислення прийнято називати індукційним. Він приблизно відповідає періоду використання іонолу до концентрації 0,1 % і менше.

6.1.4 Низькомолекулярні органічні кислоти та органічні перекиси, що утворюються на початковій стадії процесу старіння, розчинні в маслі і мають корозійну активність по відношенню до матеріалів трансформатора.

Продукти окислювальної полімеризації та конденсації нерозчинні в маслі і можуть випадати з нього у вигляді шламу (нерозчинного осаду), який, при осадженні на активних частинах, затруднює відведення тепла, викликає руйнування ізоляції.

6.1.5 Домішки, що викликані як старінням масла, так і його забрудненням (вода, полярні речовини, тверді частки, нерозчинні в маслі продукти

термоокислювального старіння, метали та їх оксиди, волокна різного походження і т. ін.), знижують експлуатаційні характеристики масла, прискорюють старіння целюлозної ізоляції.

6.1.6 У додатку А наведено перелік показників масла, за зміною яких рекомендується контролювати ступінь зниження експлуатаційних властивостей масла. Там же відображено взаємозв'язок цих показників із наявністю в маслі продуктів окислення або забруднення.

## **6.2 Засоби і заходи, що запобігають окисленню трансформаторного масла**

6.2.1 Якість трансформаторного масла в експлуатації забезпечується своєчасним контролем у встановленому обсязі та з відповідною періодичністю для кожної групи обладнання згідно з 6.3.

Разом з цим, збільшення строку служби масла та ізоляції може бути досягнуте за рахунок використання ефективних засобів і заходів захисту масла від окислення.

6.2.2 Основними заходами збереження експлуатаційних властивостей масла є:

- безперервна регенерація запитого в обладнання масла крупнопористими адсорбентами з використанням термосифонних або адсорбційних фільтрів;
- застосування спеціальних засобів захисту масла від окислення (плівкового або азотного);
- правильна експлуатація повітроосушників;
- підтримання необхідної концентрації в маслі антиокислювальної присадки іонол (агідол-1);
- ефективне охолодження масла.

6.2.3 Безперервна регенерація здійснюється природною циркуляцією масла крізь термосифонний фільтр на основі термосифонного ефекту (без примусової циркуляції), а в адсорбційному фільтрі примусовою циркуляцією.

Відповідно до вимог ГОСТ 11677 масляні трансформатори з масою масла більше 1000 кг обладнуються фільтрами: термосифонними у системах охолодження без примусової циркуляції масла (вид М і Д), адсорбційними - при системах охолодження з примусовою циркуляцією масла та фільтрами очищення масла від механічних домішок - для видів систем охолодження ДЦ, НДЦ, Ц, НЦ.

Для безперервної регенерації масел застосовуються крупнопористі синтетичні та природні адсорбенти. Типи сорбентів, вимоги до них, метод сушки та контролю і подані в додатку В.

6.2.4 Для завантаження у фільтри використовується фракція від 2,8 до 7 мм. Перед завантаженням сухий адсорбент треба просіяти для видалення пилу та дрібних фракцій.

6.2.5 Кількість адсорбенту, що завантажується до адсорбційних та термосифонних фільтрів, залежить від категорії обладнання та кількості залитого в нього масла і повинна становити:

- для трансформаторів потужністю до 630 кВА - не менше 1,25 % від маси залитого масла;
- для трансформаторів з масою масла до 30 т - 1 %;

- для трансформаторів з масою масла більше 30 т - 0,8 %.

6.2.6 Перед введенням у експлуатацію термосифонних та адсорбційних фільтрів необхідно звернути увагу на надійність кріплення фільтруючої сітки на опорній решітці з тим, щоб виключити винесення потоком масла адсорбенту до баку трансформатора. Це особливо стосується трансформаторів з примусовою циркуляцією масла, тому що адсорбент, потрапляючи до масляних каналів обмотки, викликає погіршення охолодження обмотки, її перегріву і, як наслідок, прискорене старіння твердої ізоляції та масла.

6.2.7 Адсорбційні та термосифонні фільтри після збирання і монтажу, завантажені підготовленим адсорбентом, повинні бути заповнені маслом із маслосистеми трансформатора. Масло подається знизу догори при відкритій повітровипускній пробці фільтра або маслоохолоджувача.

Фільтри трансформаторів з азотним та плівковим захистом повинні заповнюватися маслом під вакуумом за інструкцією заводу-виготовлювача.

Фільтри інших трансформаторів заповнюються маслом без вакууму, але з прийняттям заходів для запобігання попаданню повітря до бака: фільтр потрібно вводити в роботу Після тривалого відстою (не менше 12 год) і періодичного випуску повітря, що виділилося із пор адсорбенту.

6.2.8 Оцінювання працездатності адсорбенту у фільтрах у процесі експлуатації провадиться за даними хімічного аналізу масла. Підвищення кислотного числа, вмісту водорозчинних кислот та тангенсу кута діелектричних втрат при 90 °С масла вказує на втрату активності адсорбенту та необхідність його заміни.

6.2.9 Адсорбент в термосифонних та адсорбційних фільтрах повинен замінюватися у трансформаторах потужністю більше 630 кВА при перевищенні значення одного із таких показників масла:

- кислотне число -0,1 мг КОН/г масла;

- тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С відповідної експлуатаційної норми для даного класу обладнання (значення відповідно до таблиці 6.1).

Для трансформаторів потужністю 630 кВА і менше заміна адсорбенту повинна виконуватися при незадовільних характеристиках твердої ізоляції (опору, що вимірюється мегомметром, та тангенсу кута діелектричних втрат, що вимірюється високовольтним мостом змінного струму).

Заміна адсорбенту повинна провадитися також після капітального ремонту трансформатора. У разі виявлення в експлуатаційному маслі трансформаторів та реакторів напругою від 220 до 500 кВ і більше розчинного шламу та при високому значенні тангенса кута діелектричних втрат масла необхідно провести регенерацію цього масла.

Заміна адсорбенту в процесі експлуатації може провадитися без демонтажу фільтра за інструкцією заводу на фільтр. Для цього необхідно перекрити верхній та нижній запірні вентиля, злити масло із фільтра в підготовлену ємкість, а потім вивантажити спрацьований адсорбент. Далі завантаження свіжого адсорбенту проходить відповідно до 6.2.7.

Заміна адсорбенту може провадитися на працюючому обладнанні.

6.2.10 Тривалість ефективної регенерації експлуатаційного масла силікагелем КСКГ в обладнанні (без дефектів) становить не менше п'яти років.

6.2.11 Ефективним засобом захисту масла та ізоляції від зволоження і окислення в процесі експлуатації є плівковий та азотний захист масла.

6.2.12 Плівковий захист повністю виключає контакт масла з атмосферним повітрям за допомогою гнучкої оболонки, розташованої в розширювачі трансформатора. Трансформатори з плівковим захистом заливуються дегазованим маслом відповідно до заводської інструкції.

Необхідною умовою ефективності плівкового захисту є надійна герметизація розширювача та гнучкої оболонки.

В експлуатації для оцінки герметичності захисту і його ефективності проводять контроль загального газовмісту масла (значення газовмісту відповідно до таблиці 6.1, показник 7).

6.2.13 Азотний захист виключає контакт масла з атмосферним повітрям і забезпечує в процесі експлуатації наявність азоту в надмасляному просторі розширювача та в еластичних оболонках.

Для запобігання механічним пошкодженням та сонячній радіації оболонки пристрою азотного захисту розміщують в зачинених шафах.

Трансформатори з азотним захистом необхідно заливати дегазованим та азотованим маслом відповідно до заводської інструкції.

Долив трансформатора проводиться також азотованим маслом.

Під час експлуатації трансформаторів з азотним захистом контролюються такі параметри:

- надмірний тиск у системі (повинен становити 290 Па);
- чистота азоту в надмасляному просторі - 1 раз у 6 місяців хроматографічним методом або газоаналізатором ВТІ-2 за ГОСТ 5439,

Осушник азоту заповнюється крупнопористим силікагелем (КСКГ і ШСКГ за ГОСТ 3956), обробленим хлористим кальцієм з вологістю не більше 0,5 % від маси.

Контроль ступеня зволоження - за індикаторним силікагелем.

6.2.14 Повітроосушники застосовуються:

- для осушки від вологості повітря, що поступає до надмасляного простору розширювача трансформаторів із «вільним диханням», де сухе повітря захищає масло, а отже, і тверду ізоляцію трансформаторів від зволоження;
- для осушки повітря, яке попадає до розширювача, де розміщений плівковий захист масла;
- для запобігання зволоженню і забрудненню масла та ізоляції в уводах напругою від 110 до 500 кВ негерметичного виконання;
- для запобігання зволоженню масла в резервуарах на масляному господарстві, де наявність сухого повітря над маслом охороняє резервуар від корозії, а масло - від забруднення іржею.

Розширювачі трансформаторів потужністю 25 кВА і більше обладнуються повітроосушниками з масляними затворами відповідно до ГОСТ 11677.

6.2.15 Як поглинач у повітроосушниках рекомендується застосовувати крупнопористий силікагель, оброблений хлористим кальцієм.

Для контролю якості осушника у повітроосушнику застосовується силікагель-індикатор ГОСТ 8984.

Вимоги до адсорбентів, їх підготовка та застосування подані в додатку В.

6.2.16 Інгібітори окислення (антиокислювачі) широко застосовуються для захисту від окислення трансформаторних масел.

Усі масла, які виготовляються в СНД у даний час, вміщують антиокислювальну присадку іонол (агідол-1) у кількості від 0,2 % до 0,5 % від маси залежно від марки масла.

У закордонній практиці також широко застосовується присадка іонол. Але деякі марки масел можуть не вміщувати іонолу або мати присадку іншого типу. У цьому разі питання застосування і змішування таких масел повинно вирішуватися з урахуванням положень розділу 4.

Іонол у процесі старіння масла підвищує індукційний період окислення, запобігає утворенню осаду.

Присадка добре розчинна в маслі і практично не вилучається адсорбентами під час безперервної регенерації.

Як і більшість присадок, іонол ефективно діє в експлуатаційних умовах при інгібуванні масел достатньо глибокого ступеня очищення.

6.2.17 Під час експлуатації трансформаторного масла іде процес безперервної витрати іонолу, швидкість якого залежить від температури, концентрації кисню в маслі, конструкційних матеріалів та ін.

У разі зниження концентрації іонолу в експлуатаційному маслі менше 0,1 % від маси масла він починає працювати як проокислювач, сприяючи розвитку процесу окислення. При цьому також можливе утворення шламу, що помітно знижує строк служби твердої ізоляції та веде до необхідності заміни масла в трансформаторі,

6.2.18 У процесі експлуатації необхідно контролювати вміст іонолу і вводити його в масло при зниженні концентрації до 0,1 % від маси масла. Методику

! визначення вмісту антиокислювальної присадки іонол (агідол-1) в маслах наведено в додатку А (А.3.3); засоби її введення до трансформаторного масла наведено в розділі 7.

Кількість іонолу, що вводиться, залежить від марки масла, але не повинна бути менше 0,2 % від маси цього масла.

6.2.19 Уведення іонолу до експлуатаційного масла, в якому утворився шлам або кислотне число якого більше 0,1 мг КОН/г масла, неефективне. Таке масло підлягає регенерації (розділ 7).

## **6.3 Експлуатаційний контроль якості трансформаторного масла. Обсяг, періодичність випробувань, граничні норми показників якості масла**

6.3.1 Експлуатаційний контроль якості трансформаторного масла провадиться випробуванням в лабораторіях проб масел, відібраних із обладнання.

6.3.2 Персонал, що виконує відбір проб, повинен забезпечити тотожність масла в пробі та масла в обладнанні, з якого провадиться відбір. Недбалий відбір або забруднення пробовідбірною посуду веде до помилкового висновку щодо якості масла і до невиправданої втрати часу, працевитрат і витрат на транспортування та контроль проб.

6.3.3 Для відбору проб потрібно використовувати тільки спеціально підготовлений сухий та чистий посуд - скляні пляшки або безшовні металеві банки. Посуд із пластика можна використовувати, якщо доведено можливість його застосування для цієї мети.

Посуд повинен закриватися пробкою або гвинтовою кришкою з прокладкою. Матеріал пробки та прокладки не повинен розчинятися в нафтопродуктах.

6.3.4 При відборі проб експлуатаційного масла потрібно дотримуватися таких основних правил:

- відбір проб повинен виконуватися кваліфікованим спеціалістом;
- не рекомендується виконувати відбір проб масла при поганій погоді (опаді, сильний вітер з пилом та ін.) з високим ризиком попадання забруднень із оточуючого середовища до проби масла; за необхідності термінового відбору проб в несприятливих умовах необхідно дотримуватися додаткових застережних заходів;
- до відбору проби з обладнання злити достатню кількість масла (не менше двох об'ємів посуду) для видалення будь-яких забруднень, які можуть знаходитися на пробовідбірному патрубку;
- ополоснути пробовідбірний посуд маслом, яке відбирають;
- забезпечити наповнення кожної посудини не менше 95 % її місткості;
- закупорити посудину з пробкою відразу після її заповнення;
- відновити початковий вид пробовідбірної точки після відбору проби;
- перевірити правильність та повноту маркування етикетки;
- зберігати проби в темному місці, якщо для їх відбору та зберігання використовувалися прозорі пляшки.

6.3.5 Відбір проб з обладнання повинен провадитися при звичайному режимі роботи обладнання або відразу після його вимкнення. Цю рекомендацію особливо важливо виконувати, якщо визначається вологовміст або залежні від нього характеристики. У цих випадках повинна бути заміряна та зафіксована температура масла під час відбору проб.

6.3.6 Після доставлення проби до лабораторії не рекомендується відразу відкривати посуд, у якому вона знаходиться. Необхідно почекати, доки температура проби не досягне кімнатної температури.

6.3.7 Вимоги до якості експлуатаційних масел, періодичність, обсяг контролю залежать від конструкції, потужності і категорії обладнання, умов експлуатації і т.ін.

6.3.8 У таблиці 6.1 наведено рекомендації щодо періодичності обсягу випробувань показників масла, граничнодопустимі значення цих показників в експлуатації для різних категорій обладнання.

Рекомендації щодо періодичності та обсягу випробувань показників масла в експлуатації для різних типів обладнання наведено в 6.3.9 - 6.3.13.

Можлива зміна періодичності контролю характеристик масла, якщо завод-виготовлювач обладнання передбачає у технічній документації інший порядок перевірки.

6.3.9 Масло з трансформаторів та реакторів потужністю більше 630 кВА підлягає випробуванням відповідно до усіх вимог таблиці 6.1 та за показниками 1-5, 8 таблиці 6.1 у випадках спрацьовування газового реле на сигнал.

Масло з трансформаторів потужністю менше 630 кВА включно в процесі

експлуатації не перевіряється.

6.3.10 Масло з бака контактора пристрою РПН повинне перевірятися за показниками 1 і 6 таблиці 6.1 після певного числа переключень, зазначеного у заводській інструкції з експлуатації, але не менше одного разу на рік.

Допускається якісне визначення вологовмісту масла за ГОСТ 1547, якщо відсутня вимога заводу-виготовлювача щодо кількісного визначення вологовмісту.

У разі перевищення граничнодопустимого значення показників (пробивної напруги та вологовмісту за показниками 1 і 6 таблиці 6.1) або досягнення граничного числа переключень, зазначених в інструкції з експлуатації пристрою РПН, масло має бути замінене на свіже.

Таблиця 6.1 - Вимоги до якості експлуатаційних трансформаторних масел

| Показники якості масла <sup>1)</sup> | Нормативний документ, що регламентує метод визначення показників | Місце випробувань: Л-лабораторія, В-виробництво | Категорія обладнання <sup>2)</sup>                                                                                                                                                                            | Гранично допустиме значення показника якості                            | Періодичність визначення показників якості масла <sup>1)</sup>                                                                                                                       | Застосування                                                                   |
|--------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                    | 2                                                                | 3                                               | 4                                                                                                                                                                                                             | 5                                                                       | 6                                                                                                                                                                                    |                                                                                |
| 1 Пробивна напруга, кВ               | ГОСТ 6581                                                        | В, Л                                            | А<br>Б<br><br>В (тільки для обладнання класу напруги 150 кВ)<br><br>В (крім обладнання класу напруги 150 кВ)<br>Г (тільки для трансформаторів власних потреб)<br>Г (крім трансформаторів власних потреб)<br>Д | 60/553)<br>50/453)<br><br>45/403)<br>40/353)<br>30/253)<br><br>25<br>20 | А, Б: через 3 місяці після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки<br><br>В, Г: через 12 місяців після введення в експлуатацію, потім 1 раз у 3 роки<br><br>Д: 1 раз у 6 років | Ф<br>це<br>ш<br>і<br>обр<br>і<br>вмі<br>м<br>зн<br><br><br>і<br>пр<br>ур<br>по |

Продовження таблиці 6.1

| 1                                                             | 2                                           | 3       | 4                                                                           | 5                 | 6                                                                                 | 7                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2<br>Кислот-<br>не<br>число,<br>мг КОН/г<br>масла             | ГОСТ<br>59854)                              | В,<br>Л | А, Б, В, Г, Д<br><br>А, Б, В, Г, Д                                          | 0,1<br><br>0,25   | А, Б, В, Г: 1<br>разу 3<br>роки<br>Д: 1 раз у 6<br>років                          | Заміна адсорбенту в<br>термосифонних або<br>адсорбційних фільтрах<br><br>Регенерація або заміна масла |
| 3 Вміст<br>водороз-<br>чинних<br>кислот,<br>мг КОН/г<br>масла | ГОСТ 6307,<br>Методика<br>згідно з<br>А.3.1 | В,<br>Л | А, Б, В, Г, Д<br><br>Для<br>негерметичних<br>уводів<br>до 500 кВ<br>включно | 0,014<br><br>0,03 | А, Б, В, Г: 1<br>разу 3<br>роки<br>Д: 1 раз у 6<br>років<br><br>1 раз у 3<br>роки | Заміна адсорбенту в<br>термосифонних або<br>адсорбційних<br>фільтрах<br><br>Заміна масла              |

Продовження таблиці 6.1

| 1                                                           | 2                                | 3    | 4                           | 5                                                                                                                                                        | 6                                                                                                                                                                                                                    | 7                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------|------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4 Темпер-<br>атура<br>спалаху в<br>закритому<br>тиглі, °С5) | ГОСТ<br>6356<br>ГОСТ<br>12.1.044 | В, Л | А,<br>Б<br><br>В,<br>Г<br>Д | Для усіх категорій:<br>зниження на 5 °С у<br>порівнянні з<br>попереднім<br>аналізом, але не<br>більше 15 °С у<br>порівнянні<br>з початковою<br>величиною | А, Б: через 3<br>місяці після<br>введення в<br>експлуатацію,<br>потім 1 раз у 3<br>роки<br><br>В, Г: через 12<br>місяців<br>після введення в<br>екс-<br>плуатацію, потім<br>1 раз у 3 роки<br><br>Д: 1 раз у 6 років | Виявлення та<br>усунення причин<br>розкладу масла.<br>Проведення<br>хроматографічного<br>аналізу.<br><br>При температурі<br>спалаху в<br>закритому тиглі<br>менше 120 °С<br>- вакуумна обробка<br>масла |

Продовження таблиці 6.1

| 1                                             | 2            | 3 | 4 | 5                             | 6                                                                                                                                              | 7                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|--------------|---|---|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 Тангенс<br>кута<br>діелектрич-<br>них втрат | ГОСТ<br>6581 | Л | А | 5,0<br>Б 10,0<br>В, 15,0<br>Г | А, Б: через 3 місяці після<br>введення в експлуатацію, потім 1<br>раз у 3 роки<br><br>В, Г: через 12 місяців<br>після введення в експлуатацію, | Заміна адсорбенту в<br>термосифонних або<br>адсорбційних<br>фільтрах. При досягненні<br>граничних значень за |

|                 |  |  |  |                     |                                                          |
|-----------------|--|--|--|---------------------|----------------------------------------------------------|
| при 90 °С,<br>% |  |  |  | далі 1 раз у 3 роки | показниками 2 або 10 -<br>регенерація<br>чи заміна масла |
|-----------------|--|--|--|---------------------|----------------------------------------------------------|

Продовження таблиці 6.1

| 1                                         | 2                        | 3 | 4                                                                                                                                                                                      | 5                                       | 6                                                                                                     | 7                                         |
|-------------------------------------------|--------------------------|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 6<br>Волого-<br>вміст,%<br>маси (г/<br>т) | ГОСТ 78223)<br>ГОСТ 1547 | Л | А, Б, а також усі категорії<br>обладнання з азотним та<br>плівковим захистом.<br>Для решти категорій<br>обладнання без<br>спеціальних засобів захисту<br>з системою охолодження<br>Мід | 0,002 (20)<br>Відсутність<br>(якісно)7) | Перед<br>уведенням в<br>експлуатацію,<br>через<br>3 місяці після<br>вмикання, потім 1<br>раз у 3 роки | Обробка<br>цеолітом,<br>вакуумна<br>сушка |

Продовження таблиці 6.1

| 1                                     | 2                               | 3 | 4                                                                                                                            | 5   | 6                                                                                                                                                                    | 7                  |
|---------------------------------------|---------------------------------|---|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| 7 Газо-<br>вміст<br>(8), %<br>об'ємні | РД 34.46.303<br>(сума<br>газів) | Л | Для всіх категорій обладнання з<br>плівковим захистом масла, якщо<br>немає інших вимог заводів-<br>виготовлювачів обладнання | 2,0 | Перед<br>уведенням в<br>експлуатацію,<br>через<br>3 місяці після<br>введення,<br>потім 1 раз<br>у 3 роки, якщо<br>немає<br>інших вимог<br>заводів-<br>виготовлювачів | Дегазація<br>масла |

Продовження таблиці 6.1

| 1                                                  | 2                                    | 3 | 4                    | 5                                                                                                | 6                                                                                             | 7          |
|----------------------------------------------------|--------------------------------------|---|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 8 Вміст<br>механічних<br>домішок, %<br>маси, (г/г) | РД 34.43.202<br>ІЕС 970<br>ГОСТ 6370 | Л | А<br>А<br>Б, В,<br>Г | 0,0015<br>(15)<br>1000шт у 10 мл<br>масла (розмір часток<br>більше<br>10 мкм)9)<br>Не нормується | Періодичність<br>для<br>категорії А така<br>сама,<br>як при перевірці<br>пробивної<br>напруги | Фільтрація |

|  |  |  |  |  |                                                                                      |  |
|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  |  |  |  | Для решти категорій при проведенні планових аналізів - візуальний контроль наявності |  |
|--|--|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------|--|

Продовження таблиці 6.1

| 1                                                   | 2                                  | 3    | 4       | 5                                      | 6                                                          | 7                                                                                               |
|-----------------------------------------------------|------------------------------------|------|---------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9 Вміст антиокислювальної присадки іюнол (агідол-1) | Додаток А, методика згідно з А.3.3 | Л    | А, Б, В | 0,1                                    | Перед уведенням в експлуатацію, потім через 3 роки         | Уведення іюнолу (агідолу-1) в масло                                                             |
| 10 Розчинний і нерозчинний в маслі осад             | Додаток А, методика згідно з А.3.2 | Л    | А, Б    | Відсутність                            | При кислотному числі 0,1 мг КОН/г масла і більше           | Регенерація масла                                                                               |
| 11 Питомий опір, при 90 °С, ГОм.м                   | ГОСТ 6581                          | В, Л | 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 |

Закінчення таблиці 6.1

| 1                          | 2                                  | 3 | 4       | 5  | 6                                                                     | 7                                                                                               |
|----------------------------|------------------------------------|---|---------|----|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 12 Поверхнений натяг, мН/м | Додаток А, методика згідно з А.3.4 | Л | 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 |

- 1) Відповідно до 6.3.9 -6.3.13, якщо немає інших вимог заводів-виготовлювачів обладнання.
- 2) Категорія обладнання - відповідно до таблиці 3.2 і примітки до вказаної таблиці.
- 3) У чисельнику наведено значення показника для електричного обладнання, що

вводиться в експлуатацію з 01.01.99, в знаменнику - введеного в експлуатацію до 01.01.99.

4) Допускається визначати показник за ГОСТ 11362.

5) Для електрообладнання, в якому провадиться періодичний контроль масла хроматографічним методом, температура спалаху може не визначатися.

6) Допускається визначати показник за ГОСТ 24614, а також застосовувати прилади, що пройшли атестацію в УкрЦСМ.

7) Кількісне визначення провадиться, якщо показник 1 досягає граничнодопустимих значень.

8) Показник визначається з урахуванням вимог заводів-виготовлювачів обладнання.

9) Допускається використання приладів, які дають можливість визначати гранулометричний склад механічних домішок.

6.3.11 Масло з вимірювальних трансформаторів з об'ємом масла 30 кг і більше з періодичністю, наведеній в таблиці 6.1, підлягає випробуванням за показниками 1 -4, 8. Показник 5 визначається з періодичністю, наведеною в таблиці 6.1, для масла з вимірювальних трансформаторів категорії Б і вище, а для масла з цього обладнання категорії В і нижче - тільки у випадку погіршення характеристик основної ізоляції. Значення показників якості масла з окремих ступенів каскадних вимірювальних трансформаторів повинні відповідати допустимим значенням для класу напруги цих ступенів.

вимірювальних трансформаторів з об'ємом масла до 30 кг відбір проб та їх випробування не провадяться, а при погіршенні характеристик основної ізоляції масло підлягає заміні.

6.3.12 Масло з маслonaповнених уводів підлягає випробуванням відповідно до таких правил:

а) масло з негерметичних уводів з періодичністю, наведеною в таблиці 6.1, підлягає випробуванням за показниками 1-4 для всіх категорій по класу напруги, а також за показником 5 - для категорії Б і вище;

б) масло з герметичних уводів підлягає випробуванням відповідно до інструкцій заводів-виготовлювачів даного типу обладнання. Рекомендується провадити випробування масла за показниками 1 - 5, 8 тільки у випадку перевищення граничних значень параметрів (характеристики ізоляції та тиск в уводі), які контролюються відповідно до інструкції з експлуатації, або значних змін цих параметрів.

6.3.13 Масло з бакових масляних вимикачів повинне перевірятися за показниками 1 і 8 таблиці 6.1 після капітального та позапланового ремонту, а також у випадку виконання ними граничнодопустимого числа комутацій (вимикання і вмикання) струмів короткого замикання. Масло з бакових вимикачів до 35 кВ включно та маломасляних вимикачів усіх класів напруги після граничнодопустимого числа комутацій струмів короткого замикання без ремонту може не перевірятися, а замінюватися на свіже (регенероване). Після поточного ремонту бакових вимикачів перевірку масла провадити за показником 1 таблиці 6.1.

6.3.14 Значення показників, отриманих у результаті випробувань проб, повинні

порівнюватися з граничнодопустимими, наведеними у таблиці 6.1. При цьому повинна бути оцінена також тенденція змінювання цих показників у порівнянні з результатами попередніх випробувань.

6.3.15 У разі різкого погіршення в процесі експлуатації якості масла рекомендується:

- провести повторний відбір проб масла для підтвердження результатів попереднього аналізу;

- сповістити про це виготовлювача обладнання;

- з урахуванням конкретних умов залежно від потужності обладнання і ступеня зниження якості масла провадити більш частий (1 раз у 2 місяці) контроль показників масла.

6.3.16 У разі підтвердження тенденції зростання, залежно від характеру зростання значень показників, рекомендується: збільшити частоту контролю; виконати комплекс додаткових випробувань та досліджень; звернутися до спеціалізованої організації.

На підставі результатів аналізу приймається рішення про заміну сорбенту у термосифонних або адсорбційних фільтрах, регенерацію чи заміну масла в обладнанні (таблиця 6.1),

Більш частому контролю повинні підлягати масла із трансформаторів, що працюють у перевантаженому режимі, а також із обладнання, до якого ставляться вимоги підвищеної надійності роботи.

6.3.17 У разі погіршення характеристик твердої ізоляції та інтенсивного старіння масла, з метою визначення причин цього процесу і правильного вибору необхідних заходів із відновлення експлуатаційних властивостей, може провадитися аналіз інших показників, крім тих, що зазначені в 6.3.9 - 6.3.13, у тому числі спектральними методами. Таке дослідження рекомендується виконувати із залученням спеціалізованих лабораторій.

## 7 Відновлення та регенерація трансформаторних масел

### 7.1 Фізичні методи відновлення масла

7.1.1 Вибір методу відновлення характеристик трансформаторних масел визначається якістю цього масла, характером продуктів старіння і домішок, які вміщуються в ньому, та їх кількістю.

Існують різні методи відновлення характеристик трансформаторних масел: фізичні, хімічні та фізико-хімічні.

7.1.2 До фізичних методів відноситься очищення від механічних домішок та води - фільтрація, осушення.

Найбільш поширені такі методи: пропускання масла крізь пористі матеріали (бумага, картон, неткані матеріали і т.ін.), центрифугування, вакуумування та застосування адсорбентів.

Для цього використовуються фільтри, центрифуги, цеолітові установки, вакуумдегазаційні установки. Технічні характеристики обладнання наведені у додатку Г.

### 7.2 Хімічні методи відновлення масла

7.2.1 До хімічних та фізико-хімічних методів відноситься регенерація масла за допомогою хімічних реагентів, а також природних та синтетичних адсорбентів.

7.2.2 При регенерації масел з кислотним числом більше 0,25 мг КОН/г масла застосовується кислотно-контактний метод регенерації з використанням концентрованої (від 93 % до 98 %) сірчаної кислоти і подальшою обробкою відбілюючими глинами. Цей метод використовується спеціалізованими маслорегенераційними підприємствами.

Існує також лужно-земляне очищення масел із використанням лужних реагентів та відбілюючих глин. За допомогою цього методу можна відновлювати масла з підвищеним кислотним числом - до 0,6 мг КОН/г масла.

Методи хімічної регенерації трудомісткі, вимагають дефіцитних матеріалів, тому методом, що найбільш широко застосовується, є метод адсорбційного очищення з використанням природних та синтетичних адсорбентів.

7.2.3 Під час обробки масла адсорбентами видаляються смолисті, кислотовміщуючі речовини.

Для регенерації трансформаторних масел застосовуються крупнопористі адсорбенти.

Ефективність адсорбції в значній мірі визначається природою сорбенту, співвідношенням між розмірами пор і середнім діаметром молекул сполук, що адсорбуються.

Зважаючи на те, що молекули більшості сполук, що складають продукти окислення масла, характеризуються відносно великими розмірами, при регенерації масел використовуються крупнопористі адсорбенти: силікагель КСКГ (ГОСТ 3956), активний оксид алюмінію та ін. (Характеристики адсорбентів, що використовуються, а також засоби, які рекомендуються для підготовки адсорбентів - відповідно до додатка В).

## **7.3 Регенерація масла**

7.3.1 Вибір методу регенерації залежить від якості масла, наявності матеріалів та обладнання.

Розрізняють три види регенерації:

- безперервна регенерація в працюючому обладнанні за допомогою адсорбційних та термосифонних фільтрів;
- періодична регенерація, під час виводу обладнання з роботи, за допомогою маслорегенераційних установок;
- регенерація експлуатаційних та відпрацьованих масел на маслоочисних станціях.

7.3.2 Безперервна регенерація масла в процесі експлуатації за допомогою адсорбційних та термосифонних фільтрів дає можливість видалити більшу частину продуктів окислення і сповільнити процес старіння масла. Але в деяких випадках (несвоєчасна заміна адсорбенту, конструктивні недоліки, аварійні ситуації та ін.) показники масла в обладнанні можуть досягти граничнодопустимих норм (таблиця 6.1). У такому разі необхідна заміна або регенерація масла з виводом обладнання із роботи.

7.3.3 Для періодичної регенерації масел можна використовувати пересувні і

стаціонарні маслорегенераційні установки. У разі відсутності таких установок можуть монтуватися тимчасові схеми із штатного обладнання маслогосподарства.

7.3.3.1 У разі наявності пересувних установок, що використовують перколяційний спосіб регенерації (фільтрацію масла через адсорбент), вони підключаються до обладнання. Технологічну схему регенерації масла для цього випадку наведено на рисунку 7.1. Використовуються гранульовані сорбенти.

7.3.3.2 Рекомендуються такі режими регенерації:

- температура від 60 до 80 °C;
- кількість сорбенту (відсотки від маси масла), час контактування масла та сорбенту залежать від ступеня старіння масла і сорбенту, що застосовується. Тому зазначені параметри регенерації визначаються в процесі лабораторного експерименту, що моделює реальні умови (температура, адсорбент та його грансклад, швидкість фільтрації масла).

Рекомендується у разі використання перколяційного способу регенерації масла адсорбентами гранскладу від 2 до 7 мм обмежувати витрату (швидкість) масла через адсорбери, такими значеннями: не більше 1 л/год масла на 1 кг адсорбенту або не більше 0,5 т/год масла через 1 м<sup>2</sup> перерізу адсорбера.

7.3.3.3 У процесі регенерації для контролю ступеня відновлення масла визначають такі характеристики масла:

- тангенс кута діелектричних втрат при 90 °C;
- кислотне число.

Якщо масло, яке підлягає регенерації, в початковому стані мало кислу реакцію водної витяжки, то доцільно проконтролювати її в процесі регенерації.

Критерій закінчення процесу регенерації - досягнення показниками тангенсу кута діелектричних втрат при 90 °C та кислотного числа значень, що відповідають значенням для свіжого масла (згідно з відповідним стандартом, технічними умовами або сертифікатом).

7.3.3.4 Після закінчення процесу регенерації перевірити такі показники масла:

- вміст механічних домішок;
- тангенс кута діелектричних втрат при 90 °C;
- кислотне число;
- вміст іонулу (за необхідністю - ввести іонол відповідно до 7.4)
- стабільність проти окислення (при вмісті іонулу у кількості, що необхідна для цього масла).

За необхідності (для вирішення питання застосування масла за 5.1.3) перевіряються інші показники згідно з відповідним стандартом на це масло.

7.3.4 Як правило відновлення якості свіжих некондиційних масел та масова регенерація експлуатаційних масел виконується зі зливом масла з обладнання і відправкою його на маслоочисні станції.

1 — бак трансформатора; 2 — розширювач; 3 — з'єднувальні трубопроводи (шланги); 4 — манометр; 5 — фільтр тонкого очищення (фільтрпрес); 6 — адсорбери з

крупнопористим адсорбентом; 7 — витратомір; 8 — триходові крани; 9 — підігрівач; 10 — вентилі; 11 — маслonaсос; 12 — нижній кран трансформатора

Рисунок 7.1 — Технологічна схема регенерації трансформаторного масла крупнопористим адсорбентом безпосередньо в обладнанні

Для регенерації масел використовуються методи адсорбційного очищення перколяційним або контактним засобом, при цьому застосовуються крупнопористі синтетичні та природні сорбенти:

- для очищення перколяційно-адсорбційним методом використовуються гранульовані сорбенти;
- для контактного очищення масла можуть бути використані місцеві природні відбілюючі глини.

Придатність сорбентів для регенерації та ефективність їх використання визначається експериментальне.

Принципову технологічну схему маслоочисної станції, що реалізує два методи регенерації масел, наведено на рисунку 7.2. З урахування місцевих умов та наявності обладнання схема може коригуватися.

7.3.4.1 При регенерації масел контактним методом використовуються дрібнодисперсні природні адсорбенти: відбілюючі глини, боксити та ін.

При цьому адсорбент у заданому співвідношенні додається до нагрітого масла, перемішується визначений час для проходження процесу адсорбції, потім, після відстою, масло відфільтровується від глини.

Залежно від якості вихідного масла встановлюється оптимальний режим його обробки (температура, тривалість перемішування системи масло - сорбент, співвідношення масло - сорбент).

Рекомендуються такі технологічні параметри обробки:

- оптимальна температура регенерації - від 60 до 80 °C;
- час контактування, кількість адсорбенту (відсотки від маси масла) залежать від ступеня старіння масла та адсорбенту, що застосовується. Тому зазначені параметри регенерації визначаються в процесі лабораторного експерименту, який моделює реальні умови (перемішування, температура, адсорбент та його грансклад).

Рекомендується при контактному способі регенерації використовувати адсорбент гранскладу не більше 1 мм. При цьому, залежно від ступеня зниження експлуатаційних властивостей масла, кількість адсорбенту, що використовується, може становити до 10 % або більше від маси масла (але не більше 25 %), а час перемішування масла з адсорбентом треба обмежити 2 год.

1 — бак для нагрівання масла при регенерації адсорбційно-перколяційним методом; 2 — бак для регенерації масла контактним методом; 3 — пристрій для сушіння адсорбенту; 4 — бак для зберігання регенерованого масла; 5 — віджимний пристрій; 6 — вакуумна шафа для збирання масла при віджиманні відпрацьованого сорбенту; 7 — шнековий пристрій для вивантаження відпрацьованого сорбенту; 8 — контейнер для збирання відпрацьованого сорбенту; 9 — вентилі; ВДУ — вакуум-дегазаційна установка; АД1, АД2 — адсорбери; Ф1, Ф2 — фільтри тонкого очищення;

Н1 - Н4 — насоси для перекачування масла; М — електродвигун для приводу шнекового пристрою

Рисунок 7.2 — Принципова технологічна схема регенерації трансформаторних масел контактним та перколяційно-адсорбційним методами

7.3.4.2 При очищенні масел перколяційно-адсорбційним методом використовуються крупнопористі синтетичні та природні гранульовані сорбенти. Регенерація найбільш ефективно проходить у вертикальних циліндричних адсорберах. Можна використовувати стандартні адсорбери, які застосовуються як адсорбційні фільтри на трансформаторах.

При регенерації масел з кислотним числом більше 0,10 мг КОН/г масла доцільно використовувати два паралельно з'єднаних адсорбера з почерговою зміною сорбенту в них.

Режими регенерації визначаються відповідно до 7.3.3.2. Рекомендується використовувати таку кількість адсорбенту:

- 5 % сорбенту від маси масла - для масел з кислотним числом не більше 0,15 мг КОН/г масла;

- від 10 до 25 % сорбенту від маси масла - для масел з кислотним числом від 0,15 до 0,25 мг КОН/г масла.

7.3.4.3 У процесі регенерації масло контролюється за показниками тангенсу кута діелектричних втрат при 90 °С та кислотного числа для встановлення закінчення процесу регенерації.

Після закінчення процесу регенерації масло підлягає перевірці відповідно до 7.3.3.4.

## **7.4 Уведення іонолу в трансформаторне масло**

7.4.1 При вмісті в маслі іонолу менше за норму (менше 0,1 % від маси масла) він уводиться до масла безпосередньо в баці обладнання або на масляному господарстві (для злитого з обладнання масла).

7.4.2 Іонол (концентрований розчин до 20 %) уводять до трансформатора подаванням його через нижній кран трансформатора.

Технічну схему подавання концентрованого розчину іонолу в масло, яке залите в обладнання, наведено на рисунку 7.3

Концентрований розчин іонолу (до 20 %) у свіжому, сухому трансформаторному маслі готують у спеціальному баці з мішалкою та підігрівом. Нагрівання може здійснюватися електропідігрівачем або змішувиками, через які пропускають пару тиском від 0,1 до 0,2 МПа чи сітьову воду з температурою від 80 до 100 °С.

Оптимальна температура масла для приготування розчину - 60 °С.

Для приготування розчину бак на 3/4 об'єму заповнюється маслом і при перемішуванні нагрівається до оптимальної температури. Поступово, невеликими порціями, до бака вносять розрахункову кількість присадки при безперервному перемішуванні до повного її розчинення в маслі. Готовий розчин фільтрують і заливають в окрему ємкість, де він може зберігатися.

Нагрівання масла до 60 °С, безперервну циркуляцію у баці для приготування розчину можна здійснювати за допомогою вакуумного сепаратора ПСМ (таблиця

П).

При заливі концентрованого розчину іонолу до трансформатора він повинен задовольняти нормам на свіже масло для даного класу обладнання за показниками пробивної напруги і тангенсу кута діелектричних втрат при 90 °С.

Для трансформаторів, які обладнані плівковим та азотним захистами розчин має бути дегазованим.

При забезпеченні надійної герметизації схеми подавання розчину і вимог техніки безпеки іонол може вводитися за схемою рисунка 7.3 в обладнання, що знаходиться під напругою.

7.4.3 Кількість іонолу, яка необхідна для стабілізації експлуатаційного масла, можна визначити за формулою:

(7.1)

де  $P$  - кількість присадки іонол, яка необхідна для стабілізації експлуатаційного масла, т;

$Q$  - кількість експлуатаційного масла, що підлягає стабілізації, т ;

$n$  - вміст, що задається, присадки іонол в стабілізованому маслі, від маси масла (від 0,2 % до 0,4 %).

Кількість свіжого масла, яка необхідна для приготування концентрованого розчину для стабілізації експлуатаційного масла, можна визначити за формулою:

(7.2)

де  $q$  - кількість свіжого трансформаторного масла, яка необхідна для приготування концентрованого розчину, т;

$P$  - кількість присадки іонол, яка необхідна для стабілізації експлуатаційного масла, т;

1 — бак трансформатора; 2 — розширювач; 3 — нижній кран трансформатора; 4 — фільтр тонкого очищення масла; 5 — трубопровід (шланг); 6 — маслonasос; 7 — пересувна ємкість для розчину іонолу

Рисунок 7.3 — Технологічна схема подавання концентрованого розчину іонолу в трансформаторне масло, яке залите в обладнання

$N$  - вміст присадки іонол в концентрованому розчині, від маси розчину (до 20%).

7.4.4 При стабілізації регенерованих масел певної марки присадка вводиться до чистого, відфільтрованого масла у співвідношенні, що на 50 % перевищує вихідне значення для марки масла, якій відповідає регенероване масло.

7.4.5 При регенерації суміші різних масел необхідно визначити вміст ароматичних вуглеводнів у регенерованому маслі (для орієнтовної ідентифікації марки масла) і провести введення присадки іонол у кількості, яка характерна для масла відповідної марки.

## **7.5 Порядок змішування і галузь використання регенерованих масел**

7.5.1 Регенероване масло з обладнання категорій А, Б, В, яке відповідає вимогам нормативної документації на свіже масло (ТУ, ГОСТ або ін.), використовується для заливу в обладнання на категорію нижче, аніж це визначено для свіжого масла. Застосування такого масла в обладнанні тієї самої категорії допускається після перевірки масла на відсутність продуктів старіння, з використанням таких показників як потенційний осад, поверхневий натяг, спектральні характеристики (А.2.8, А.2.27, А.2.28, додаток А).

Змішування регенерованих масел зі свіжими для обладнання категорій А, Б, В допускається за результатами проведення спеціальних випробувань згідно з 4.1.5.

7.5.2 Суміш регенерованих масел марок ГК, Т-1500, Т-750 і відповідних до них за якістю імпортованих масел з маслами, в яких вміст сірки не більше 0,35 % від маси, дозволяється використовувати в електрообладнанні до 500 кВ включно.

Суміш цих масел з маслами, в яких вміст сірки більше 0,35 % від маси, використовується в електрообладнанні до 220 кВ включно.

7.5.3 Регенероване масло з обладнання категорій Г і Д, яке задовольняє вимогам нормативної документації на свіже масло (ТУ, ГОСТ або ін.), використовується самостійно і змішується зі свіжими маслами для заливу в обладнання тієї самої категорії.

## **7.6 Контроль якості регенерованих масел**

7.6.1 При надходженні масла на маслоочисну станцію провести вхідний контроль масла за такими показниками:

- зовнішній вигляд масла: колір, запах, наявність сторонніх домішок;
- кислотне число;
- тангенс кута діелектричних втрат при 90 °С;
- температура спалаху.

Експлуатаційні масла, що мають температуру спалаху на 20 °С менше мінімальної, яка нормується відповідним стандартом, підлягають дегазації. При більш значному зниженні температури спалаху регенерація масла може бути недоцільною з економічних міркувань.

7.6.2 Після закінчення процесу регенерації виконується визначення показників якості масла в обсязі, не менше зазначеного в таблиці 5.2 (за винятком показника 8). У разі необхідності (вимоги замовника, умови застосування) визначаються інші показники масла відповідно до нормативної документації на масло і галузі використання, що передбачається для цього масла.

7.6.3 У разі відновлення якості некондиційних свіжих масел після закінчення процесу, окрім контролю показників, за якими було забраковано масло, обов'язковим є визначення протіокислювальної стабільності.

Умови випробування (температура, час окислення, витрата кисню) відповідають вимогам відповідного стандарту або технічним умовам на масло.

8 Вказівки з експлуатації масляного господарства

## **8.1 Загальні вимоги до організації та функціонування масляного господарства**

8.1.1 Цей розділ встановлює загальні правила організації та експлуатації масляного господарства і не стосується питань проектування та оснащення конкретного масляного господарства, які вирішуються згідно з положеннями чинних будівельних норм.

8.1.2 Масляне господарство енергопідприємств має забезпечувати такі технологічні операції:

- приймання, зберігання та видача свіжого масла;
- обробка свіжого масла;
- залив підготовленого масла до обладнання;
- злив відпрацьованого масла з обладнання;
- очищення та регенерація масел у працюючому обладнанні;
- збирання, зберігання, регенерація та стабілізація відпрацьованих масел, а також їх здавання на прийомні пункти нафтобаз;
- облік витрат нафтопродуктів;
- зберігання, підготовка та відновлення адсорбентів і інших допоміжних матеріалів.

8.1.3 Масляне господарство електричних станцій, підприємств електричних мереж повинні знаходитися у підпорядкуванні електроцеху електричної станції або служби підстанцій підприємства електромереж (або відповідного підрозділу).

8.1.4 Спорудження масляних господарств передбачається:

а) на ТЕС, незалежно від кількості та одиничної потужності встановленого обладнання;

б) на ГЕС і ГАЕС, де, залежно від конкретних умов, можуть бути такі різновидності маслених господарств:

1) стаціонарне, яке призначене для обслуговування тільки об'єкта базування;

2) центральне, яке призначене для обслуговування (окрім об'єкта базування) також і інших об'єктів;

3) філіальне, яке призначене для обслуговування об'єкта базування з використанням обладнання, засобів та персоналу центрального масляного господарства;

в) на підприємствах електричних мереж, де масляне господарство, як правило, утримується в складі ремонтно-виробничих баз і майстерень для ремонту трансформаторів напругою 330-750 кВ.

8.1.5 До складу масляного господарства входять:

- відкритий склад зберігання масла;
- маслоапаратна та складські приміщення, що знаходяться в одному будинку;
- комунікації трубопроводів; .
- додаткове пересувне маслоочисне обладнання.

Масляне господарство має бути обладнане засобами механізації

навантажувально-розвантажувальних робіт (кран-балка, лебідка, автонавантажувач, пристрій захвату бочок та ін.).

## 8.2 Відкритий склад

8.2.1 Відкритий склад обладнується баками (резервуарами) для зберігання свіжих, відпрацьованих та регенерованих масел.

8.2.2 Резервуари обладнуються повітроосушниками, показчиком рівня масла, пробозливним краном на зливному патрубку. Внутрішня поверхня резервуару для масла повинна мати маслобензостійке антикорозійне покриття (ГОСТ 1510).

8.2.3 Як правило, свіжі та регенеровані трансформаторні масла зберігаються окремо. У разі необхідності допускається зберігання свіжого та регенерованого масла в одній і тій самій ємкості, якщо регенероване масло відповідає всім вимогам ГОСТ або ТУ на свіже масло. Масла різних марок зберігаються окремо.

8.2.4 У відкритому складі повинен зберігатися запас масла, який не знижується і на кожному об'єкті встановлюється залежно від місцевих умов: стану доріг; відстані між об'єктами, що обслуговуються; розташування нафтобаз; наявності та типу маслорегенераційних установок тощо.

Наявність у мережах, на електростанціях установок для регенерації масел на працюючому обладнанні забезпечує можливість зменшення запасу трансформаторного масла.

8.2.5 На електростанціях, на підстанціях 500 кВ незалежно від потужності встановлених трансформаторів та на підстанціях 330 кВ з трансформаторами потужністю 200 МВ\*А і більше, які розташовані у важкодоступних або віддалених районах, необхідно передбачити масляні господарства з обладнанням для обробки масла.

Склади масла таких масляних господарств повинні мати:

- на ТЕС - 4 резервуари ізоляційного масла;
- на ГЕС - 3 резервуари ізоляційного масла;
- на підстанції - 3 резервуари ізоляційного масла.

Об'єм одного резервуара повинен бути не менше об'єму найбільш великого трансформатора із запасом 10 %.

8.2.6 На підстанціях 110 кВ і більше з баковими масляними вимикачами 110 кВ і більше повинен споруджуватися відкритий склад масла з двох стаціонарних резервуарів ізоляційного масла. Об'єм кожного резервуара повинен бути не менше об'єму масла трьох баків найбільшого вимикача з запасом на долив не менше 1 % від усієї кількості масла, залитого до апаратів та трансформаторів підстанції.

Склади масла на підстанціях з баковими масляними вимикачами не слід споруджувати:

- при надійних транспортних зв'язках між підстанціями та централізованим масляним господарством енергосистеми;
- при кількості масляних вимикачів на підстанції не більше двох;
- на підстанціях глибокого вводу, розташованих у межах міста.

## 8.3 Маслоапаратна

8.3.1 Маслоапаратна та склади для зберігання, підготовки до роботи (сушка та просіювання) і підновлення адсорбентів ( а також інших допоміжних матеріалів), що знаходяться в одному будинку, повинні бути розміщені в окремих приміщеннях.

8.3.2 Маслоапаратна повинна мати таке обладнання:

- витратні баки;
- маслonaсоси серії Ш або РЗ;
- фільтри тонкого очищення масла (ФОСН, ФГН, фільтрпреси);
- установки для очищення, осушки та регенерації масла (ПСМ, УВМ, цеолітові установки та ін);
- адсорбери;
- підігрівні масла;
- спеціальне обладнання для введення присадок;
- рідинні лічильники для обліку, приймання - видачі масел;
- комунікації трубопроводів;
- колонку для видачі нафтопродуктів в автотранспорт;
- приточно-витяжну вентиляцію;
- систему автоматичного пожежогасіння.

## **8.4 Маслопроводи**

8.4.1 До масляних вимикачів не повинні прокладатися стаціонарні маслопроводи. Злив і залив масла має виконуватися з використанням інвентарних маслопроводів та резервуарів (автоцистерн).

8.4.2 Рекомендується прокладати стаціонарні маслопроводи до трансформаторів на підстанціях, де встановлені два і більше трансформатори потужністю 200 МВ\*А і більше і є маслоапаратна, а також на великих електростанціях.

8.4.3 Стаціонарні маслопроводи на електростанціях і підстанціях 330—750 кВ необхідно також прокладати від майстерні або апаратної масляного господарства до приміщення для ремонту трансформаторів (до трансформаторної башти на підстанціях або до монтажного майданчика машинного залу на електростанціях) та до складу масла, а також до місця зливу масла з цистерн.

8.4.4 Стаціонарні маслопроводи необхідно виконувати із сталевих труб, які з'єднуються зварюванням (окрім стику з арматурою).

Стаціонарні маслопроводи у неробочому стані повинні бути повністю заповнені маслом.

8.4.5 Для трансформаторних масел можуть бути використані розбірні маслопроводи, які попередньо очищують прокачкою гарячого масла.

8.4.6 Для поліпшення якості процесу відбору проб масла рекомендується обладнати пробовідбірну точку перед кожною одиницею маслonaповненого обладнання, до якої підведено стаціонарний маслопровід.

## **8.5 Додаткове оснащення масляного господарства**

8.5.1 Масляне господарство може бути додатково обладнане різними пересувними пристроями для обробки, регенерації, збору та заливу трансформаторних масел

(пересувні ємкості, пересувні установки типу УВМ, ПЦУ, УТМ та ін.).

8.5.2 Залежно від оснащеності енергосистеми пересувними установками для обробки масла та від транспортних зв'язків між підстанцією і централізованим масляним господарством енергосистеми майстерня масляного господарства може обладнуватися не всіма стаціонарними установками для обробки масла або зовсім не споруджуватися, у останньому випадку необхідно передбачити апаратну масляного господарства з колектором для приєднання пересувних маслооброблюючих установок ізоляційного масла.

9 Заходи безпеки у процесі експлуатації масляного господарства

## **9.1 Загальні вимоги безпеки у процесі роботи з трансформаторними маслами**

9.1.1 Трансформаторне масло є малонебезпечним продуктом і за ступенем впливу на організм людини відноситься до 4 класу небезпеки за ГОСТ 12.1.007 та є горючою рідиною, середньозапалювальною, з межами запалювання: верхньою - 163 °С, нижньої - 122 °С.

9.1.2 Приміщення, в якому ведуться роботи з маслом, повинно бути обладнане притокововитяжною вентиляцією.

Штучне освітлення приміщень повинне бути вибухобезпечного виконання.

9.1.3 Усі вогневі роботи на території і в приміщеннях масляного господарства повинні виконуватися відповідно до чинних «Правил пожежної безпеки в Україні».

9.1.4 Під час роботи з маслами необхідно застосовувати індивідуальні засоби захисту згідно з типовими галузевими нормами.

При попаданні масла на шкіру та слизисту оболонку очей необхідно рясно промити шкіру теплою мильною водою, а слизисту оболонку очей - теплою водою.

9.1.5 У випадку розливання необхідно зібрати масло в окрему тару, місце розливання протерти сухою тканиною. При розливанні на відкритій площадці місце розливання засипати піском із наступним його прибиранням.

9.1.6 У випадку загорання масла використовують такі засоби пожежогасіння: розпорошену воду, піну; при об'ємному гасінні - вуглекислий газ, суміш з ЖБ, суміш «3,5», пару.

## **9.2 Загальні вимоги пожежної безпеки**

9.2.1 Для забезпечення пожежної безпеки у процесі експлуатації масляного господарства необхідно:

- створити умови, що зменшують або повністю усувають можливість утворення горючої пароповітряної суміші;
- провести комплекс заходів з усунення джерел загорання;
- провести комплекс заходів, які спрямовані на обмеження розвитку пожежі та створення умов для успішного гасіння пожежі, що почалася.

9.2.2 До умов, що зменшують можливість утворення горючої пароповітряної суміші необхідно віднести:

- безпечні температурні умови зберігання;

- застосування герметичного обладнання;
- підтримання заданих параметрів повітряного середовища в апаратній;
- виявлення та ліквідацію аварійної загазованості;
- безпечні засоби та заходи ліквідації витоку масла.

9.2.3 До комплексу заходів з усунення джерел загорання відносяться такі:

- регламентація розмірів зон вибухонебезпечних концентрацій;
- використання іскробезпечних матеріалів та інструменту;
- усунення можливості контакту масла з речовиною, яка може вибухати та горіти;
- застосування технологічних процесів та обладнання, які задовольняють вимогам електростатичної іскробезпеки.

9.2.4 Комплекс заходів щодо запобігання розвитку пожежі та створенню умов для її успішного гасіння містить в собі:

- дотримання протипожежних розривів при розміщенні ємкостей і складів масла. Відстань від стінок резервуарів відкритих складів масла згідно з ПУЕ повинна бути не менше:

а) до будівель і споруджень електричних станцій та підстанцій (у тому числі до трансформаторної майстерні): для складів загальним об'ємом до 100 т масла - 12 м; для складів більше 100 т - 18 м;

б) до житлових та громадських приміщень - на 25 % більше відстані, зазначеної у переліку а;

в) до апаратної Масляного господарства - 8 м;

г) до складів балонів водню - 20 м;

- захист виробничих комунікацій від розповсюдження вогню (спорудження вогнеперегородників, встановлення гідравлічних затворів);

- обладнання автоматичною пожежною сигналізацією апаратної масляного господарства;

- наявність первинних засобів пожежогасіння на території складу і масло-апаратної.

## **9.3 Будівлі, приміщення та територія масляного господарства**

9.3.1 Відповідно до «Общесоюзных норм технологического проектирования.

Определение категорий помещений и зданий по взрывоопасной и пожарной опасности» будівлі та приміщення апаратної масляного господарства та складів масла відносяться до вибухопожежонебезпечної категорії В.

9.3.2 Апаратна масляного господарства повинна бути обладнана притоково-втяжною вентиляцією, яка забезпечує кратність повітрообміну не менше 5,5 об'ємів/год.

Періодично, але не менше одного разу на 10 днів, необхідно контролювати вміст вуглеводнів у приміщеннях апаратної. Граничноприпустима концентрація вуглеводнів - 300 мг/м<sup>3</sup>.

9.3.3 Проходи, проїзди, коридори, тамбури, сходи у виробничих приміщеннях необхідно утримувати у справному стані і нічим не захащувати.

9.3.4 Територія масляного господарства повинна утримуватися в чистоті та порядку. Обвалування резервуарів, сходи та площадки резервуарів необхідно утримувати в

справному стані.

На території масляного господарства палити, розпалювати вогонь, користуватися факелами, сірниками, запальничками, ліхтарями вибухонебезпечного виконання забороняється.

9.3.5 Розігрівання трубопроводів та арматури, що замерзли, має провадитися тільки паром.

Брудний обтирочний матеріал треба періодично вивозити з території масляного господарства і спалювати у спеціально відведеному місці, яке погоджено з пожежною охороною енергопідприємства.

Розлите масло необхідно негайно прибрати, після чого місце, де воно було розлите, витерти досуха або засипати піском.

У літній час на території масляного господарства траву, потрібно скосити та вивезти. Висушування скошеної трави та зберігання сіна на території масляного господарства забороняється.

9.3.6 Дороги, проїзди, під'їзди до споруд, пожежних гідрантів і засобів пожежогасіння не можна захаращувати і використовувати для складування матеріалів, деталей обладнання та ін.

Під час ремонту доріг необхідно слідкувати за тим, щоб були залишені об'їзди шириною 3,5 м для проїзду пожежних машин або зроблені містки через траншеї.

## 9.4 Вогневі роботи

9.4.1 До вогневих робіт відносяться усі види електрозварювальних, газозварювальних, бензогасових та паяльних робіт, варка бітуму і смол, а також інші роботи з застосуванням відкритого вогню або нагріву деталей до температури займання матеріалів та конструкцій.

9.4.2 Усі вогневі роботи на території і в приміщеннях масляного господарства повинні виконуватися за нарядом-допуском.

За наявності на підприємстві відомчої пожежної охорони (добровільної пожежної дружини - ДПД) наряди-допуски повинні бути погоджені з нею напередодні виконання робіт з установами з боку пожежної охорони (ДПД) відповідного контролю.

9.4.3 Проведення вогневих робіт дозволяється лише після вжиття заходів, які усувають можливість виникнення пожежі: очищення робочого місця від горючих матеріалів, захисту горючих конструкцій, забезпечення первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, ящиком із піском і лопатою та іншими необхідними засобами). Вид (тип) та кількість первинних засобів пожежогасіння, якими має бути забезпечене місце робіт, визначаються з урахуванням рекомендацій, наведених у «Правилах пожежної безпеки в Україні» і вказуються в наряді-допуску.

9.4.4 Місце проведення вогневих робіт має бути очищене від горючих речовин та матеріалів у радіусі, наведеному у таблиці 9.1.

Таблиця 9.1 - Визначення безпечних відстаней від місця проведення вогневих робіт

|                                                         | 0-2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | Понад 10 |
|---------------------------------------------------------|-----|---|---|---|---|----|----------|
| Висота точки зварювання над рівнем підлоги чи прилеглої | 2   |   |   |   |   |    |          |



До початку проведення вогневих робіт на резервуарі та усередині нього необхідно:

- усі засувки на сусідніх резервуарах та трубопроводах (для запобігання загоранню пари та газів нафтопродуктів) прикрити повстю, яку у жарку пору року потрібно змочувати водою;
- місце зварювання загородити переносними азбестовими або іншими щитами, що не згорають.

Електро- та газозварювальну апаратуру дозволяється розміщувати на відстані не менше 50 м від діючих резервуарів.

9.4.9 У апаратній до початку ремонтних вогневих робіт необхідно:

- перекрити засувки на маслопроводах обладнання, на якому намічено виконати роботи;
- звільнити від масла обладнання, яке необхідно ремонтувати (насоси, фільтри, підігрівачі, засувки, трубопроводи);
- від'єднати трубопроводи і встановити на них відповідні заглушки;
- продути парою усе обладнання, що ремонтується;
- провітрити приміщення апаратної, взяти пробу повітря на аналіз з метою визначення можливості проведення у приміщенні вогневих робіт.

Під час проведення вогневих робіт вентиляційна система приміщення має бути постійно ввімкнена і повинен здійснюватися контроль за станом повітряного середовища приведенням експрес-аналізів із застосуванням газоаналізаторів.

У разі наявності у приміщенні пари або газів нафтопродуктів концентрацією більше  $1000 \text{ мг/м}^3$  вогневі роботи потрібно припинити до прийняття заходів із зниження пари нафтопродуктів до концентрацій, що допускаються. Після цього має бути відібрана повторна проба повітря на аналіз.

9.4.10 Якщо при ремонті одного з насосів (без використання відкритого вогню) працюють інші насоси, що перекачують нафтопродукти, то потрібно прийняти заходи, які запобігають появі іскор або відкритого вогню на місці проведення ремонту.

Для ремонту необхідно використовувати інструмент, який виключає можливість іскроутворення.

9.4.11 Вогневі ремонтні роботи у зливних лотках дозволяється провадити після повного видалення залишків нафтопродуктів із зливних лотків, проведення їх пропарювання та відбору проби повітря на аналіз.

9.4.12 У випадку ремонту траси магістральних маслопроводів із проведенням вогневих робіт місце ремонту треба очистити від різних нафтопродуктів. Найближчі до місця проведення ремонтних робіт засувки з обох сторін трубопроводів мають бути зачинені. Від'єднану ділянку трубопроводу потрібно звільнити від масла та пропарити.

9.4.13 При виконанні інших ремонтно-монтажних робіт вогневі роботи дозволяється провадити на відстані не менше:

- 20 м від апаратної з перекачування масел, резервуарних парків та окремо розташованих резервуарів з маслом;
- 100 м від естакади маслосливу під час зливу цистерн і 50 м, коли злив не провадиться;

- 20 м від вузлів засувки та місць втрат нафтопродуктів, каналізаційних колодязів промислових та зливневих стоків.

## **9.5 Дії персоналу у разі виникнення пожежі**

9.5.1 У разі виникнення пожежі на складі масла необхідно:

- викликати пожежну команду;
- повідомити про виникнення пожежі начальника зміни станції;
- вжити заходів щодо локалізації та гасіння пожежі;
- за допомогою пожежних рукавів подати воду на охолодження резервуарів і маслопроводів у зоні пожежі.

9.5.2 У разі виникнення пожежі в апаратній масляного господарства і неможливості швидко збити полум'я необхідно:

- викликати пожежну команду;
- повідомити начальника зміни станції і начальника зміни цеху;
- зняти напругу на всіх електродвигунах та кабелях у приміщенні масло-апаратної (виконує персонал електроцеху).

Після зняття напруги розпочати гасіння пожежі пінним вогнегасником.

9.5.3 У разі виникнення пожежі на магістральних маслопроводах необхідно:

- викликати пожежну команду;
- повідомити начальника зміни станції і начальника зміни цеху;
- вивести з роботи пошкоджену ділянку (закрити засувки);
- розпочати гасіння пожежі розпорошеним струменем води, піском, вогнегасниками;
- вжити заходів до запобігання розтіканню гарячого масла.

9.5.4 У разі виникнення пожежі в КРУ або на щиті масляного господарства необхідно:

- викликати пожежну команду;
- повідомити начальника зміни станції і начальника зміни цеху;
- розпочати гасіння пожежі вуглекислотним вогнегасником;
- зняти напругу з електрообладнання (виконує персонал електроцеху).

Після зняття напруги розпочати гасіння пожежі водою та пінним вогнегасником.

## **9.6 Вимоги до проведення окремих робіт**

9.6.1 Під час відбору проб масла, вимірювання рівня і відчинення люка цистерн та резервуарів необхідно стояти з навітренної сторони (обличчям або боком до вітру) аби уникнути попадання пари і газів нафтопродуктів до дихальних шляхів та масла на одяг.

Люки, що призначені для замірювання рівня та відбору проб із резервуарів, повинні мати герметичні кришки, а отвори для вимірів - кільце з металу (із внутрішнього боку), яки виключає іскроутворення.

Забороняється заглядати до замірного люка або низько нахилятися до його горловини. Кришку замірного люка треба зачиняти обережно, не допускаючи удару.

9.6.2 Забороняється підтягувати болтові з'єднання (сальники насосів, засувки та вентилів, фланці арматури, підігрівачів, фільтрів, лічильників, КВП тощо) на обладнанні (ділянці), що знаходиться у роботі, без зняття тиску та відключення обладнання (ділянки) від технологічної схеми масляного господарства. Допускається підтягувати болтові фланці з'єднань при надмірному тиску не більше 0,5 МПа (5 кгс/см<sup>2</sup>) тільки при опробуванні та прогріві трубопроводів, підігрівачів, фільтрів після ремонту.

9.6.3 Забороняється провадити пуск насосів у разі виявлення несправності заземлення корпусів, броні та воронок кабелів електричного двигуна при відсутності обгородження на муфті зчеплення.

Доливання масла до електроприводу заглибних насосів необхідно провадити на зупиненому насосі за умов зняття з нього електричної напруги.

9.6.4 У разі тривалого ремонту (більше доби), а також за умови недостатньої щільності відключаючої фланцевої арматури, обладнання, що ремонтується, має бути відокремлене від діючого за допомогою заглушок.

9.6.5 Забороняється провадити пускання шестерневих насосів при замкненій напорній засувці.

9.6.6 Не можна приступати до зливу масла із залізничних цистерн до відчеплення та відходу локомотива.

Злив масла із залізничних цистерн необхідно провадити бригадою у складі не менше двох чоловік.

Подавання залізничних цистерн під зливання та наливання, а також їх виведення мають здійснюватися плавно, без поштовхів та ривків. Гальмування залізничних цистерн металевими башмаками на території, де знаходяться зливно-наливні пристрої, не дозволяється. Для цієї мети необхідно застосовувати дерев'яні підкладки.

## Додаток А (обов'язковий)

Параметри якості трансформаторних масел, методи їх вимірювання та вплив процесів старіння масел на значення параметрів, що вимірюються

### **А. 1 Загальна класифікація показників**

А. 1.1 Цей додаток вміщує характеристику показників якості трансформаторних масел, які регламентовані вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики<sup>1)</sup>.

Всього нараховується близько 55 показників (параметрів), які використовуються для оцінки якості та властивостей ізоляційних масел. У нормативних документах, що регламентують якість свіжих та експлуатаційних масел, використовуються тільки деякі з них, що відображають найбільш важливі споживацькі властивості. З різних причин за набором таких показників вітчизняна практика відрізняється від закордонної. Параметри якості трансформаторних масел, їх граничнодопустимі значення, прийняті у вітчизняній практиці, для свіжих масел перед заливом в електрообладнання, масел після заливу і в процесі експлуатації

зазначено у таблицях 4.1, 5.1 і 6.1.

Підрозділяють всі властивості ізоляційних масел на три основні групи: фізичні, хімічні та електричні.

A.1.2 Для свіжих масел у стані поставки найбільш часто використовуються такі показники:

а) показники, що характеризують фізичні властивості ізоляційних масел:

- зовнішній вигляд та колір;

1) Тут і далі в тексті додатку А при посиланнях на положення і вимоги вітчизняних та міжнародних нормативних документів мається на увазі, що зазначені положення і вимоги вміщуються в розділах цих методичних вказівок та в Публікації ІЕС 296 або Публікації ІЕС 422. Якщо положення та вимоги вміщуються в інших нормативних документах, ці документи оговорюються окремо.

2) густина;

3) в'язкість;

4) температура спалаху;

5) температура застигання;

6) показник заломлення;

7) поверхневий натяг на межі поділу фаз;

б) показники, що характеризують хімічні властивості ізоляційних масел:

1) кислотне число (число нейтралізації);

2) число омилення;

3) вміст водорозчинних кислот;

4) вологовміст;

5) вміст сірки та корозійна агресивність;

6) газостійкість в електричному полі;

7) стабільність проти окислення;

8) вміст антиокислювальної присадки;

9) вміст ароматичних вуглеводнів;

10) вміст поліхлорбіфенілів (ПХБ);

11) анілінова точка;

в) показники, що характеризують електричні властивості ізоляційних масел:

1) пробивна напруга;

2) імпульсна електрична міцність;

3) відносна діелектрична проникність;

4) тангенс кута діелектричних втрат;

5) питомий об'ємний опір;

6) стійкість до впливу часткових розрядів.

A. 1.3 Для масел, які заливаються до електрообладнання і знаходяться в експлуатації, додатково використовують ще декілька показників. Вони відображають якість технологічної обробки масла та зміни якості масла в процесі експлуатації, пов'язані із старінням і дефектами обладнання. До таких показників потрібно віднести:

- загальний газовміст<sup>1)</sup>;

- забруднення механічними домішками;

- хроматографічний аналіз розчинених в маслі газів<sup>1)</sup>;
- коефіцієнт полярності;
- розчинний (потенційний) та нерозчинний в маслі осад (шлам);
- продукти старіння за ІЧ-спектром;
- вміст фуранових сполук;
- вміст металів.

## A.2 Характеристика показників

A.2.1 Зовнішній вигляд та колір не є вирішальними показниками для відбракування масла, але дають швидку і корисну інформацію щодо необхідності проведення певних випробувань масла.

Зовнішній вигляд може вказувати на наявність в маслі вільної води, механічних забруднень або волокон целюлози.

Колір масла визначається при розгляданні у світлі, що проходить, на приладі ЦНТ і передається числовою оцінкою, яка базується на порівнянні з рядом колірних стандартів. У інших країнах часто колір масла визначають методом порівняння зразка масла із стандартною колірною шкалою, яка складається з набору прозорих пластинок відповідних відтінків кольорів, оцінених у балах.

Потемніння масла може вказувати на певну ступінь його старіння. У разі виявлення зміни кольору масла рекомендується провести такі випробування: визначення кислотного числа, тангенсу кута діелектричних втрат, діелектричної проникності, коефіцієнту заломлення і поверхневого натягу, які можуть дати більш визначену інформацію щодо стану масла. Отримані дані дозволять прийняти рішення про проведення більш глибоких випробувань (нерозчинний шлам, стабільність, продукти старіння за ІЧ-спектром) з метою визначення оптимальної технології відновлення характеристик (регенерації) відповідно до розділу 7 або визначити необхідність встановлення посиленого контролю стану масла за рахунок збільшення частоти відбору проб і введення до обсягу контролю додаткових показників.

<sup>1)</sup> Показники не мають безпосереднього відношення до визначення якості масла, а застосовуються для контролю за обробкою масла до заливу його в обладнання та для контролю за технічним станом цього обладнання в процесі його експлуатації.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики з метою оцінювання (підтвердження) якості свіжого масла. Стосовно експлуатаційних масел значення показника не нормується.

A.2.2 Густина - це відношення маси масла до його об'єму. Звичайно густину визначають при температурі 20 °С. Якщо густина визначена при іншій температурі, то її приводять до 20 °С з урахуванням поправочного температурного коефіцієнта. Густина зменшується із збільшенням температури.

Густина для трансформаторних масел різних марок змінюється у досить вузьких границях від 0,850 до 0,895 кг/дм<sup>3</sup>. Нафтові масла з високим вмістом ароматичних

вуглеводнів мають більшу густину, ніж парафіністі масла. Верхня границя густини нормується значенням  $0,895 \text{ кг/дм}^3$  для уникнення спливання льоду в маслі при низьких температурах (густина льоду при  $0^\circ\text{C}$  становить  $0,920 \text{ кг/дм}^3$ ).

У поєднанні з в'язкістю, коефіцієнтом заломлення та молекулярною вагою густина дає інформацію про структурно-груповий склад масла. Густина масла у процесі його старіння в обладнанні практично не змінюється.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики з метою оцінювання (підтвердження) якості свіжого масла. Стосовно експлуатаційних масел показник використовується під час визначення поверхневого натягу на межі розділу фаз відповідно до А.3.4.

А.2.3 Для оцінювання в'язкості трансформаторних масел використовується показник кінематичної в'язкості, поданий у сантистоксах (сСт). Чим менше в'язкість, тим краще конвекційне відведення тепла. В'язкість є однією з класифікаційних ознак типу масла. В'язкість незначно змінюється від забруднень та при старінні масла.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано з метою оцінювання (підтвердження) якості свіжого масла. Для контролю за якістю експлуатаційного масла - не застосовується.

А.2.4 Температура спалаху масла - це температура, при якій пара масла, що нагрівається у стандартних умовах (у закритому тиглі), утворює суміш з оточуючим повітрям, яка спалахує з легким вибухом, якщо піднести до неї полум'я. Температура спалаху також є класифікаційною ознакою типу масла.

У процесі окислення масел утворюється якась кількість летких продуктів, які, розчинюючись у маслі, зменшують температуру спалаху.

Під час експлуатації має велике значення стабільність цього показника протягом тривалого часу. Різке зниження температури спалаху за короткий проміжок часу сигналізує про розклад масла під впливом місцевого перегрівання або під дією розрядів. У разі виявлення зниження температури спалаху необхідно виконати хроматографічний аналіз масла.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для використання на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості свіжого та експлуатаційного масла.

А.2.5 Температура застигання - це температура, при якій масло ще зберігає плинність. Низькотемпературні властивості особливо важливі для масел, які експлуатуються в умовах холодного клімату. Нафтові масла мають низьку температуру застигання, але за рахунок додавання певних депресантів можна знизити температуру застигання також і парафінових масел. Температура застигання характеризує глибину очищення масла від високов'язких компонентів. Для оцінювання старіння масла цей показник не використовується.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для використання на об'єктах електроенергетики з метою оцінювання (підтвердження) якості свіжих масел. Для контролю за якістю експлуатаційних масел - не використовується.

А.2.6 Показник заломлення - це співвідношення синусу кута падіння до синусу кута заломлення світлового променя під час проходження через поверхню поділу двох середовищ. Показник заломлення масла змінюється залежно від складу масла, його природи та від суми розчинених домішок. У процесі окислення масла показник заломлення зростає. Порівнюючи показники заломлення свіжого масла і масла, що знаходиться довгий час у експлуатації можна робити висновки про ступінь забруднення масла або зміни його складу.

Показник заломлення для масел визначається на довжині хвилі світла  $689,3 \cdot 10^{-9}$  м (лінія D натрію) і позначається  $n_D$ . Визначення, як звичайно, проводять при температурі 20 °С.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах не регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики. Можна рекомендувати його для оцінки ступеня старіння згідно з А.2.7.

А.2.7 Коефіцієнт полярності (у деяких зарубіжних джерелах - коефіцієнт Вермана) використовується як міра вмісту полярних домішок у маслі, в тому числі і продуктів старіння. Свіже трансформаторне масло є слабкополярним діелектриком. У міру старіння в маслі відбувається накопичення молекул з полярними групами, при цьому діелектрична проникність масла зростає за рахунок орієнтаційної поляризації, тобто зростає значення коефіцієнта полярності. Коефіцієнт полярності розраховується за формулою:

$$K_v = e - (n_D)^2, \text{ (A.1)}$$

де  $K_v$  - коефіцієнт полярності;

$e$  - діелектрична проникність масла;

$n_D$  - показник заломлення, виміряний при температурі вимірювання  $e$ .

Для свіжих трансформаторних масел значення коефіцієнта полярності менше 0,02.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах не регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики. Можна рекомендувати його для оцінювання ступеня старіння масла: вважається, що значення  $K_v$ , які дорівнюють 0,04 і більше, можуть свідчити про початок шламоутворення.

А.2.8 Поверхневий натяг масла на межі поділу фаз вимірюється на межі масла та води. Поверхневий натяг для мінеральних ізоляційних масел є однією з характеристик, які чутливі до ранніх стадій старіння масла. Величина поверхневого натягу залежить від вмісту в маслі полярних поверхнево-активних сполук (нафтонових кислот, смол, мил), які накопичуються в маслі під час його старіння, що веде до зменшення поверхневого натягу масла. Показник корелюється з коефіцієнтом полярності, діелектричними втратами і є корисним для оцінювання ступеня старіння масла пород регенерацією і після неї для визначення якості очищення.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах рекомендовано для застосування на об'єктах електроенергетики для оцінювання якості свіжих та експлуатаційних масел. Методика визначення показника - згідно з А.3.4.

А.2.9 Кислотне число є основним показником, який характеризує ступінь старіння масла. Кислі сполуки, що утворюються у результаті окислення масел, адсорбуються целюлозною ізоляцією і сприяють її руйнуванню, утруднюють теплообмін. Контроль за цим показником є дуже важливим для підвищення надійності та строку служби обладнання.

Визначення вмісту органічних кислот, які вміщують карбоксильні групи, за кислотним числом (кількісним результатом титрування розбавленого спиртового лугу) є найбільш зручним та прямим методом оцінювання хімічного старіння масла. Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для контролю за якістю свіжих та експлуатаційних масел.

А.2.10 Число омилення, на відміну від кислотного числа, визначає сумарну кількість вільних кислот та складних ефірів органічних кислот, які утворюються в процесі окислення Масла. Число омилення більш глибоко характеризує старіння масла. Показник регламентовано для використання тільки деякими закордонними національними стандартами (наприклад, стандартом США I/IEEE C.57.106). Можна рекомендувати Цей показник для оцінювання ступеня старіння масла: вважається, що якщо віднесення числа омилення до кислотного числа перевищує значення чотири, то це може свідчити про початок шламоутворення.

А.2.11 Вміст водорозчинних кислот (реакція водної витяжки) характеризує ступінь старіння масла. У процесі експлуатації в трансформаторних маслах утворюються як високомолекулярні кислоти, які визначають кислотне число, так і низькомолекулярні (водорозчинні) кислоти. При кислій реакції водної витяжки кількісно визначається вміст водорозчинних кислот. Показник малочутливий на початкових стадіях окислення масла.

Показник регламентовано тільки вітчизняними нормативними документами. Для свіжих масел визначення показника провадиться за ГОСТ 6307, а для експлуатаційних - за методикою А.3.1.

А.2.12 Вологовміст - це відношення маси води до маси масла.

Вода в маслі може бути присутня в розчиненому та емульсійному стані. Вода знижує електроізоляційні характеристики масла, прискорює старіння целюлозної ізоляції та самого масла, знижує питомий опір і підвищує тангенс кута діелектричних втрат.

Нерозчинена емульсійна вода має найбільший негативний вплив на електричну міцність масла (різко знижує пробивну напругу масла). Наявність вільної емульсійної води може бути виявлено у вигляді окремих крапель або замутнення при візуальному контролі.

Вода в розчиненому стані визначається фізичними або хімічними випробуваннями. Для трансформаторних масел найбільш придатні гідридкальцієвий метод та метод Карла Фішера, які відрізняються високою чутливістю та точністю і дають можливість визначати наявність дуже малої кількості вологи в маслі (процедура визначення показника методом Карла Фішера міститься в Публікації IEC 814 і Публікації IEC 733).

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є

обов'язковим для контролю за якістю свіжих та експлуатаційних масел.

A.2.13 Вміст сірки та корозійна агресивність - це показник, що застосовується при вирішенні питань застосування та змішування масел.

Вміст в маслі сіркоорганічних сполук (меркаптанів) впливає на його корозійну агресивність. Кількісно він визначається титруванням і результати подаються у вигляді кількості «корозійної сірки». Наявність меркаптанів викликає інтенсивну корозію міді у середовищі трансформаторного масла, яке окислюється.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики для оцінювання (підтвердження) якості свіжих масел. Для контролю за якістю експлуатаційних масел - не застосовується.

A.2.14 Газостійкість трансформаторного масла в електричному полі характеризує поглинання (виділення) газів у маслі під дією електричного поля. Газостійкість залежить від складу масла. Підвищення газостійкості масел знижує небезпеку газового пробою. Масла з високим вмістом ароматичних вуглеводнів мають газопоглинаючі властивості. Із зниженням вмісту ароматичних вуглеводнів масла набувають газовиділяючі властивості. Для підвищення газостійкості масел залежно від умов експлуатації застосовуються різні присадки.

За необхідності визначення газостійкості потрібно керуватися положеннями Публікації IEC628. До газостійких потрібно відносити масла, для яких, під час випробування згідно з Публікацією IEC 628, виділення газу не перевищує 5 мкл на 1 хв.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики, однак він є важливим при ідентифікації масел, зокрема під час визначення можливості використання конкретного масла в герметичному малооб'ємному обладнанні (уводи, вимірювальні трансформатори).

A.2.15 Стабільність проти окислення - це сукупність показників, визначення яких є основним засобом заздалегідь оцінити експлуатаційні властивості масла.

Під час експлуатації трансформаторів в маслах, що залиті до них, відбуваються глибокі зміни, які характеризують поняттям «старіння». У результаті старіння трансформаторного масла, окислювальні процеси, що відбуваються в ньому, погіршують електроізоляційні властивості масла, змінюють його хімічні та електрофізичні властивості. При старінні змінюється кислотне число; число омилення; колір; тангенс кута діелектричних втрат; утворюється шлам, вміст якого можна визначити. Усі методи оцінювання стабільності масел проти окислення базуються на принципі форсування у штучних умовах окислення масла під впливом ряду факторів, що мають місце у реальних трансформаторах (температура, електричне поле, матеріали трансформатора та ін.).

На відміну від ГОСТ 981, визначення стабільності згідно з Публікацією IEC 1125 базується на індукційному періоді окислення масел. Остання методика широко використовується у міжнародній практиці, а її основні положення для визначення стабільності проти окислення інгібірованих масел (Публікація IEC1125, метод B) наведені у розділі A.3.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах

регламентовано для використання на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості свіжих та експлуатаційних масел.

А.2.16 Вміст антиокислювальної присадки визначається для оцінювання експлуатаційних властивостей масла.

Антиокислювальні присадки застосовуються для захисту ізоляційних масел від окислення. Однією з кращих присадок, що використовується для трансформаторного масла, є 2,6-дітретичний бутил-4-метилфенол (іонол).

У процесі окислювального старіння масла знижується концентрація антиокислювальної присадки (іонолу або присадки іншого типу), що є одним із засобів оцінювання швидкості старіння масла.

Вміст антиокислювальної присадки визначається за допомогою тонкошарової хроматографії згідно з методикою А.3.3. Рекомендується використання інфрачервоної (ІЧ) спектроскопії згідно з Публікацією ІЕС 666.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості свіжих та експлуатаційних масел.

А.2.17 Вміст ароматичних вуглеводнів в ізоляційному маслі визначають, звичайно, методом ІЧ-спектроскопії (інфрачервоної спектроскопії), але можна визначати і адсорбційно-хроматографічно. Вміст ароматики визначає ряд важливих експлуатаційних властивостей масла (газостійкість, вплив на еластомери). Ці властивості залежать не тільки від загального вмісту ароматики, але і від її складу. Однак, у першому наближенні, можна вважати, що масла із загальним вмістом ароматики 20 % і більше від об'єму масла мають газопоглинаючі властивості. За необхідності визначення вмісту ароматичних вуглеводнів необхідно керуватися положеннями Публікації ІЕС 590.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики, однак він є важливим для ідентифікації масел.

А.2.18 Вміст поліхлорбіфенілів (ПХБ, англійський еквівалент - РСВ) визначається для оцінювання шкідливості масел.

Поліхлорбіфеніли - екологічно шкідливі сполуки, які з'являються у процесі старіння масел або у разі неякісної технології їх виготовлення. Свіжі нафтові масла не повинні вміщувати ПХБ, але в маслах, що експлуатуються, в сумішах свіжих масел з маслами, які регенеровані, ПХБ можуть бути. Через негативний вплив ПХБ на оточуюче середовище і людей їх застосування заборонено у всьому світі і з 90-х років контроль вмісту ПХБ в ізоляційних маслах у країнах Західної Європи є обов'язковим.

Відповідно до європейських директивних вказівок ES 76/403 (1992) забороняється використання експлуатаційних масел із вмістом ПХБ більше 50 ppm (50 мільйонних часток) від об'єму масла.

За необхідності визначення вмісту ПХБ необхідно керуватися положеннями Публікації ЕС 997.

Показник не регламентовано вітчизняними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики для оцінювання якості експлуатаційних масел. Однак він є обов'язковим для оцінювання якості свіжих

масел (розділ 4), які виробляються за межами СНД.

А.2.19 Анілінова точка - це найменша температура, при якій гомогенний розчин рівних об'ємів проби масла та аніліну починає розділятися. Масла з великим вмістом ароматичних вуглеводнів мають більш низьку анілінову точку. Найбільш високу анілінову точку мають парафінові масла - від 79 до 94 °С, більш низька анілінова точка у нафтових масел - від 59 до 82 °С.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики, однак він може використовуватися при ідентифікації масла.

А.2.20 Пробивна напруга трансформаторного масла характеризує здатність цього рідкого діелектрика витримувати певну напруженість електричного поля без пробою. Пробивна напруга безпосередньо залежить від температури масла, яке випробовується, вмісту в маслі води та механічних домішок. Цей показник особливо важливо перевіряти перед включенням нових трансформаторів, а також у тих випадках, коли починається старіння трансформаторного масла та ізоляції, тому що процес старіння веде до утворення води та твердих домішок.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості свіжих та експлуатаційних масел.

А.2.21 Імпульсна електрична міцність - це величина пробивної напруги при прикладанні уніполярного імпульсу тривалістю від 30 до 40 мкс в неоднорідному полі між електродами. Значення імпульсної пробивної напруги значно відрізняються від значень пробивної напруги, отриманих при визначенні електричної міцності для змінного струму. Як електроди застосовують голку та сталеву кулю, розташовану на відстані 2,5 мм від голки. Встановлено, що при прикладанні до голки негативного імпульсу пробивна напруга залежить від ступеня очищення масла під час його виробництва і чим менший вміст ароматики, тим вище його пробивна напруга. Результат випробувань не залежить від наявності в маслі забруднень, які, звичайно, впливають на електричну міцність.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики. .

А.2.22 Відносна діелектрична проникність є основною макроскопічною сталою, яка характеризує властивості діелектрика і є відношенням ємності конденсатора з цим діелектриком до ємності конденсатора, діелектрик в якому замінено на вакуум.

Діелектрична проникність характеризується поведінкою молекул масла в електричному полі. У процесі старіння масла відбувається накопичення молекул з полярними групами, котрі поводять себе як діполі, і тому діелектрична проникність такого масла при низьких частотах зростає за рахунок орієнтаційної поляризації.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики. Можна використовувати його для оцінювання ступеня старіння масла згідно з А.2.7.

А.2.23 Тангенс кута діелектричних втрат ( $\tan \delta$ ) є показником якості масла, який дуже чутливий до наявності в цьому маслі різних забруднень (дрібнодисперсних утворень, розчинних металоорганічних сполук, різних продуктів старіння масла та твердої ізоляції тощо). У процесі старіння масла  $\tan \delta$  зростає, причому швидкість

зростання цього показника прямо пов'язана з накопиченням продуктів старіння, які вміщують карбоксильні групи. Використовуючи цей показник, можна виявити зміну властивостей масла навіть при дуже малому ступені забруднення, а по характеру температурної залежності  $\text{tg } d$  - визначити тип забруднення.

За необхідності можна рекомендувати при аналізі результатів вимірювання  $\text{tg } d$  визначити відношення значення  $\text{tg } d$ , виміряного при температурі  $90^\circ\text{C}$ , до значення  $\text{tg } d$ , виміряного при температурі  $20^\circ\text{C}$ . Якщо співвідношення перевищує 10, то це буде свідчити про достатньо швидке накопичення продуктів старіння масла або появу домішки в результаті розчинення або старіння якого-небудь полімерного матеріалу конструкції.

Показний  $\text{tg } d$  у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості свіжого та експлуатаційного масел.

A.2.24 Питомий об'ємний опір ( $\rho_v$ ), за своєю фізичною суттю, є одним з основних показників, які характеризують електроізоляційні властивості трансформаторного масла. Цей параметр є чутливим індикатором, який реагує на появу в маслі продуктів старіння (полярних сполук, мил, смол, колоїдів, шламу, води) і може ефективно використовуватися як діагностичний критерій старіння або дефекту, що розвивається, нарівні з  $\text{tg } d$ .

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах рекомендовано для застосування на об'єктах електроенергетики для оцінювання якості експлуатаційних масел нарівні з показником A.2.23.

A.2.25 Забруднення механічними домішками трансформаторного масла відбувається у процесі експлуатації електротехнічного обладнання, коли в маслі утворюються і накопичуються різні продукти старіння масла та твердої ізоляції. Вода, шлам, вугілля, волокна твердої ізоляції, частки адсорбентів та ін., все що знаходиться в маслі в дисперсному стані, є не тільки продуктами старіння, але й прискорювачами самого процесу старіння, вони також є однією з головних причин зниження пробивної напруги ізоляції.

Кількість механічних домішок вимірюють ваговим методом або фотометричне, з визначенням дисперсного складу.

Визначення кількості часток, нерозчинних у маслі, фотометричним методом є індикатором зносових дефектів, оцінює якість підготовки масла і дає інформацію про комплексну електричну міцність масла. У разі застосування фотометричного методу за допомогою фотоелектричного лічильника визначається кількість часток з роздільним ліченням їх за певними розмірними класами.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості експлуатаційного масла.

A.2.26 Хроматографічний аналіз розчинених у маслі газів є одним із найбільш поширених та достатньо ефективних методів контролю стану трансформаторів в експлуатації. Він дозволяє виявити дефекти, що повільно розвиваються, а також слідкувати за їх розвитком. При цьому забезпечується своєчасна профілактика та запобігання аварійності обладнання, що експлуатується.

Оцінювання стану силових трансформаторів базується на результатах визначений

таких газових компонентів у маслі, як водень, оксид вуглецю, двооксид вуглецю, метан, етилен, етан, ацетилен та вуглеводнів, які вміщують C3, C4, C5.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики як показник оцінювання стану обладнання, в якому експлуатується масло.

A.2.27 Розчинний (потенційний) та нерозчинний в маслі осад (шлам) є показником старіння масла.

У процесі окислення масла утворюються і багатоатомні сполуки з різними функціональними групами, які в результаті реакцій конденсації або полімеризації утворюють продукти ущільнення: осад розчинний та нерозчинний в маслі.

Розчинний або потенційний осад - це колоїдний розчин продуктів асоціації та ущільнення в маслі. Він випадає з розчину під час розбавлення масла, яке зістарилося, н-гептаном або деароматизованим бензином.

Нерозчинний осад (шлам) - продукт більш глибокого ущільнення і в маслі не розчинюється.

Потенційний та нерозчинний осад характеризується високим кислотним числом і є найбільш агресивною частиною масла по відношенню до паперу та картону.

Визначення показника виконується відповідно до методики A.3.2.

Показник у вітчизняних та міжнародних нормативних документах регламентовано для застосування на об'єктах електроенергетики і він є обов'язковим для оцінювання якості експлуатаційних масел.

A.2.28 Продукти старіння за ІЧ-спектром (інфрачервоним спектром) визначаються для оцінювання глибини старіння масла або ефективності його регенерації.

Визначення продуктів старіння в маслі за ІЧ-спектром базується на тому, що під час проходження через кювету із зразком масла інфрачервоного випромінювання з частотою, що змінюється в області довжин хвиль від 5,7 до 6,0 мкм (від 1754 до 1667 см<sup>-1</sup>) за характерним розміщенням смуг поглинання можна робити висновок про наявність продуктів окислення або забруднюючих домішок в маслах, тому що поглинання в цій області обумовлено коливаннями валентного зв'язку карбонільної групи ( $C=O$ ).

За необхідності показник можна визначити за методикою, яка вміщується в ASTM2144.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики. Рекомендовано для оцінювання ефективності регенерації згідно з 7.5.1.

A.2.29 Вміст фуранових сполук у маслі є мірою глибини старіння твердої ізоляції або свідчить про наявність дефектів, пов'язаних із перегріванням та деструкцією твердої ізоляції.

Фуранові сполуки з'являються в маслі як продукт деструкції целюлозної ізоляції.

Визначення вмісту фуранових сполук виконується методом рідинної хроматографії та, з меншою точністю, методом газової хроматографії. Метод рідинної хроматографії дозволяє визначити фуранові сполуки у дуже малих концентраціях, що робить

можливим більш раннє попередження про зміни у стані твердої ізоляції, аніж за допомогою аналізу газу в маслі.

У разі необхідності показник можна визначити за методиками, які вміщуються у Публікації IEC 1198.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами для застосування на об'єктах електроенергетики.

A.2.30 Зміст металів у маслі є важливим показником виявлення перегрівних та механічних (зносних) дефектів. Вміст частинок металів, комплексних сполук металів та солей органічних кислот визначається спеціальними методами.

За необхідності показник можна визначити за методикою, яка вміщується у ASTM 3635.

Показник не регламентовано вітчизняними та міжнародними нормативними документами Для застосування на об'єктах електроенергетики.

## **A.3 Спеціальні методики визначення показників**

A.3.1 Методика визначення вмісту водорозчинних кислот в експлуатаційному трансформаторному маслі

A.3.1.1 Для визначення реакції водної витяжки необхідно:

- у конічну колбу місткістю 250 мл влити зразок експлуатаційного масла вагою 25 г, визначеною з точністю до 0,1 г, додати до нього 25 мл дистильованої води і нагріти суміш у водяній бані до 70 °C. При аналізі емульгуючих масел до зразка масла, що підлягає випробуванню, додати 20 мл бензину-розчинника, а потім додати дистильовану воду і нагріти суміш до 70 °C;
- нагріту суміш із конічної колби перелити до ділильної воронки місткістю 250 мл і збовтувати на протязі 5 хв;
- після розділення шарів, водний шар опустити до конічної колби місткістю 50 мл. Із колби піпеткою перенести 3 мл водної витяжки до пробірки, додати до неї одну краплю розчину метилового оранжевого. Порівняти колір водної витяжки з кольором 3 мл дистильованої води, яка налита в іншу пробірку і до якої додали також краплю розчину метилового оранжевого. У разі однакового кольору в обох пробірках реакція водної витяжки масла вважається нейтральною.

A.3.1.2 Вміст водорозчинних кислот визначається таким чином:

- якщо реакція водної витяжки буде кислою, масло з ділильної воронки перелити до конічної колби місткістю 250 мл і знову провести екстракцію водорозчинних кислот (A.3.1.1), при цьому водні витяжки збирати до окремих колб;
- екстракцію водорозчинних кислот повторити до отримання нейтральної реакції водної витяжки;
- із усіх колб з водними витяжками, є тому числі із колби з водною витяжкою, де є нейтральна реакція, взяти піпеткою по 20 мл цієї витяжки і злити до конічної колби місткістю 100 мл;
- суміш водних витяжок титрувати 0,025N розчином їдкого калі за наявності трьох крапель розчину фенолфталеїну до появи слабко-рожевого забарвлення. Паралельно провести контрольний дослід титрування такої самої кількості дистильованої води, яка відібрана для титрування всіх водних витяжок масла, що

підлягає випробуванню;

- дистильовану воду для контрольного дослідження попередньо нагріти до 70 °С і потім охолодити до кімнатної температури;

- вміст водорозчинних кислот в експлуатаційному маслі (  $X_1$  ) в мг КОН на 1г масла необхідно обчислювати за формулою:

(A.2)

де  $V_1$  - об'єм 0,025N розчину їдкого калі, який був використаний на титрування всіх відібраних водних витяжок, в мл;

$V_2$  - об'єм 0,025N розчину їдкого калі, який був використаний на титрування дистильованої води в контрольному досліді, мл;

$T$  — титр 0,025N розчину їдкого калі, мг.

За результат випробування приймають середнє арифметичне результатів визначення вмісту водорозчинних кислот у двох пробах експлуатаційного масла. Розбіжність між визначеннями водорозчинних кислот у двох пробах не повинна перевищувати 0,002 мг КОН на 1 г масла.

A.3.2 Методика визначення розчинного та нерозчинного осаду в експлуатаційних трансформаторних маслах

A.3.2.1 Метод вміщує визначення твердого та розчиненого осаду в експлуатаційних ізоляційних маслах.

Твердий осад - це будь-яка тверда речовина, що не розчинюється в маслах та в суміші рівних кількостей толуолу, ацетону та 95 %-етилового спирту після розбавлення масла н-гептаном.

Розчинний осад - це продукти окислювального старіння масла або забруднюючі домішки, які стають нерозчинними при розведенні масла н-гептаном, але які розчинюються в згаданій вище суміші толуолу, ацетону та етилового спирту.

A.3.2.2 Для визначення твердого та розчиненого осаду застосовують таку апаратуру та реактиви:

- конічні колби або циліндр із притертими пробками місткістю 250 мл;

- колби конічні місткістю 50 мл;

- воронки скляні діаметром 100 мм;

- водяна баня;

- ексикатор;

- обеззолений фільтр (синя стрічка) діаметром від 110 до 125 мм;

- толуол (чистий для аналізу) ГОСТ 5789;

-ацетон;

- н-гептан;

- спирт етиловий ректифікат технічний ГОСТ 18300, вищий гатунок.

A.3.2.3 Для визначення суми нерозчинного в маслі осаду та розчинного осаду, який осаджується н-гептаном, необхідно використовувати таку послідовність:

- у тому випадку, коли в маслі візуально знаходиться осад, пробу масла необхідно ретельно перемішувати до тих пір, поки осад рівномірно не розподілиться в маслі у змуленому стані;

- зважити 10 г масла з точністю до 0,1 г у колбі або циліндрі з притертою пробкою і

розвести н-гептаном із розрахунку 10 мл на 1 г масла;

- пробу та розчинник ретельно перемішати і залишити у темряві на час від 18 до 24 год. при температурі оточуючого середовища для виділення осаду.

- якщо при цьому виникає осад, то розчин профільтрувати через тарований обеззолений фільтр (синя стрічка), діаметром від 110 до 125 мм. Фільтр та осад промити н-гептаном до повного видалення слідів масла;

- гептану дати можливість випаритися, потім просушити фільтр з осадом у сушильній шафі протягом 1 год. при температурі від 100 до 110 °С, охолодити в ексикаторі, зважити та розрахувати кількість осаду в процентах до маси взятого масла (величина А).

А.3.2.4 Для визначення розчинного осаду (що осаджується) необхідно:

- отриманий на фільтрі осад обробити мінімальною кількістю суміші (рівна кількість толуолу, ацетону і 95 %-спирту) при 50 °С, збираючи розчин до конічної колби місткістю 50 мл, яку висушили до постійної маси;

- суміш відганяти із конічної колби на водяній бані. Осад у колбі висушити у сушильній шафі при температурі 110 °С протягом 1 год., охолодити в ексикаторі і зважити. Кількість розчиненого осаду (що осаджується) розрахувати в процентах до маси взятого масла (величина В).

А.3.2.5 Для визначення твердого осаду необхідно шляхом розрахунків знайти різницю між величинами А і В. Ця різниця є процентом нерозчинного в маслі («твердого») осаду.

А.3.3 Методика тонкошарової хроматографії для визначення вмісту іонолу в трансформаторному маслі

А.3.3.1 Цевизначення базується на методі висхідної хроматографії в закріпленому шарі. Суть методу полягає у нанесенні на шар адсорбенту строго визначеного об'єму масла, яке підлягає випробуванню, та еталонних розчинів, які ; вміщують різну концентрацію іонолу в маслі. Розділення іонолу та компонентів масла провадиться н-гексаном із подальшим проявленням плям іонолу у випарах йоду. Про кількість іонолу в маслі, яке досліджується, судять по плямі еталону, у якій площа та інтенсивність окрашення співпадає з плямою зразка, що підлягає випробуванню.

Відмінною особливістю експрес-методу, що пропонується, є використання стандартних пластин «Силуфол» фірми KAVALLIER (Чехія), кожна з яких містить у собі алюмінієву фольгу з шаром нанесеного силікагелю для тонкошарової хроматографії. Використання готових стандартних пластин значно спрощує операції визначення іонолу.

А.3.3.2 Для визначення вмісту іонолу використовують таку апаратуру та реактиви:

- камери для хроматографування та проявлення - 2 шт. Це скляні посудини з плоским дном та пришліфованою скляною кришкою висотою 25 см. Як камеру допускається використовувати звичайні скляні банки для консервування місткістю 1 л, які закриваються поліетиленовими кришками;

- мікропіпетка -1 шт. Це товстостінний капіляр, кінець якого сточений на конус.

Мікропіпетка градується з таким розрахунком, щоб діаметр нанесеної на пластину «Силуфол» проби масла був в інтервалі від 2 до 3 мм;

- гумова груша - 1 шт;
- «Силуфол» - відбивальна алюмінієва фольга з шаром силікагелю для тонкошарової хроматографії;
- склянка з притертою пробкою для осушення гексану - 1 шт;
- склянка Бюкса з притертою кришкою - 1 шт;
- піпетка на 25 мл - 1 шт;
- гексан нормальний;
- кальцій хлористий, безводний;
- йод кристалічний;
- фільтрувальний папір;
- еталонні розчини різної концентрації іонолу в маслі, яке досліджується (концентрація іонолу у відсотках: 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,30; 0,35; 0,40).

А.3.3.3 Перед визначенням вмісту іонолу в трансформаторному маслі необхідно приготувати еталонні розчини.

Розмір та інтенсивність забарвлення плям іонолу залежать від хімічного складу масел. Чим більше в них ароматичних вуглеводнів, тим більше розмір плями при однаковій концентрації іонолу в маслі. Тому еталонні розчини готують на зразку масла, яке аналізується, без присадки (базове масло). Концентрації еталонних розчинів наведено вище.

У разі відсутності базового масла іонол необхідно вилучити з масла, яке аналізують, з наступним приготуванням еталонів на маслі, що вже не вміщує іонол.

Відповідно до методики експрес-метода якісного визначення іонолу в енергетичних маслах тонкошаровою хроматографією<sup>1)</sup> для вилучення іонолу можуть бути використані два методи:

а) окислення масла до моменту повної витрати іонолу за таким режимом: окисляти масло, яке аналізується, відповідно до вимог ГОСТ 981. Окислення необхідно провадити до почервоніння водного розчину метилоранжу в уловлювачі, після чого можна визначити вміст іонолу в окислюваному маслі. У разі відсутності іонолу окислення припинити (наявність або відсутність іонолу визначають якісно за наявності або відсутності характерної для іонолу плями на стандартній пластині «Силуфол»). У разі наявності іонолу окислення необхідно продовжити і перевіряти вміст іонолу в маслі через кожну годину випробування. Масло, яке не вміщує іонол, підлягає контактному очищенню (2 % зикейвської землі або силікагелю в порошок) при перемішуванні протягом 15 хв при 80 °С з подальшою фільтрацією масла.

<sup>1)</sup> Экспресс-метод качественного определения ионола в энергетических маслах тонкошаровой хроматографией. - Москва: ВТИ, 1974.

б) обробка масла 7 % концентрованою сірчаною кислотою і 8 % зикейвської землі за таким режимом: 100 г масла оброблюють послідовно три рази концентрованою сірчаною кислотою: один раз 4 мл і потім два рази по 1,5 мл кислоти. Після кожного перемішування масла з кислотою - відстоювання і зливання гудрону. Потім масло оброблюють при 50 °С зикейвською землею та відфільтровують. Оброблене масло перевіряють на відсутність іонолу якісно, як вказано вище.

Еталонні розчини можуть готуватися заздалегідь для усіх масел і повинні

зберігатись в темному місці на холоді.

На отриманому маслі готують еталонні розчини з різною концентрацією іонолу.

А.3.3.4 Встановлюється така послідовність проведення аналізу:

- н-гексан, який застосовується для розділення масла, необхідно осушити. З цією метою н-гексан потрібно налити в склянку з притертою пробкою із свіжо-прожареним хлористим кальцієм. У подальшому н-гексан зберігати у тій самій склянці під тягою;
- хроматографічну камеру для проявлення плям іонолу наситити випарами йоду, для чого на дно камери кинути декілька кристаликів йоду і закрити її;
- хроматографічну камеру для розділення масла наситити випарами н-гексану. Для цього в камері розмістити лист фільтрувального паперу таким чином, щоб він щільно прилягав до всіх бічних поверхонь камери. Потім за допомогою гумової груші та піпетки на 25 мл налити до камери необхідну кількість висушеного н-гексану. Кількість н-гексану, що вводиться, повинна бути такою, щоб після насичення фільтрувального паперу на дні камери залишався шар висотою 7 мм. Камера повинна бути завжди щільно закрита кришкою;
- склянку Бюкса з притертою кришкою заповнити н-гексаном, який в процесі визначення використовується для промивання мікропіпетки. Мікропіпетку опустити в склянку Бюкса з гексаном і промити декілька разів за допомогою гумової груші, а потім продути для видалення гексану. Промивання та просушування мікропіпетки - обов'язкова операція перед відбором кожного нового зразка масла. Н-гексан, який використовується для промивання мікропіпетки, замінити після 20 промивань;
- перед нанесенням проби масла на пластину «Силуфол» від неї необхідно відрізати смужку необхідної ширини, яка визначається числом проб та діаметром камер. Різати пластину необхідно уздовж вертикальних смуг, які чітко помітні на її зворотному боці (підкладці);
- пластину помістити на столі таким чином, щоб вертикальні смуги на підкладці розташовувалися перпендикулярно лінії старту;
- за допомогою мікропіпетки відібрати пробу масла, для чого сточений на конус кінець мікропіпетки опустити до проби масла і залишити в маслі до тих пір, поки масло не підніметься по капіляру трохи вище позначки. Після цього мікропіпетку вийняти із зразка масла, видалити надлишки масла і довести рівень його до позначки за допомогою фільтрувального паперу;
- кінцем мікропіпетки з пробкою обережно торкнутися поверхні пластини, так щоб не порушити шар адсорбенту, на відстані 15 мм від її нижнього краю. Мікропіпетку необхідно тримати у такому положенні до тих пір, поки все масло з капіляра не буде увібране адсорбентом. Це контролюється повною відсутністю масла в капілярі мікропіпетки та припиненням зростання діаметра плями;
- на пластину нанести послідовно однакові кількості масла, яке аналізується, та еталонних розчинів з поступово зростаючою концентрацією іонолу. Перша і остання проби наносяться на відстані не менше, ніж 15 мм від вертикальних кінців пластини, відстань між центрами плям нанесених проб повинна бути не менше 10 мм,
- після нанесення проб пластину помістити до хроматографічної камери з н-

гексаном таким чином, щоб кінець її, з нанесеними пробами, був опущений в н-гексан, але при цьому самі проби не торкалися б поверхні гексану. Камеру закрити кришкою і залишити пластину в такому положенні до тих пір, поки розчинник не підніметься на висоту 14 см;

- вийняти пластину з камери і, витримавши її на повітрі приблизно 1 хв, дати гексану випаритися;
- після випарення розчинника пластину помістити для проявлення до камери з випарами йоду до появи чітких плям іонолу коричневого кольору у формі еліпсу, після чого її вийняти;
- кількісне визначення концентрації іонолу у зразку масла, який досліджується, провадити візуально порівнянням розміру та забарвлення отриманої плями іонолу у зразку, який досліджується, з еталонним. Оскільки при зберіганні пластинок плями знебарвлюється, рекомендують, за необхідності наступної перевірки, відмічати розмір плям олівцевими крапками відразу ж після проявлення.

Чутливість методу 0,2 %. Точність методу залежить від кількості еталонних зразків. Якісний метод визначення іонолу зводиться до операцій, які були описані вище, але без застосування еталонних розчинів. Про наявність іонолу свідчить утворення характерної для іонолу плями.

Операції, пов'язані з застосуванням розчинників та випарів йоду, обов'язково виконувати під тягою.

A.3.3.5 Такий аналіз використовується також для контролю за витратою присадки іонол у процесі експлуатації масел.

У процесі експлуатації трансформаторних масел вміст у них присадки іонол зменшується. При дуже незначній концентрації іонолу, порядку 0,05 %, присадка вже може працювати як ініціатор окислення. Для підтримання достатньої концентрації іонолу, його витрата повинна контролюватися. Для цієї мети рекомендується із трансформаторів, які заповнені свіжими маслами, відбирати проби масла і зберігати їх як еталони у темному місці на холоді.

Для визначення ступеня витрати присадки у процесі експлуатації достатньо виконати наступне: хроматографічним методом визначити площу плям (добуток діаметрів еліпсів) у двох зразках масла - свіжому (еталонному) та експлуатаційному; шляхом розрахунку знайти відношення площ цих плям.

Концентрація іонолу у свіжому маслі становить від 0,2 % до 0,4 %.

Досвід показує, що для одного і того самого масла (незалежно від складу) існує певна залежність між змінюванням площі плями та концентрацією іонолу.

У таблиці А.1 наведено дані, які показують у скільки разів змінюється площа плями із змінюванням початкової концентрації іонолу до заданого значення.

У разі зниження концентрації іонолу у два рази і більше (зменшення площі плями в 1,4 рази і більше) рекомендується додавати до масла іонол відповідно до 7.4.

Таблиця А.1 - Дані залежності площини плями на пластині «Силуфол» від концентрації іонолу в експлуатаційному маслі

|                  |                                                                                          |                                                 |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Змінювання площі | Вміст іонолу в експлуатаційному маслі, відсоток від початкового значення в свіжому маслі | Концентрація іонолу в експлуатаційному маслі, % |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|

| плями<br>Setal/Sx <sup>1)</sup>                                                                                   |    | (для початкового значення<br>0,25 %) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|--------------------------------------|
| 1,24                                                                                                              | 60 | 0,15                                 |
| 1,39                                                                                                              | 48 | 0,12                                 |
| 1,54                                                                                                              | 40 | 0,10                                 |
| 2,00                                                                                                              | 28 | 0,07                                 |
| 2,68                                                                                                              | 20 | 0,05                                 |
| <sup>1)</sup> Setal - площа плями в еталонному зразку свіжого масла;<br>Sx - площа плями в експлуатаційному маслі |    |                                      |

#### А.3.4 Методика визначення поверхневого натягу на межі поділу фаз «вода - масло»

А 3.4.1 Зазначене визначення виконується з огляду на те, що для мінеральних ізоляційних масел поверхневий натяг є однією з характеристик, чутливих до ранніх стадій старіння. Величина поверхневого натягу залежить від вмісту в слабкополярному маслі сполук з полярними групами. Такі групи накопичуються в маслі у міру його старіння і це веде до зменшення поверхневого натягу масла. Для високоякісних свіжих трансформаторних масел значення поверхневого натягу становить не менше  $40 \cdot 10^{-3}$  Н/м, для масел глибокого ступеня старіння значення поверхневого натягу знижується і становить від  $15 \cdot 10^{-3}$  до  $18 \cdot 10^{-3}$  Н/м.

Ця методика має характер експрес-аналізу і використовується як для лабораторних досліджень старіння масел, так і для аналізу стану масел у процесі випробувань або промислової експлуатації маслонаповнених апаратів.

Методика побудована на порівнянні кількості крапель води, видавлених крізь порожнисту голку із точно визначеного об'єму води у повітря та в масло, яке підлягає аналізу. Під час розрахунку значення поверхневого натягу масла береться до уваги густина води та масла, а також поверхневий натяг води при температурі досліджу. При заданій температурі аналізу (звичайно при кімнатній) число крапель, видавлених в повітря з даного об'єму води, є величиною, постійною для даної голки. Об'єм краплі води, видавленої при тих самих умовах до масла і, отож, кількість цих крапель із даного об'єму води змінюється залежно від вмісту в маслі гідрофільних (полярних) сполук.

А.3.4.2 Методика передбачає використання такої апаратури та реактивів:

- медичний шприц об'ємом 1 мл;
- голка для шприца із сточеним кінцем, внутрішній діаметр не менше 0,8 мм (кінець сточений перпендикулярно осі голки);
- мікрометрична голівка (хід - не менше ходу поршня шприца);
- штатив із держакми;
- склянка діаметром 25 мм, висотою від 40 до 60 мм;
- скляний циліндр діаметром 25 мм, висотою не менше 150 мм;
- термометр від 0 до 60 °С, ціна поділки 0,5 °С;
- набір ареометрів АНТ-1;

- вода дистильована;
- спирт етиловий ректифікат;
- бензол (чистий для аналізу)

#### A.3.4.3 Перед початком роботи потрібно:

- перевірити, а під час проведення визначень потрібно слідкувати за чистотою внутрішньої поверхні циліндра шприца, якщо шприц чистий - вода рівно стікає із стінок циліндра. У разі забруднення шприц ретельно промивають спирто-бензольною сумішшю 1:1, спиртом і потім ополоскують великою кількістю води. Не можна використовувати для промивання шприца миючі засоби;
- промити склянку, як вказано вище, перед визначенням числа крапель води в масло. Промити також циліндр і ареометри перед визначенням густини масла;
- забезпечити умови рівності температур дистильованої води та проби масла (відповідність температурі оточуючого середовища, де провадиться визначення згідно з A.3.4.4 та A.3.4.5).

#### A.3.4.4 Для визначення числа крапель води в повітря (стала по повітрю для цієї голки) необхідно використовувати таку послідовність:

- перед проведенням визначень і після закінчення роботи необхідно виміряти термометром температуру оточуючого середовища, дистильованої води та проби масла;
- у підготовлений медичний шприц набирають дистильовану воду. Повертають шприц голкою догори, видавлюють залишкове повітря. У циліндрі шприца не повинно залишатися навіть дрібних бульбашок повітря;
- встановлюють шприц у штативі вертикально голкою донизу (голка перпендикулярно площині штативу), шток шприца - під штоком мікрометричної головки і, натискуючи на поршень, видавлюють частину води, залишивши у шприці 1 мл;
- рівномірно повертаючи мікрометричний гвинт, видавлюють воду по краплям до порожньої склянки, доводячи поршень шприца до упору;
- відраховують число крапель води, які утворились на межі з повітрям із об'єму 1 мл. Проводять три визначення числа крапель у повітря. При збігу числа крапель це значення приймають за  $R_1$ . У разі розходження у числі крапель між будь-якими двома повторними визначеннями на 1 краплю - повторюють визначення до п'яти раз і за величину  $R_1$ , приймають середньоарифметичне із п'яти визначень. Розходження між двома будь-якими повторними визначеннями більш ніж на 1 краплю допускається. У разі отримання такого результату необхідно повторити підготовчі операції та визначення  $R_1$ .

#### A.3.4.5 Послідовність визначення числа крапель води в масло така:

- перед проведенням визначення та після закінчення роботи необхідно виміряти температуру оточуючого середовища, дистильованої води і проби масла термометром;
- підготувати шприц з 1 мл дистильованої води, як було описано вище. До підготовленої склянки ввести пробу масла, яка підлягає аналізу, до висоти від 20 до 22 мм. Якщо масло має осад, то заливання проби треба проводити обережно, щоб осад не потрапив до склянки;

- розмістити склянку з маслом під голкою шприца, занурити її в масло на глибину від 10 до 11 мм (до середини висоти стовпа масла в склянці) та закріпити шприц на штативі в цьому положенні. При цьому шток мікрометричної голівки упирається в шток шприца;

- рівномірно обертаючи мікрометричний гвинт, видавлюють воду по краплям у масло. Відрахувати кількість крапель води, які утворилися на межі з маслом із об'єму води 1 мл. Остання крапля, яка не відірвалася від голки, ураховується як 0,5 краплі. За величину  $R_2$  приймають середньоарифметичне із трьох визначень. Повторні визначення можна провадити на одній і тій самій пробі масла.

Під мас визначення  $R_1$ , та  $R_2$  треба зберігати рівність об'ємів води в шприці або перераховувати число крапель на однакові об'єми.

Після підняття голки з масла для проведення повторних визначень з її поверхні обережно видаляють масло. Для цього проводять фільтрувальним папером донизу по голці так, щоб в голку не потрапили паперові волокна.

Розходження між будь-якими двома повторними визначеннями більш ніж на 0,5 краплі не допускається. У разі отримання такого результату необхідно повторити підготовчі операції та визначення  $R_2$ .

Розрахунок значень поверхневого натягу на межі поділу фаз «вода - масло» виконується за допомогою значень густини води, густини масла, поверхневого натягу води на межі поділу «вода - повітря».

A.3.4.6 Густина води ( $d_1$ ) при температурі 20 °C є табличною величиною і має значення  $d_{120}=998,24 \text{ кг/м}^3$ .

За необхідності перерахування густини для іншої температури застосовується формула:

$$d_1 = d_{120} - g_1(t-20), \text{ (A.3)}$$

де  $t$ -температура, при якій необхідно визначити густину води ( $d_1$ ), °C;

$g_1$  - температурний коефіцієнт перерахування густини води, який відповідає  $2 \text{ кг/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

A.3.4.7 Густина масла ( $d_2$ ) звичайно визначається при температурі 20 °C, наводиться у сертифікаті на масло і позначена як  $d_{220}$ .

За необхідності перерахування густини масла для іншої температури застосовується формула:

$$d_2 = d_{220} - g_2(t-20), \text{ (A.4)}$$

де  $t$  - температура, при якій необхідно визначити густину масла ( $d_2$ ), °C;

$g_2$  - температурний коефіцієнт перерахування густини масла, який у діапазоні температур від 15 до 30 °C має значення  $g = 0,067 \text{ кг/(м}^3 \cdot ^\circ\text{C)}$ .

Для експлуатаційних та, особливо, масел, які зазнавали змішування, у цій методиці густина визначається експериментально з використанням ареометрів і фіксацією температури визначення густини.

A.3.4.8 Поверхневий натяг води ( $s_1$ ) на межі поділу «вода - повітря» при температурі 20 °C є табличною величиною і має значення  $s_{120} = 72,58 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

За необхідності перерахування поверхневого натягу води для іншої температури застосовується формула:

$$s_1 = s_{120} - K_1(t-20), \text{ (A.5)}$$

де  $t$  - температура, при якій необхідно визначити поверхневий натяг води ( $s_1$ ), °C;  
 $K_1$  - температурний коефіцієнт перерахування поверхневого натягу води, що дорівнює  $0,154 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$ .

А.3.4.9 Розрахунок значення поверхневого натягу на межі поділу фаз «вода - масло» виконується таким чином:

А.3.4.9.1 Для температури визначення числа крапель згідно з А.3.4.4 та А.3.4.5 за допомогою формул (А.3), (А.4), (А.5) знайти значення густини води ( $d_1$ ), густини масла ( $d_2$ ) та поверхневого натягу води ( $s_1$ ).

А.3.4.9.2 Розрахувати значення поверхневого натягу масла на межі поділу фаз «вода - масло» за формулою:

$$\text{(A.6)}$$

де,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $d_1$ ,  $d_2$  та  $s_1$  - значення величин, які отримані, відповідно, за А.3.4.4, А.3.4.5 і А.3.4.9.1.

Розмірність  $s_2$  співпадає з розмірністю  $s_1$ .

А.3.4.10 Для порівняння результатів, отриманих у різний час або у різних лабораторіях, зручно користуватися значеннями  $s_2$  при стандартній температурі, наприклад при 20 °C.

Приведення значень  $s_2$ , отриманих при різних температурах, до температури 20 °C провадять за формулою:

$$s_2 = s_{220} - K_2(t-20), \text{ (A.7)}$$

де  $s_{220}$  - поверхневий натяг масла на межі поділу фаз «вода - масло» при температурі 20 °C, Н/м;

$K_2$  - температурний коефіцієнт перерахунку поверхневого натягу масла на межі поділу фаз «вода - масло», який у діапазоні температур від 15 до 30 °C має значення, що дорівнює  $0,1043 \cdot 10^{-3} \text{ Н/(м} \cdot \text{°C)}$ ;

$s_2$  - поверхневий натяг масла на межі поділу фаз «вода - масло» при температурі  $t$ , Н/м.

А.3.5 Методика визначення індукційного періоду окислення інгібірованих трансформаторних масел

А.3.5.1 У цій методиці викладено основні положення методики, яка вміщена в Публікації ІЕС 1125 і призначена для визначення термоокислювальної стабільності саме інгібірованих масел (Method B)1). Ці положення вміщують головні відмінності цієї методики від методики, яка регламентована ГОСТ 981. До таких відмінностей відносяться умови проведення випробувань, критерій закінчення випробувань та показники, за якими оцінюється протіоокислювальна стабільність масла, що підлягає випробуванню.

За необхідності проведення випробувань на стабільність за вказаною методикою вони виконуються із залученням спеціалізованих організацій.

А.3.5.2 Ступінь стабільності до окислення оцінюється за часом, який потрібен для виділення маслом визначеної кількості летких кислот<sup>2)</sup>. Після закінчення цього часу,

який носить назву «індукційний період окислення», за необхідності можуть бути визначені додаткові показники: осад, кислотне число, тангенс кута діелектричних втрат.

A.3.5.3 Масло окислюється при таких умовах проведення випробування:

- маса окисленого масла:  $25 \text{ г} \pm 0,1 \text{ г}$ ;
- газ-носії: кисень;
- швидкість потоку газу:  $1 \text{ л/год} + 0,1 \text{ л/год}$ ;

1) для неінгібірованих масел у Публікації IEC 1125 оговорено зовсім інші параметри проведення аналогічних випробувань.

2) у публікації IEC 1125 оговорено цю кількість як  $0,28 \text{ мг КОН/г}$  масла. У національних нормативних документах можуть бути також інші значення цього показника. У сертифікаті на масло можуть бути обумовлені також умови проведення випробувань, які відмінні від наведених. При цьому у сертифікаті повинно бути зазначено нормативний документ, який регламентує методику випробувань.

- температура окислення масла:  $120^\circ \text{C} \pm 0,5^\circ \text{C}$ ;
- тривалість випробування заздалегідь не встановлюється;
- каталізатор: мідний дріт довжиною, яка достатня для отримання площі поверхні  $28,6 \text{ см}^2 \pm 0,3 \text{ см}^2$  (перед зануренням у масло дріт очищується і для зручності користування згортається в пружину).

A.3.5.4 Процедура підготовки до випробувань практично не відрізняється від описаної в ГОСТ 981 за винятком того, що в уловлювач (у методиці Публікації IEC 1125 адсорбційна посудина з насадкою Дрекселя) заливається  $25 \text{ мл}$  спеціально підготовленого розчину і швидкість подавання кисню через посудину з маслом, яке окислюється, та уловлювач встановлюють  $1,0 \text{ л/год} + 0,1 \text{ л/год}$  (відстань між вертикальними осями посудин встановлюється  $150 \text{ мм} \pm 50 \text{ мм}$ ).

Спеціальний розчин готується так:  $50 \text{ мл}$   $0,1$ -молярного спиртового розчину КОН доливають до  $1 \text{ л}$  дистильованою водою. Після заливання цього розчину до уловлювача, туди ж додають декілька крапель розчину фенолфталеїну як індикатора.

A.3.5.5 Відлік часу окислення масла починається з моменту встановлення його температури  $120^\circ \text{C} \pm 0,5^\circ \text{C}$  та швидкості потоку кисню  $1,0 \text{ л/год} \pm 0,1 \text{ л/год}$ .

A.3.5.6 У процесі випробувань щодня контролюється швидкість потоку кисню і температура, а двічі на день перевіряється розчин в уловлювачі на знебарвлення. Відмічається година, коли спостерігається знебарвлення розчину і потім випробування припиняється. Якщо знебарвлення не відбувається, то випробування обмежують часом  $236 \text{ год.}$  (фенолфталеїн швидко знебарвлюється під впливом прямих променів світла, тому якщо спостерігається послаблення забарвлення розчину можна додати в нього декілька крапель фенолфталеїну).

A.3.5.7 За індукційний період приймається час від початку окислення до моменту, який відповідає двом візуальним спостереженням: тому, що безпосередньо передує, та тому, що виконується після знебарвлення розчину в уловлювачі. Період часу між двома останніми оглядами не повинен перевищувати  $20 \text{ год.}$

Для цього методу індукційний період умовно приймається як час, необхідний для виділення маслом такої кількості летких кислот, яка б відповідала кислотному числу  $0,28 \text{ мг КОН/г}$  масла (індукційний період можна визначити точніше та швидше за

допомогою кривої, отриманої при безперервному запису значення рН водного розчину луку в уловлювачі. Однак, у цьому випадку уловлювач потребує модернізації).

А.3.5.8 За необхідності визначають інші показники: осад, кислотне число (розчинні кислоти), тангенс кута діелектричних втрат.

Загальна кислотність визначається як сума летких та розчинних кислот.

А.3.6 Методика фотометричного визначення вмісту механічних домішок у трансформаторних маслах

А.3.6.1 Суть фотометричного методу визначення кількості та дисперсного складу часток, які забруднюють трансформаторні масла, полягає у вимірюванні світлових потоків, розсіяних частками забруднення. Вимірювання провадиться при прокачуванні рідини, що аналізується, по вимірювальному каналу датчика. З одного боку каналу встановлено випромінювач, а з другого - фотоприймач. Потік рідини є перпендикулярним до оптичної осі системи «випромінювач - фотоприймач». Вимірювальний об'єм знаходиться в місці перетину потоку рідини та світлового потоку. За наявності оптичної неоднорідності у вимірювальному об'ємі (наприклад, механічні домішки) фотоприймач реагує на присутність цих домішок, виробляючи електричні імпульси.

Амплітуда імпульсів фотоприймача є пропорційною квадрату розміру часток забруднення. Після підсилення імпульси поступають з датчика до блока електроніки, де вони аналізуються за амплітудами і підраховується їх кількість за розмірними групами в мікрометрах: до 5, 5 - 10, 10 - 25, 25 - 50, 50 - 100, 100 - 200 та більше 200 мкм. Наведена вище градація за розмірними групами відповідає вимогам ГОСТ 17216. У різних модифікаціях імпортованих приборів можливі інші межі вимірювання та межі розмірних груп (згідно з Публікацією IEC 970 розмірні групи відповідають 2,5-5, 5-15, 15-25, 25-50, 50-100 та більше 100 мкм).

Виведення інформації здійснюється на цифрове табло і (або) на цифродрукувальний пристрій (до пам'яті ЕОМ).

А.3.6.2 Методика передбачає використання такої апаратури:

- аналізатор фотометричний типу АОЗ-101, ФС, ПКЖ, АЗЖ-915, АЗЖ-955 або інші аналізатори, які дають можливість провадити такі вимірювання;
- лабораторний струшувач типу АВЦ (можливе застосування ультразвукової ванни).

А.3.6.3 Для проведення аналізу проба масла витримується в лабораторії при кімнатній температурі від 2 до 4 год і в тому самому посуді підлягає такій обробці:

- проба ретельно перемішується для усереднення розподілу зщуплених часток механічних забруднень по об'єму масла за допомогою струшувача або ультразвукової ванни;
- для видалення бульбашок повітря, які утворилися в результаті перемішування, проба відстоюється не менше 30 хв.

А.3.6.4 Вимірювання вмісту механічних домішок виконується в заданому об'ємі масла (10-100 мл залежно від конструкції пробовідбірного пристрою прибора, який використовується). Проводять 3-5 вимірювань. Після кожного вимірювання результати аналізу виводять на реєструючий пристрій.

А.3.6.5 У протоколі вимірювання має бути зазначена загальна сума всіх часток і

розподіл часток за розмірними групами. Допустиме відхилення суми часток у кожному вимірюванні повинно не більше ніж на 10 % відрізнятися від середнього для проби, яка аналізується.

А.3.6.6 Для оцінювання ступеня забруднення масла використовується сумарна кількість часток з розмірами більше 5 мкм та аналізується кумулятивна крива розподілу часток за розмірами.

Досвід використання цієї методики показує, що масло може бути умовно піднесене до категорії «ДОБРЕ», якщо в 10 мл цього масла сума часток із розмірами 5 мкм та більше не перевищує 1000 шт за умови відсутності частот із розмірами більше 50 мкм.

## Додаток Б (обов'язковий)

### Осушка та дегазація трансформаторних масел

## **Б.1 Основні вимоги**

Б.1.1 Осушка та дегазація масла повинні провадитися з використанням спеціального обладнання:

- цеолітових установок (тільки осушка масла);
- дегазаційних установок (осушка та дегазація масла).

Застосування одного з зазначених типів обладнання для осушки та дегазації масла повинно бути обумовлене вимогами, які пред'являються до масла, що заливається до маслонаповненого обладнання.

Б.1.2 Як доповнення до основних функцій осушки та дегазації масла, цеолітові та дегазаційні установки повинні забезпечувати нагрівання та очищення масел від механічних домішок.

Б.1.3 Осушка та дегазація масел за допомогою цеолітових та дегазаційних установок може виконуватися як на працюючому, так і на відключеному маслонаповненому обладнанні, а також у тимчасово або стаціонарно встановлених ємкостях. Зазначені установки, а також інше обладнання, яке входить до технологічних схем, мають забезпечувати можливість проведення операцій з осушки та дегазації масла у конкретних умовах, що згадувалися вище.

## **Б.2 Вказівки щодо компоновки і збирання схем**

Б.2.1 Технологічні схеми можуть компоуватися з основного технологічного обладнання (цеолітові та дегазаційні установки) і допоміжного обладнання (фільтри тонкого очищення, окремі маслопроводи і контрольно-вимірювальна апаратура), що не входить до основного.

Б.2.2 Технологічні схеми повинні поєднуватися до спеціальних місць, які позначені на маслонаповненому обладнанні та технологічних (стаціонарних або тимчасових) ємкостях.

Допускається підключення технологічних схем до інших місць маслонаповненого обладнання, якщо це не впливає на його роботу і прийняті засоби безпеки.

Б.2.3 Маслопроводи (трубопроводи) можуть застосовуватися як гнучкі, так і жорсткі. Вони мають бути маслощільними, маслостійкими і не повинні погіршувати характеристики масла. Основні вимоги:

- жорсткі трубопроводи застосовуються у тимчасових та стаціонарних схемах обробки масла, а гнучкі - тільки у тимчасових схемах і на непрацюючому маслonaповненому обладнанні;
- трубопроводи повинні витримувати надмірний тиск та вакуум, які оговорюються у вимогах на основне технологічне обладнання;
- трубопроводи повинні складатися з окремих роз'ємних секцій і бути достатнього перерізу, який забезпечує нормальний режим роботи технологічного обладнання. Для цього умовний прохід перерізу трубопроводів треба вибрати не менше умовного проходу вхідного та вихідного патрубків основного технологічного обладнання.

Б.2.4 У технологічних схемах треба передбачити крани для відбору проб масла, зливу масла та випуску повітря з верхніх точок.

Б.2.5 У технологічних схемах треба передбачити достатню кількість запірної арматури, яка забезпечує поелементне перекривання потоку масла на елементах обладнання, яке входить до схеми.

Б.2.6 У технологічних схемах необхідно передбачити встановлення додаткових приладів та блоків, які забезпечують захист маслonaповненого обладнання.

Б.2.7 Схеми підключення технологічного обладнання до масло наповненого обладнання наведені на рисунках Б.1, Б.2, Б.3 та Б.4.

## **Б.3 Вибір технологічного обладнання**

Б.3.1 Вибір технологічного обладнання має провадитися, виходячи з умов забезпечення потрібних параметрів при обробці масла та отриманню їх за один прохід масла через технологічне обладнання. Характеристики технологічного обладнання наведено у таблицях Г.1-Г.6, додаток Г.

Технологічне обладнання перед застосуванням має пройти засвідчення відповідно до експлуатаційної документації.

1 — вентиль; 2 — спецкран для під'єднання очищувального обладнання; 3 — цеолітові патрони; 4 — цеолітова установка (кількість патронів — не менше двох); 5 — маслonaсос ( $Q \geq 3 \text{ м}^3/\text{год}$ ); 6 — нагрівач ( $P=8\ldots 15 \text{ кВт}$ ); 7 — фільтр ( $p_0 \geq 10 \text{ мкм}$ )

Рисунок Б.1 — Схема під'єднання цеолітової установки до трансформатора (технологічної ємкості)

1 — маслопоказчик; 2 — вентилі; 3 — промбачок ( $V \geq 20 \text{ л}$ ); 4 — маслоуловлювач; 5 — дегазаційна установка; 6 — вакуумний агрегат ( $P_{\text{зал}} \leq 1,0 \text{ мм рт.ст.}$ ); 7 — дегазаційна камера; 8 — нагрівач ( $P = 2\ldots 10 \text{ кВт}$ ); 9 — маслonaсос; 10 — фільтр тонкого очищення ( $p_0 \geq 5 \text{ мкм}$ )

Рисунок Б.2 — Схема під'єднання дегазаційної установки до маслонаповненого уводу для осушки та дегазації масла

1 — адсорбційний фільтр; 2 — вентилі; 3 — фільтр ( $\text{PO} \geq 10 \text{ мкм}$ ); 4 — цеолітові патрони

Рисунок Б.3 — Схема під'єднання цеолітових патронів до працюючого охолоджувача системи охолодження трансформатора

1 — дегазаційна установка; 2 — вентилі; 3 — масляний уловлювач; 4 — вакуумний агрегат; 5 — дегазаційна камера; 6 — нагрівач; 7 — маслonaсос; 8 — фільтр тонкого очищення; 9 — адсорбційний фільтр

Рисунок Б.4 — Схема під'єднання дегазаційної установки до трансформатора

Б.3.2 Цеолітові установки повинні забезпечувати:

- температуру масла на виході з маслonaгрівача у межах від  $15^\circ \text{C}$  до  $40^\circ \text{C}$ ;
- масову долю розчиненої води після осушки не більше  $10 \text{ г/т}$ ;
- номінальну тонкість фільтрації не більше  $20 \text{ мкм}$ .

Найбільше застосування для осушки масла отримали:

- цеолітові установки, що встановлені в комплекті К-110, розроблені СКТБ тресту «Електропідведенмонтаж» і виготовлені Харківським дослідним електромеханічним заводом (с. Комсомольське, Харківська обл.). Вони можуть розміщуватися як на шасі автомобіля, так і на причепі;
- цеолітові установки типу МОО2А (ТУ 34-43-11020), розроблені СКТБ «Союзцонтроремонт» і виготовлені Ногинським електромеханічним заводом (м. Ногинськ, Московська обл.). Установки виконані як моноблок і можуть встановлюватися стаціонарно в приміщеннях масляного господарства і тимчасово на спеціальних майданчиках поблизу маслонаповненого обладнання.

Цеолітову установку типу МОО2А (ТУ 34-43-11020) наведено на рисунку Б.5.

Характеристики установки наведені у таблиці Г.5.

Б.3.3 Дегазаційні установки повинні забезпечувати:

- температуру масла на виході не більше  $85^\circ \text{C}$ ;
- граничнодопустиму температуру масла на нагрівальних елементах не більше  $110^\circ \text{C}$ ;
- масову долю розчиненої води в маслі після зневоднювання не більше  $10 \text{ г/т}$ ;
- номінальну тонкість фільтрації не більше  $5 \text{ мкм}$ ;
- загальний газоміст не більше  $0,1 \%$ ;
- номінальна регульована витрата при заданих параметрах від  $1$  до  $5 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Для осушки та дегазації масел необхідно застосовувати дегазаційні установки, розроблені СКТБ тресту «Електропідведенмонтаж», типів УВМ-1, УВМ-2, УВМ-3.

Установку УВМ-2 наведено на рисунку Б.6. Характеристики установки наведено у таблиці Г.6.

1 — батарея адсорберів; 2 — манометр; 3 — кран пробовідбірний; 4 - вентиль ДУ25; 5 - кран ДУ25; 6 - фільтри ФГІ 30; 7 — лічильник; 8 — вентиль ДУ40; 9 — фільтр грубого

очищення; 10 — маслонагрівач теновий триступінчастий; 11 — регулятор потоку РП40; 12 — агрегат насосний Ц15-25-3,6/4

Рисунок Б.5 — Цеолітова установка МОО2А

1 — маслonaсос 1,5ХГ-3А-2,8; 2 — маслонагрівач ЕКг-170 кВт; 3 — вакуумметр; 4 — маслоуловлювач; 5 — кран для під'єднання до бака трансформатора при вакуумуванні; 6 — зворотний клапан; 7 — агрегат вакуумний золотниковий АВЗ-180; Н — вакуум-насос пластинчастороторний 2НВР-5ДМ; 9 — абсорбціометр; 10 — дегазатор (колона); 11 — маслonaсос типу Т63/20; 12 — масляний фільтр тонкого очищення з елементами ФОСН-60; 13 — вентиль

Рисунок Б.6 — Дегазаційна установка УВМ-2

## **Б.4 Вказівки щодо технології осушки масел за допомогою цеолітових установок**

Б.4.1 У цеолітових установках в якості адсорбентів можуть застосовуватися синтетичні цеоліти (таблиця В.2). Можливе також застосування природних цеолітів різного походження.

Б.4.2 Перед осушкою в маслі має бути відсутня емульсійна вода і пробивна напруга його повинна бути не менше 20 кВ.

У іншому разі необхідно провести відстій масла та злив води з нижніх пробок маслonaповненого обладнання або технологічних ємкостей.

Б.4.3 Цеоліти мають бути просушені і їх маса повинна становити не менше 0,2 % від маси масла.

Б.4.4 Температура масла в процесі осушки повинна знаходитися у межах від 15 до 40 °С.

Б.4.5 Подавання масла (швидкість руху масла через установку, м<sup>3</sup>/год) в процесі осушки та кількість циклів осушки (проходів одного й того самого об'єму масла через установку) залежать від початкового значення масової частки розчиненої води в маслі.

Рекомендується подавання масла у першому циклі обмежити: воно має бути не більше 50 % від номінальної продуктивності для цієї установки. У подальших циклах обмеження подавання визначається відповідно до Б.5.3, перелік б.

## **Б.5 Вказівки щодо технології осушки та дегазації масла**

Б.5.1 Швидкість подавання масла до дегазатора дегазаційної установки має бути відрегульована таким чином, щоб залишковий тиск у дегазаторі не перевищував граничного значення, зазначеного для цієї установки, і загальний газовміст за абсорбціометром дегазаційної установки не перевищував 0,1 %.

Б.5.2 У процесі осушки масло повинно мати температуру не менше 60 °С.

Б.5.3 Під час дегазації масла необхідно:

- забезпечити мінімальне натікання всієї системи (схеми). При залишковому тиску

- менше 3 мм рт.ст. натікання не повинно перевищувати від 1 до 1,5 мм рт.ст. за 30 хв;
- у першому та наступних циклах виключити піноутворення за допомогою регулювання подавання масла до каскаду дегазатора;
- підтримувати залишковий тиск у дегазаторі таким чином, щоб загальний газовміст, виміряний абсорбціометром, не перевищував 1 % при температурі масла не менше 60 °С;
- підготовлене віддегазоване масло перекачувати до відвакуумованої ємкості або маслоснаповненого обладнання.

Б.5.4 Кількість циклів визначається в процесі дегазації масла за отриманими результатами виміру загального газовмісту та концентрації конкретних газів, розчинених у маслі.

Б.5.5 Після осушки та дегазації значення показників для окремих відомих марок масел, які заливають в обладнання, повинні бути не гірше, аніж ті, що наведені в таблиці Б.1.

Для інших марок масел - відповідно до таблиці 5.2 (розділ 5).

Таблиця Б. 1 - Граничнодопустимі значення показників якості найбільш відомих трансформаторних масел

| Найменування показників                                                                          | Значення показників для трансформаторних масел та стадій їх перевірки |                               |                            |                               |                            |                               |                            |                               |                                 |                                    |                                 |                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
|                                                                                                  | ГК ТУ<br>38.101.1025                                                  |                               | Т-750<br>ГОСТ 982          |                               | Т-1500<br>ГОСТ 982         |                               | ТКп ТУ<br>38.101.890       |                               | ТАп ТУ<br>38.101.281            |                                    | ТСп<br>ГОСТ 10121               |                                    |
|                                                                                                  | до<br>зали-<br>ву<br>масла                                            | після<br>зали-<br>ву<br>масла | до<br>зали-<br>ву<br>масла | після<br>зали-<br>ву<br>масла | до<br>зали-<br>ву<br>масла | після<br>зали-<br>ву<br>масла | до<br>зали-<br>ву<br>масла | після<br>зали-<br>ву<br>масла | до<br>зали-<br>ву<br>мас-<br>ла | після<br>зали-<br>ву<br>мас-<br>ла | до<br>зали-<br>ву<br>мас-<br>ла | після<br>зали-<br>ву<br>мас-<br>ла |
| 1                                                                                                | 2                                                                     | 3                             | 4                          | 5                             | 6                          | 7                             | 8                          | 9                             | 10                              | 11                                 | 12                              | 13                                 |
| 1 Пробивна напруга, не менше, кВ:<br>- для категорії А<br>- для категорії Б<br>- для категорії В | 70<br>60                                                              | 65<br>55                      | 70<br>60                   | 65<br>55                      | 70<br>60                   | 65<br>55                      | 60<br>50                   | 55<br>45                      | 60<br>50                        | 55<br>45                           | 50                              | 45                                 |

Продовження таблиці Б.1

|                              |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| 1                            | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14   |
| 2 Тангенс кута діелектричних | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 2,2 | 2,6 | 0,5 | 0,7 | 1,7 | 2,0 | ГОСТ |

|                                                          |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |               |
|----------------------------------------------------------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------------|
| втрат при 90 °С, не більше, %                            |             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 6581          |
| 3 Кислотне число,<br>не більше, мг КОН/г масла           | 0,01        | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | ГОСТ<br>5985  |
| 4 Вміст водорозчинних кислот<br>та лугів                 | Відсутність |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ГОСТ<br>6307  |
| 5 Вміст механічних домішок,<br>не більше, %              | Відсутність |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | ГОСТ<br>6370  |
| 6 Температура спалаху в<br>закритому тиглі, не менше, °С | 135         | 135  | 135  | 135  | 135  | 135  | 135  | 135  | 135  | 135  | 150  | 150  | ГОСТ<br>6356  |
| 7 Температура застигання, не<br>більше, °С               | -45         | -45  | -55  | -55  | -45  | -45  | -45  | -45  | -50  | -50  | -45  | -45  | ГОСТ<br>20287 |

Продовження таблиці Б.1

|                                                                                                                                                                                                             |                       |          |                                        |          |                                       |          |                        |          |                       |          |                                        |          |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------|----------------------------------------|----------|---------------------------------------|----------|------------------------|----------|-----------------------|----------|----------------------------------------|----------|---------------|
| 1                                                                                                                                                                                                           | 2                     | 3        | 4                                      | 5        | 6                                     | 7        | 8                      | 9        | 10                    | 11       | 12                                     | 13       | 14            |
| 8 Стабільність проти<br>окислення:<br>- масова частка осаду, не<br>більше, %<br>- кислотне число окисленого<br>масла, не більше, мг<br>КОН/г масла<br>- маса летких кислот, не<br>більше, мг<br>КОН/г масла | 0,015<br>0,10<br>0,04 |          | Від-<br>сут-<br>ність<br>0,15<br>0,005 |          | Від-<br>сут-<br>ність<br>0,20<br>0,05 |          | 0,010<br>0,10<br>0,008 |          | 0,008<br>0,05<br>0,08 |          | Від-<br>сут-<br>ність<br>0,10<br>0,005 |          | ГОСТ<br>981   |
| 9 Натрова проба, не більше                                                                                                                                                                                  |                       |          | 0,4                                    |          | 0,4                                   |          | 0,4                    |          |                       |          | 0,4                                    |          | ГОСТ<br>19296 |
| 10 Вологовміст, не більше, г/г:<br>- для трансформаторів з<br>азотним та плівковим<br>захистами масла<br>- для трансформаторів без<br>спеціальних захистів масла                                            | 10<br>20              | 10<br>25 | 10<br>20                               | 10<br>25 | 10<br>20                              | 10<br>25 | 10<br>20               | 10<br>25 | 10<br>20              | 10<br>25 | 10<br>20                               | 10<br>25 | ГОСТ<br>7822  |

Закінчення таблиці Б.1

|                                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |                           |
|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------|
| 1                                    | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14                        |
| 11 Газовміст, не більше,<br>% об'єму | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | Інструкція ОВБ<br>463.252 |

|                                 |              |     |     |     |     |     |                     |
|---------------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|
| 12 Вміст іонолу, не менше,<br>% | 0,25-<br>0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,3 | 0,2 | Відповідно до А.3.3 |
|---------------------------------|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------|

Додаток В  
(довідковий)

Синтетичні та природні адсорбенти

## В. 1 Типи адсорбентів та їх характеристики

В.1.1 Для відновлення свіжих некондиційних масел та регенерації експлуатаційних масел використовуються крупнопористі синтетичні, розміром від 3 до 7 мм і природні адсорбенти.

Із синтетичних адсорбентів широке застосування мають силікагель марок КСКГ, ШСКГ; оксид алюмінію  $Al_2O_3$  марок АОА-1, АОА-2; алюмосилікатний каталізатор та ін. Фізико-хімічні показники синтетичних адсорбентів наведено в таблицях В.1 та В.2.

Із природних адсорбентів застосовуються деякі види глин, трепели, опоки, діатоміти та боксити. Мала об'ємна маса і велика пористість природних сорбентів обумовлює розвинену питому поверхню та високі адсорбційні властивості.

Найбільше застосування знайшли: зике'івська опока, у складі якої 76 %  $SiO_2$  і приблизно 6 %  $Al_2O_3$ ; палигорскіт Черкаського родовища, який вміщує майже 53 %  $SiO_2$  і 10 %  $Al_2O_3$ .

Палигорскіт-кришку рекомендовано для контактного очищення свіжих некондиційних та регенерації експлуатаційних масел. Фізико-хімічні показники палигорскіта-кришки наведено в таблиці В.3.

Для осушення масла ефективним є застосування природних і синтетичних цеолітів.

В. 1.2 Як поглинач у повітроосушувальних фільтрах найбільш доцільно використовувати крупнопористі силікагелі (марок КСКГ і ШСКГ за ГОСТ 3956), оброблені хлористим кальцієм.

Можливе використання, як осушувача повітря, природних та синтетичних цеолітів, дрібнопористого силікагелю (марок КСМГ і ШСМГ за ГОСТ 3956), імпортованих силікагелів, призначених для осушення газів.

В. 1.3 Як індикаторний адсорбент потрібно використовувати силікагель-індикатор за ГОСТ 8984. Фізико-хімічні показники наведено в таблиці В.4.

Таблиця В.1 - Фізико-хімічні характеристики синтетичних адсорбентів

| Характеристики                               | Гранульований крупнопористий силікагель ГОСТ 3956 |              | Гранульований дрібнопористий силікагель ГОСТ 3956 |              | Активний оксид алюмінію ГОСТ 8136 |       |
|----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------|
|                                              | КСКГ                                              | ШСКГ         | КСМГ                                              | ШСМГ         | АОА-1                             | АОА-2 |
| 1                                            | 2                                                 | 3            | 4                                                 | 5            | 6                                 | 7     |
| Масова частка зерен, %<br>(розмір зерен, мм) | 94 (2,8-7,0)                                      | 94 (1,0-3,6) | 94 (2,8-7,0)                                      | 94 (1,0-3,6) |                                   |       |

|                                                                                                               |        |     |     |     |               |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----|-----|-----|---------------|---------------|
| 2 Розмір гранул, мм:<br>- діаметр<br>- довжина                                                                |        |     |     |     | 5,0±1,0<br>18 | 5,0±1,0<br>18 |
| 3 Насипна густина, г/дм <sup>3</sup>                                                                          | 400    | 400 | 720 | 720 | 450-550       | 450-550       |
| 4 Механічна міцність,<br>не менше, %                                                                          | 86     | 80  | 94  | 86  |               |               |
| 5 Міцність при терті,<br>не менше, %                                                                          |        |     |     |     | 65            | 73            |
| 6 Питома поверхня,<br>не менше, м <sup>3</sup> /г                                                             | до 400 |     |     |     | 200           | 180-300       |
| 7 Вологомісткість,<br>не менше, %:<br>- при відносній вологості<br>100 %<br>- при відносній вологості<br>60 % | 70     | 70  | 25  | 25  |               |               |
| 8 Масова частка втрат<br>при прокалюванні,<br>не більше, %                                                    | 5,0    | 5,0 | 10  | 10  | 5,0           | 5,0           |
| 9 Масова частка пилу та<br>дріб'язку розміром<br>менше 2,0 мм,<br>не більше, %                                |        |     |     |     | 0,5           | 0,5           |

Таблиця В.2 - Фізико-хімічні показники синтетичних цеолітів

| Найменування<br>показників                                                | NaA-2МШ                                 | NaA без<br>зв'язуючих<br>речовин | NaA із<br>зв'язуючими<br>речовинами<br>ТУ 38-10281 |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------------|
| 1                                                                         | 2                                       | 3                                | 4                                                  |
| 1 Насипна маса, не менше<br>(непросушеного<br>цеоліту), г/см <sup>3</sup> | 0,97                                    | 0,97                             | 0,97                                               |
| 2 Зовнішній вигляд                                                        | Гранули сферичної або<br>овальної форми | Тверді<br>рожеві<br>зерна        | Тверді<br>рожеві зерна                             |
| 3 Водостійкість гранул, не<br>менше, %                                    | 99,5                                    | 90,0                             | 80,0                                               |

|                                                                                                      |          |          |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|----------|
| 4 Вібросношування,<br>не більше, %                                                                   | 0,15     | 0,15     | 0,15     |
| 5 Гранична вологомiсткiсть у<br>динамiчних умовах,<br>не менше:<br>- мг/см <sup>3</sup><br>- маса, % | 92<br>20 | 17-18    | 17-18    |
| 6 Вологомiсткiсть в статичних<br>умовах,<br>не менше:<br>- мг/см <sup>3</sup><br>- маса, %           | 135<br>7 | 7        | 7        |
| 7 Механiчна мiцнiсть на<br>роздавлювання,<br>не менше, кг/мм <sup>2</sup>                            | 1,8      | 1,6      | 1,2      |
| 8 Лужнiсть водної<br>витяжки, рН                                                                     | 8,5-10,5 | 8,5-10,5 | 8,5-10,5 |

Закінчення таблиці В.2

|                                              |           |           |           |
|----------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1                                            | 2         | 3         | 4         |
| 9 Втрати при прока-<br>люванні, не більше, % | 5,0       | 5,0       | 5,0       |
| 10 Ефективний діаметр<br>вхідних вікон, м    | 4,0*10-10 | 4,0*10-10 | 4,0*10-10 |
| 11 Механiчна мiцнiсть, %                     | 76-90     | 86-90     | 86-90     |
| 12 Фракційний склад, мм                      | 1,5-3,0   | 2-4       | 3-5       |

Таблиця В.3 - Фізико-хімічні показники палигорскіта-кришки

| Найменування<br>показників                     | Норми для марок                                                                  |                   |                   |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
|                                                | ПК-1                                                                             | ПК-2              | ПК-5              |
| 1                                              | 2                                                                                | 3                 | 4                 |
| 1 Зовнішній вигляд                             | Світло-сірі з чорними вкрапленнями зерна неправильної<br>форми з гострими краями |                   |                   |
| 2 Масова частка зерен, %<br>(розмір зерен, мм) | 90,0<br>(0,5-1,0)                                                                | 90,0<br>(1,0-2,0) | 90,0<br>(2,0-5,0) |
| 3 Густина, не більше, кг/м <sup>3</sup> :      | 2700                                                                             | 2700              | 2700              |

|                                              |       |       |       |
|----------------------------------------------|-------|-------|-------|
| - по воді<br>- по бензолу                    | 2600  | 2600  | 2600  |
| 4 Об'єм пор, $10^{-3}$ , м <sup>3</sup> /кг: | 0,60  | 0,60  | 0,60  |
| - питомий (загальний)                        | 0,015 | 0,015 | 0,015 |
| - первинний (мікропор)                       |       |       |       |

Закінчення таблиці В.3

|                                                        |     |     |     |
|--------------------------------------------------------|-----|-----|-----|
| 1                                                      | 2   | 3   | 4   |
| 5 Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г:                  | 300 | 300 | 300 |
| - по воді                                              | 100 | 100 | 100 |
| - по гексану                                           |     |     |     |
| 6 Середній радіус пор, нм                              | 7-8 | 7-8 | 7-8 |
| 7 Насипна густина,<br>не менше, кг/м <sup>3</sup>      | 530 | 520 | 510 |
| 8 Масова частка<br>втрат при висушуванні, не більше, % | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| 9 Механічна міцність,<br>не менше, %                   | 99  | 99  | 99  |

Таблиця В.4 - Фізико-хімічні показники силікагелю-індикатора

| Найменування<br>показників                                         | Норма                              |                                                       |
|--------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                                                    | Силікагель-індикатор<br>ГОСТ 8984  | Силікагель-<br>індикатор<br>ИС-2 ТУ 113-12-<br>11.075 |
| 1 Колір зерен                                                      | Від синього до світло-<br>голубого | Гранули синього<br>кольору                            |
| 2 Масові частка зерен розміром від 1,0 до<br>0,7 мм, не менше, %   | 96                                 | 90                                                    |
| 3 Вологомісткість при 20 °С і<br>відносній вологості, не менше, %: | 8,0<br>13,0<br>20,0                | 6,5 (бузковий)<br>8,0 (рожевий)                       |
| - 10%                                                              |                                    |                                                       |
| - 20 %                                                             |                                    |                                                       |
| - 35 %                                                             |                                    |                                                       |
| - 50%                                                              |                                    |                                                       |

## 8.2 Підготовка адсорбентів

8.2.1 Адсорбенти, які використовуються для регенерації масел і завантажуються у термосифонні та адсорбційні фільтри, у повітроосушувачі, повинні мати залишковий вологовміст не більше 0,5 % від маси. Вакуумуванням та продувкою можна провести сушку адсорбенту безпосередньо у фільтрах.

8.2.2 Сушка силікагелю тривалістю від 5 до 10 год провадиться при температурі від 150 до 200 °С в тонкому шарі. Для прискорення процесу осушення можна використовувати вакуумування, продувку гарячим повітрям або інертним газом.

8.2.3 Перед завантаженням до фільтрів адсорбент потрібно просіяти для видалення пилу та дрібних фракцій. Робоча фракція від 2,6 до 7 мм.

8.2.4 Зберігати сухий силікагель необхідно у герметичному баці, залитому свіжим сухим трансформаторним маслом із пробивною напругою не менше 60 кВ. При завантаженні силікагелю до фільтра, якщо перед цим такі умови зберігання силікагелю не витримувалися, необхідне його відмивання від пилу свіжим сухим маслом.

8.2.5 Індикаторний силікагель при змінюванні забарвлення, за рахунок зволоження, на бузкове чи рожеве перед застосуванням відновлюється осушенням при 120 °С тривалістю від 15 до 20 год. до прийняття усією масою адсорбенту світло-синього або голубого забарвлення.

8.2.6 Цеоліти перед застосуванням необхідно просушити одним із таких способів:

- осушення в тонкому шарі від 10 до 20 мм при температурі від 350 до 400 °С тривалістю від 5 до 6 год. у термостаті, електропечі;
- осушення продуванням через шар цеоліту гарячого сухого повітря, азоту або будь-якого інертного газу при температурі від 300 до 350 °С протягом 3 год. Витрата повітря (газу) від 0,5 до 0,6 м<sup>3</sup>/год на 1 кг цеоліту;
- вакуумне осушення цеоліту при температурі 250 °С і залишковому тиску не більше 5332 Па (40 мм рт.ст.) тривалістю від 2 до 3 год.

Найефективніші два останні способи, які дозволяють виконувати сушку цеолітів безпосередньо у робочих адсорберах (патронах) і тим самим запобігати частковому зволоженню цеоліту при його завантаженні до адсорберів.

Перед завантаженням до адсорберу (патрону) цеоліт має бути просіяний від пилу та дрібних фракцій (менше 2,8 мм). Завантажений до адсорберів для осушки масла цеоліт повинен додатково промиватися від пилу сухим трансформаторним маслом. Зберігати підготовлений цеоліт необхідно у герметичному баці під шаром сухого трансформаторного масла з пробивною напругою не менше 60 кВ.

8.2.7 Адсорбент палигорскіт-кришка перед застосуванням треба висушити при температурі від 180 до 200 °С тривалістю від 3 до 4 год в електропечі або продуванням гарячого повітря (азоту).

Залишкова вологість не повинна перевищувати 0,5 % від маси.

## **8.3. Метод визначення залишкового вологовмісту адсорбентів**

8.3.1 Цей метод використовує такі матеріали, посуд та апаратуру:

- плавлений хлористий кальцій або інші осушувачі для ексикатора (оксид кальцію, п'ятиоксид фосфору);

- склянки для зважування (склянки Бюкса);
- тигель фарфоровий; .
- ексикатор;
- ваги лабораторні аналітичні;
- електропіч лабораторна.

8.3.2 Пробу адсорбенту відбирають за допомогою щупа, занурюючи його не менше, ніж на  $\frac{2}{3}$  глибини ємкості з адсорбентом по вертикальній осі.

Відібрані у різних місцях ємкості разові проби з'єднують разом, ретельно перемішують і відбирають середню пробу. Вміщують її в чисту суху скляну, металеву або поліетиленову банку з герметичною кришкою. На банку наносять позначку: найменування продукту, номер партії, місце і дата відбору проби.

8.3.3 Випробування проводять у такій послідовності:

8.3.3.1 Зразок адсорбенту від 1,5 до 2 г зважити з похибкою не більше 0,0002 г у склянці Бюкса, яку попередньо висушити до постійної маси.

8.3.3.2 Трішки відкривши склянку Бюкса, розмістити її в сушильній шафі і сушити При температурі  $(150 \pm 5)^\circ\text{C}$  до постійної маси не менше 3 год.

8.3.3.3 Визначення вважають закінченим, коли розходження між послідовним та попереднім зважуванням не перевищує 0,003 г.

8.3.3.4 Для охолодження закрити склянку Бюкса вміщують до ексикатора з осушувачем і витримують перед кожним зважуванням не менше 30 хв.

В.3.4 Залишковий вологовміст (X), у відсіках, обчислюють за формулою:

(В.1)

де  $m_1$  - маса склянки Бюкса з адсорбентом до висушування, г;

$m_2$  - маса склянки Бюкса з адсорбентом після висушування, г;

$m$  - маса зразка адсорбенту, г.

За результат випробування приймають середнє арифметичне двох паралельних визначень, розходження між якими не повинне перевищувати 0,2 %.

#### Додаток Г (довідковий)

Технічні характеристики обладнання для обробки та регенерації трансформаторних масел

Таблиця П - Технічні характеристики маслоочисного обладнання

| Характеристики                                         | ПСМ1-3000     | ПСМ2-4         | СМ1-3000       | СМ2-4          |
|--------------------------------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|
|                                                        | ТУ-34-38-8509 | ТУ 34-38-10217 | ТУ 34-38-10610 | ТУ 34-38-11043 |
| 1                                                      | 2             | 3              | 4              | 5              |
| 1 Номінальна продуктивність (при температурі масла, що | 3             | 4              | 3              | 4              |

|                                                                                                                                                                                          |       |       |       |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| підлягає обробці, 60 °С) при очищенні методом, м <sup>3</sup> /год.:<br>- класифікації<br>- пурифікації                                                                                  | 2     | 3     | 2     | 3     |
| 2 Максимальний вміст механічних домішок у маслі (при початковому вмісті механічних домішок до 0,08 %),<br>не більше, %:<br>- після одного циклу очищення<br>- після двох циклів очищення | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,005 |

Продовження таблиці Б.1

|                                                                                                                            |                                             |                                                |                                    |                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|
| 3 Максимальний вміст вологи в маслі після одного циклу очищення при початковому вмісті води до 1 % маси, не більше, % маси | 0,08                                        | 0,05                                           | 0,08                               | 0,05                                   |
| 4 Вміст масла у відходах види, не більше, % (мг/л)                                                                         | 1,0                                         | 1,0(30)                                        | 1,0                                | 1,0                                    |
| 5 Пробивна напруга ізоляційного масла, яке осушене за один цикл (при початковій 20 кВ), не менше, кВ                       |                                             | 50                                             |                                    |                                        |
| 6 Температура нагрівання масла в електродігрівачі, °С                                                                      | 25                                          | 35                                             | 25                                 | 30                                     |
| 7 Найменша кількість масла, яку можна очистити на установці, м <sup>3</sup>                                                | 0,22                                        | 0,3                                            | 0,22                               | 0,3                                    |
| 8 Кількість розділових тарілок, шт.                                                                                        | 56                                          | 88                                             | 56                                 | 88                                     |
| 9 Встановлена (споживана) потужність, кВт:<br>- сепаратора<br>- електродігрівача<br>- вакуум-насоса<br>- загальна          | 5,5/5,1<br>36/36<br>0,55/0,50<br>42,05/41,6 | 5,5/5,1<br>57,6/57,6<br>0,55/0,50<br>63,6/63,2 | 5,5/5,1<br>36/36<br>-<br>41,5/41,1 | 5,5/5,1<br>57,6/57,6<br>-<br>63,1/62,7 |
| 10 Габаритні розміри, мм:<br>- довжина<br>- ширина<br>- висота                                                             | 1800<br>1200<br>1780                        | 1830<br>1300<br>1528                           | 1200<br>1225<br>1395               | 1500<br>1146<br>1225                   |

Закінчення таблиці П

|                    |      |      |     |     |
|--------------------|------|------|-----|-----|
|                    | 2    | 3    | 4   | 5   |
| 11 Маса машини, кг | 1100 | 1100 | 710 | 672 |

Таблиця Г.2 - Технічні характеристики обладнання для видалення механічних домішок із масла

Таблиця Г.3 - Технічні характеристики рамних фільтрпресів

### Закінчення таблиці Г.3

|                                                                     |        |        |           |
|---------------------------------------------------------------------|--------|--------|-----------|
| 1                                                                   | 2      | 3      | 4         |
| 2 Поверхня фільтрації, м <sup>2</sup>                               | 1,8    | 2,0    | 2,2       |
| 3 Найбільший робочий тиск<br>фільтрації, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) | 0,4(4) | 0,5(5) | 0,45(4,5) |
| 4 Об'єм рамного простору, л/м <sup>3</sup>                          | 17     | 20     | 14        |
|                                                                     |        |        |           |

|                                                                                                                                                  |                                 |                                         |                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------|
| 5 Кількість рам, шт.                                                                                                                             | 16                              | 19                                      | 11                              |
| 6 Вміст механічних домішок в маслі після трьох циклів його обробки (при початковому вмісті домішок від 0,01 % до 0,03 % маси), не більше, % маси | 0,005                           | 0,0004                                  |                                 |
| 7 Встановлена потужність (споживана) електродвигуна, кВт                                                                                         | 1,7/1,3                         | 2,2/2,0                                 | 4,0                             |
| 8 Фільтрувальний матеріал                                                                                                                        | Фільтрувальний картон ГОСТ 6722 | Фільтрувальна бумага ДРКБ ТУ 81 -04-178 | Фільтрувальний картон ГОСТ 6722 |
| 9 Габаритні розміри, мм:<br>- довжина<br>- ширина<br>- висота                                                                                    | 1000<br>572<br>982              | 1480<br>605<br>840                      | 1700<br>760<br>1120             |
| 10 Маса, кг                                                                                                                                      | 215                             | 270                                     | 530                             |

Таблиця Г.4 - Характеристики фільтрувальних матеріалів

| Характеристики                                                            | Фільтрувальний технічний картон ГОСТ 6722 | Бумага фільтрувальна ДРКБ ТУ 81-04-178 | Матеріал фільтрувальний для масел ТУ 81-04-519 |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| 1 Основа                                                                  | Целюлоза                                  | Целюлоза з додаванням вінолу           | Віскозно-штапельне полотно                     |
| 2 Відносний опір продавлюванню, не менше, кг/см <sup>2</sup>              | 1,14                                      | 2,5                                    |                                                |
| 3 Товщина, мм                                                             | 0,6-1,0                                   | 0,6                                    | 1,2                                            |
| 4 Тонкість фільтрації (в один шар), розміри часток, не більше, мкм        | 20-25                                     | 20                                     | 10                                             |
| 5 Час фільтрування, не більше, с                                          |                                           | 5,0                                    | 5,0                                            |
| 6 Капілярна усмоктуваність у середньому за двома напрямками, не менше, мм | 51                                        |                                        |                                                |
| 7 Маса 1 м <sup>2</sup> , г                                               | 275                                       | 240                                    | 250                                            |

|                              |   |       |       |
|------------------------------|---|-------|-------|
| 8 Густина, г/см <sup>3</sup> |   | 0,25  |       |
| 9 Вологість, не більше, %    | 6 |       |       |
| 10 Ширина листа, мм          |   | 550+5 | 830±5 |

Таблиця Г.5 - Технічні характеристики цеолітових установок

| Характеристики                                                                                                                                             | Значення характеристик для цеолітових установок |            |                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                            | БЦ - 77-1100<br>ТУ 34-43-1090                   | ПЦУ/НО-71/ | М002А<br>ТУ 34-43-11020-86 |
| 1 Номінальна подача при пробивній напрузі масла, м <sup>3</sup> /год:<br>- до 20 кВ<br>- вище 20 кВ                                                        | 1,1                                             | 1,6<br>2,5 |                            |
| 2 Робочий тиск, МПа                                                                                                                                        | 0,1-0,25                                        |            |                            |
| 3 Споживана потужність, кВт:<br>- підігрівача<br>- електродвигуна насоса                                                                                   | 24<br>1,5                                       |            |                            |
| 4 Продуктивність установки у режимі осушення, м <sup>3</sup> /год                                                                                          |                                                 |            | 1,6-2,5                    |
| 5 Пробивна напруга після осушення, не менше, кВ                                                                                                            |                                                 |            | 60                         |
| 6 Продуктивність установки у режимі перекачування, фільтрації та нагрівання трансформатора, кг/год                                                         |                                                 |            | 3000                       |
| 7 Температура масла на виході з маслонагрівача при роботі у режимі прогрівання трансформатора (при температурі масла на вході плюс 15 °С),<br>не менше, °С |                                                 |            | 80                         |
| 8 Вміст механічних домішок в маслі після фільтрації, не більше, %                                                                                          |                                                 |            | 0,005                      |
| 9 Встановлена потужність, кВт                                                                                                                              |                                                 |            | 107,5                      |

Закінчення таблиці Г.5

|                       |     |                         |      |
|-----------------------|-----|-------------------------|------|
|                       | 2   | 3                       | 4    |
| 10 Маса установки, кг | 780 | 1585 (без<br>урахування | 5000 |

|                           |      |          |      |
|---------------------------|------|----------|------|
|                           |      | фургона) |      |
| 11 Габаритні розміри, мм: | 1710 | 5800     | 6680 |
| довжина                   | 1370 | 2375     | 3375 |
| ширина                    | 1865 | 3220     | 2500 |
| висота                    |      |          |      |

Таблиця Г.6 - Технічні характеристики пересувної установки вакуумної обробки трансформаторного масла типу УВМ

| Характеристики                                                                           | УВМ-1 ТУ 34-43-1347 | УВМ-2 ТУ 34-11-11066                          |
|------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|
| 1 Подача, не менше, м <sup>3</sup> /год                                                  | 1,9                 | 3,6<br>9,36 (при перекачуванні та нагріванні) |
| 2 Об'ємний газовміст масла після вакуумної обробки, не більше, %                         | 0,1                 | 0,1                                           |
| 3 Вологовміст масла після вакуумної обробки, не більше, % маси (г/т)                     | 0,001(10)           | 0,001(10)                                     |
| 4 Тонкість фільтрації, мкм                                                               | 20                  | 5                                             |
| 5 Об'ємний вміст азоту в маслі після азотування, %                                       | 8±0,5               | 8±0,5                                         |
| 6 Потужність нагрівача, кВт                                                              | 90±5                | 170±5                                         |
| 7 Температура масла, °С:<br>- у процесі вакуумування<br>- при прогріванні трансформатора | 50-60               | 55-60<br>85                                   |
| 8 Залишковий тиск при дегазації масла, Па (мм рт.ст.)                                    | 66(0,5)             | 266(2)                                        |
| 9 Споживана потужність, кВт                                                              | 100                 | 195                                           |
| 10 Габаритні розміри, мм                                                                 | 4380x2350x2625      | 4150x2250x2350                                |
| 11 Маса, кг                                                                              | 5300                | 5400                                          |

Таблиця Г.7 - Технічні характеристики вакуумних насосів та агрегатів

| Характеристики | Марка насоса та агрегату    |                          |                           |                          |                           |
|----------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                | 2ДВН-500                    | АВЗ-90                   | АВР-150                   | НВЗ-150                  | НВЗ-100Д                  |
| 1 Подача, л/с  | 500                         | 90                       | 150                       | 150                      | 100                       |
| 2 Граничний    | 0,5(3,75*10 <sup>-3</sup> ) | 6,7(5*10 <sup>-2</sup> ) | 0,67(5*10 <sup>-3</sup> ) | 6,7(5*10 <sup>-2</sup> ) | 0,67(5*10 <sup>-2</sup> ) |

|                                                                                                  |              |                 |              |                 |                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------------------|
| залишковий тиск,<br>Па (мм рт.ст.):<br>- повний без<br>газобаласту<br>- повний з<br>газобаластом |              | 400(3)          |              | 400(3)          | 6,7(5*10 <sup>-2</sup> ) |
| 3 Тип<br>форвакуумного<br>насоса                                                                 | НВЗ-50Д      |                 | НВЗ-20       |                 |                          |
| 4 Робоча рідина<br>та її об'єм, л                                                                |              | ВМ-4.ВМ-6<br>14 |              | ВМ-4.ВМ-6<br>28 | М-4.ВМ-6<br>20           |
| 5 Охолодження<br>(витрата води, м <sup>3</sup> /<br>год)                                         | Повітряне    | Водяне (0,6)    | Повітряне    | Водяне (1,3)    | Водяне (1,3)             |
| 6 Габаритні<br>розміри, мм                                                                       | 1340x600x850 | 100x630x1060    | 896x444x1165 | 1175x874x1164   | 1175x874x1164            |
| 7 Маса, кг                                                                                       | 560          | 600             | 295          | 970             | 1000                     |

Таблиця Г.8-Технічні характеристики вакуумдегазаційних установок та установок для дозаливу масла

| Характеристики                                                                                                                                    | ВДУ-3                  | ВДУ-10                 | УДМГВ               | УДВк              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-------------------|
| 1 Продуктивність, м <sup>3</sup> /год                                                                                                             | 3                      | 10                     | 0,7-1,4             |                   |
| 2 Якість трансформаторного масла до/після обробки:<br>- вологовміст (мас.), г/т<br>- газовміст (об.), %<br>- вміст механічних домішок (мас.), г/т | 50/5<br>10/0,1<br>50/5 | 50/5<br>10/0,1<br>50/5 | 50/5<br>10/0,1      | /5<br>/0,1        |
| 3 Встановлена потужність, кВт:<br>- з електронагріванням<br>- з паронагріванням                                                                   | 80                     | 290<br>40              | 20                  |                   |
| 4 Корисний об'єм одного агрегату УДВк, л                                                                                                          |                        |                        |                     | 15                |
| 5 Час зберігання масла під вакуумом 0,5 ммрт.ст., год                                                                                             |                        |                        |                     | 24                |
| 6 Габаритні розміри, мм:<br>- ширина<br>- довжина<br>- висота                                                                                     | 1700<br>2300<br>2300   | 2100<br>3200<br>2800   | 800<br>1600<br>1600 | 400<br>400<br>600 |
| 7 Маса (з маслом), кг                                                                                                                             | 3700                   | 6000                   | 500                 | 35                |

Примітка 1. Вакуумдегазаційні установки (ВДУ) призначені для обробки трансформаторних масел у стаціонарних умовах.

Примітка 2. Установка дозаливу маслом герметичних уводів (УДМГВ) пересувна. Призначена для обробки масла та заливу герметичних уводів на підстанції.

Примітка 3. Установка дозаливу уводів касетна (УДВк) призначена для дозаливу герметичних уводів на підстанціях.

УДК 621.315.615.2.004.1

Ключові слова: нафтові трансформаторні масла (оливи), приймання, застосування, експлуатація, контроль якості, регенерація, маслonaповнене обладнання.