

**УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

МЕХАНІКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи**

**з дисципліни
*«ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ»***

Харків – 2025

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки 22 травня 2025 р., протокол № 14.

Рекомендовано для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» (освітні програми «Електричний транспорт» і «Електропостачання та ресурсозберігаючі технології») денної та заочної форм здобуття освіти.

Укладачі:

доценти Ю. О. Семененко,
О. І. Семененко

Рецензент

доц. О. Є. Зінченко

ЗМІСТ

Вимоги до оформлення контрольної роботи.....	4
1 Вивчення теоретичного матеріалу дисципліни.....	5
1.1 Завдання 1.....	5
1.2 Перелік питань з дисципліни.....	6
2 Перевірка навантажувальної здатності елементів системи електропостачання.....	9
2.1 Навантаження елементів системи електропостачання.....	9
2.2 Навантажувальна та перевантажувальна здатність елементів системи електропостачання.....	10
2.3 Допустимі температури струмопровідних жил провідників.....	11
2.4 Перевірка термічної стійкості провідників до струмів короткого замикання.....	13
2.5 Завдання 2.....	17
2.6 Приклад виконання перевірки кабелю на термічну стійкість до струмів КЗ.....	18
3 Оцінка стану силових трансформаторів систем електропостачання...	21
3.1 Завдання 3.....	23
Список літератури.....	25

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

Контрольну роботу оформлюють у вигляді пояснювальної записки на аркушах паперу формату А4 відповідно до вимог державних стандартів України. На титульному аркуші вказують назву міністерства, вищого навчального закладу та кафедри, назву контрольної роботи, ініціали і прізвище здобувача вищої освіти та викладача, який буде перевіряти роботу, дату виконання.

Пояснювальну записку виконують за допомогою комп'ютерної техніки. Рекомендовано використовувати текстовий редактор *Microsoft Word*. У роботі для розв'язання задач вказують найменування кожної розрахункової операції, далі записують розрахункову формулу в загальному вигляді. Після чого у наступному рядку в рівняння підставляють чисельні значення величин і визначений результат. У разі потреби зробити пояснення до виконаних розрахунків або побудов, сформулювати їх коротко і самостійно. Точність розрахунків має бути не нижче 0,1 %, тобто округлення необхідно виконувати до трьох значущих цифр.

Виконану контрольну роботу після її зарахування зберігають до іспиту. Для складання іспиту кожен здобувач повинен бути готовим відповісти на будь-яке з перерахованих нижче питань.

1 ВИВЧЕННЯ ТЕОРЕТИЧНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

Виконання завдання закріплює отримані здобувачами теоретичні знання. У результаті засвоєння теоретичного матеріалу дисципліни [1-7] в контрольній роботі здобувачі повинні надати відповіді на п'ять указаних в завданні 1 питань.

1.1 Завдання 1

На першій сторінці роботи записують номер варіанта за двома останніми цифрами навчального шифру. Відповідні варіанту завдання номери питань слід взяти із таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані до завдання 1

Остання цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер питання	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Номер питання	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Передостання цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номер питання	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Номер питання	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Номер питання	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50

1.2 Перелік питань з дисципліни

- 1 Структура та основні завдання господарства електрифікації та електропостачання Укрзалізниці.
- 2 Структура та основні завдання служби електропостачання залізниці.
- 3 Структура та основні завдання дистанції електропостачання.
- 4 Енергодиспетчерська служба, її основні завдання.
- 5 Методи оперативного обслуговування тягових підстанцій та постів секціонування.
- 6 Різні види тягових підстанцій залізниць, заходи щодо підвищення їх експлуатаційної надійності.
- 7 Оперативні перемикання та види обслуговування тягових підстанцій.
- 8 Експлуатація та оперативне обслуговування контактної мережі.
- 9 Засоби боротьби та схеми плавлення ожеледі в контактній мережі постійного струму.
- 10 Засоби боротьби та схеми плавлення ожеледі в контактній мережі змінного струму.
- 11 Система технічного обслуговування та планово-попереджувальних ремонтів контактної мережі.
- 12 Електричне та механічне зношення контактних проводів.
- 13 Інтенсивність зношення контактних проводів.
- 14 Вимірювання та аналіз зношення контактних проводів.
- 15 Об'їзд, обхід та огляд контактної мережі.
- 16 Пошкодження та діагностування ізоляторів контактної мережі.
- 17 Перевірка стану контактної мережі за допомогою вагона випробування контактної мережі.
- 18 Верхове обстеження, регулювання та ремонт контактної підвіски.

- 19 Перевірка та ремонт заземлень опор контактної мережі.
- 20 Роботи без зняття напруги з контактної підвіски.
- 21 Експлуатація та оперативне обслуговування повітряних ліній поздовжнього електропостачання залізниць.
- 22 Експлуатація та оперативне обслуговування повітряних ліній СЦБ залізниць.
- 23 Експлуатація та оперативне обслуговування кабельних ліній залізниць.
- 24 Визначення місця пошкодження кабельної лінії імпульсним методом та методом коливального розряду.
- 25 Визначення місця пошкодження кабельної лінії ємнісним методом та методом петлі.
- 26 Визначення місця пошкодження кабельної лінії індукційним та акустичним методом.
- 27 Призначення і класифікація розподільних пристроїв напругою понад 1000 В.
- 28 Експлуатація розподільних пристроїв напругою понад 1000 В.
- 29 Можливі види пошкоджень силових трансформаторів.
- 30 Поточне обслуговування та ремонт силових трансформаторів.
- 31 Види випробувань силових трансформаторів.
- 32 Визначення опору ізоляції обмоток силових трансформаторів, коефіцієнта абсорбції та кута діелектричних втрат.
- 33 Визначення опору обмоток постійному струму силових трансформаторів, ємності обмоток.
- 34 Визначення струму та втрат холостого ходу силових трансформаторів, коефіцієнта трансформації.
- 35 Перевірка електромагнітів і кіл керування приводів комутаційної апаратури.
- 36 Перевірка функціонування приводів комутаційної апаратури.

37 Експлуатація розрядників. Контроль технічного стану розрядників.

38 Експлуатація вимірювальних трансформаторів.

39 Контроль технічного стану трансформаторів струму.

40 Експлуатація вимірювальних трансформаторів напруги. Контроль технічного стану трансформаторів напруги.

41 Експлуатація, обслуговування та ремонт високовольтних вимикачів постійного струму.

42 Експлуатація, обслуговування та ремонт високовольтних вимикачів змінного струму.

43 Експлуатація, обслуговування та ремонт акумуляторних батарей тягових підстанцій.

44 Експлуатація, обслуговування та ремонт перетворювачів тягових підстанцій.

45 Експлуатація, обслуговування та ремонт роз'єднувачів.

46 Експлуатація, обслуговування та ремонт розрядників.

47 Експлуатація, обслуговування та ремонт заземлюючих пристроїв тягових підстанцій.

48 Експлуатація, обслуговування та ремонт пристроїв релейного захисту систем електропостачання залізниць.

49 Вплив кліматичних факторів на експлуатаційну надійність устаткування в системах електропостачання.

50 Вплив механічних навантажень та корозії на функціонування електроустановок у системах електропостачання.

2 ПЕРЕВІРКА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1 Навантаження елементів системи електропостачання

Розрахункове навантаження елементів оцінюють по тепловому впливу: максимальній температурі або тепловому зносу ізоляції провідників, обмоток трансформаторів та електричних машин [2-7].

Ізоляція в результаті нагрівання в процесі експлуатації втрачає свою механічну міцність і фізико-хімічні властивості під впливом температури. При цьому поки ізоляція не втратила ці властивості, її електрична міцність залишається на досить високому рівні, близькому до рівня нової ізоляції. Як тільки ізоляція стає сухою та крихкою, вона легко руйнується під впливом вібрації в нормальному режимі та при механічних зусиллях, що виникають при поштовхах навантаження від пікового навантаження і при коротких замиканнях, що досить часто зустрічаються в промислових електричних мережах. Чим вище температура ізоляції під час роботи мережі, тим швидше вона втрачає механічні та фізико-хімічні властивості, тобто піддається більшому зносу.

Виходячи з цього, номінальна потужність трансформаторів, двигунів та інших елементів (допустимий струм провідників) зазвичай визначають нагріванням ізоляції [1-7]. При номінальному навантаженні (температурі) відбувається нормальний знос ізоляції, а елементи системи електропостачання можуть працювати безперервно весь запроєктований термін (до повного зносу ізоляції). Встановлений для різних елементів системи електропостачання нормальний термін служби ізоляції (електроустановки) указують у паспорті.

2.2 Навантажувальна та перевантажувальна здатність елементів системи електропостачання

Дослідженнями встановлено, що термін служби електрообладнання різко зменшується при збільшенні температури понад номінальну для прийнятого класу ізоляції [4]. Так, збільшення температури ізоляції класу *A* понад номінальну величину, яка складає 105 °C, на кожні 6 °C скорочує термін її служби вдвічі. Для класу ізоляції *H* (180 °C) скорочується термін її служби вдвічі на кожні 10 °C збільшення температури понад номінальну.

Звідси видно, наскільки важливо для повного використання нормативного терміну служби електрообладнання дотримання температурного режиму в процесі експлуатації. Зайве перевантаження може значно скоротити термін служби електрообладнання, недовантаження – значно його збільшити [4-7].

Для більш повного та економічного використання електроустаткування при його виборі треба знати навантажувальну та перевантажувальну здатності, а також зони економічних навантажень.

Навантажувальною здатністю елементів системи електропостачання називається їхня здатність при виконанні основних функцій нести різні значення та поєднання в часі навантажень (у тому числі й технічно допустимі перевантаження) з урахуванням їхньої тривалості, які в комплексі не викликають скорочення їхнього нормативного ресурсу.

Перевантажувальною здатністю елементів системи електропостачання називається їхня здатність при виконанні основних функцій нести різні технічно допустимі значення та поєднання аварійних перевантажень, які в комплексі з іншими (нормальними) навантаженнями викликають скорочення їхнього нормативного ресурсу на певну величину. Навантажувальна та перевантажувальна здатність електрообладнання [4-7] залежить від його конструкції, режиму роботи (графіку навантаження) та

умов навколишнього середовища, а оцінити цю здатність можна після проведення теплових розрахунків та визначення зносу ізоляції.

2.3 Допустимі температури струмопровідних жил провідників

При нагріванні провідників використовують три види допустимих температур, якими і визначається їхня навантажувальна та перевантажувальна здатність [4].

Виходячи з фізико-хімічних властивостей ізоляції, провідникового матеріалу та особливостей конструкції проводів і кабелів ці температури встановлені такими:

- тривало допустиме нагрівання жил за нормами $\theta_{жт}$, °C (50-80) залежно від ізоляції та напруги;
- короткочасне допустиме нагрівання при перевантаженнях $\theta_{жк}$, °C (90-125);
- максимально допустима температура при струмі короткого замикання $\theta_{жм}$, °C (125-300).

За видами провідників та ізоляції ці температури регламентовані та наведені в таблиці 2.1. Для цих температур при температурі навколишнього середовища (25 °C при прокладенні всередині приміщень та 15 °C при прокладенні в землі) в ПУЕ [4], таблиці 1.3.4÷1.3.8, 1.3.11÷1.3.18 та 1.3.19÷1.3.29, наведено допустимі тривалі струми для проводів, шнурів та кабелів з різною ізоляцією та різним конструктивним виконанням, для неізольованих проводів та шин у таблицях 1.3.42÷1.3.48 ПУЕ [4].

За умови, коли температура навколишнього середовища суттєво відрізняється від нормованої, слід застосовувати корегувальні коефіцієнти, наведені в таблицях 1.3.10, 1.3.27 ПУЕ [4].

Таблиця 2.1 – Допустимі температури струмопровідних жил провідників

Характеристика провідника	$\theta_{\text{жт}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{жк}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{\text{жм}}, ^\circ\text{C}$		Значення C	
			Al	Cu	Al	Cu
Шини та голі проводи	70	125	200	300	90	165
Кабелі з паперовою ізоляцією: $U_n \leq 3 \text{ кВ}$	80	125	200	200	98	145
$U_n = 6 \text{ кВ}$	65	100	200	200	98	145
$U_n = 10 \text{ кВ}$	60	90	200	200	98	145
$U_n = 20\text{-}220 \text{ кВ}$	50	50	125	125	70	110
Кабелі й проводи з гумовою та ПВХ ізоляцією	65	110	150	150	83	122

Для кабелів, напругою до 1 кВ з паперовою просоченою ізоляцією, що несуть навантаження менше номінальних, може допускатися короткочасне навантаження, зазначене в таблиці 1.3.31 ПУЕ [4], а на період ліквідації післяаварійного режиму допускається навантаження протягом 5 діб у межах, зазначених у таблиці 1.3.32 ПУЕ [4].

На період ліквідації післяаварійного режиму для кабелів з поліетиленовою ізоляцією допускається перевантаження до 10 %, а для кабелів з полівінілхлоридною ізоляцією до 15 % номінального навантаження на час максимумів навантаження, тривалістю не більше 6 годин на добу протягом 5 діб, якщо навантаження у періоди часу цієї доби не перевищували номінальні.

Температуру нагрівання жил кабелів при нормальному режимі та струмі I_p навантаження, відмінному від тривало допустимого I_d з

урахуванням температури навколишнього середовища можна визначати за рівнянням

$$\theta_{\text{ж}} = \theta'_{\text{ох}} + (\theta_{\text{жт}} - \theta_{\text{ох}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{р}}}{I_{\text{д}}} \right)^2, \quad (2.1)$$

де $\theta'_{\text{ох}}$, $\theta_{\text{ох}}$ – відповідно температури охолоджуючого середовища фактична та таблична;

$\theta_{\text{жт}}$ – тривало допустима температура жили (таблиця 2.1).

2.4 Перевірка термічної стійкості провідників до струмів короткого замикання

Стійкість провідників до струмів короткого замикання (КЗ) перевіряється відповідно до 1.4 ПУЕ [4]. Перевірці на нагрівання струмами КЗ підлягають струмопроводи, кабелі та інші провідники напругою понад 1 кВ, а в мережах напругою до 1 кВ – тільки струмопроводи.

При перевірці струмопровідних частин на термічну стійкість зазвичай користуються поняттям наведеного часу $t_{\text{нв}}$ (замість дійсного $t_{\text{д}}$, що складається із часу дії захисту $t_{\text{з}}$ та апаратури відключення вимикача $t_{\text{в}}$ з урахуванням горіння дуги), протягом якого струм КЗ (I_{∞}), що встановився, виділяє ту ж кількість тепла, що і змінюваний в часі струм КЗ за дійсний час. Наведений час визначається складовими часу періодичного $t_{\text{п}}$ та аперіодичного $t_{\text{ап}}$ доданків струму КЗ:

$$t_{\text{нв}} = t_{\text{п}} + t_{\text{ап}}. \quad (2.2)$$

Величину $t_{\text{п}}$ при дійсному часі $t_{\text{д}} \leq 5$ с знаходять з таблиці 2.2 за залежністю

$$t_{\Pi} = f(\beta''), \quad (2.3)$$

де $\beta'' = I'' / I_{\infty}$.

Таблиця 2.2 – Значення наведеного часу періодичної складової струму КЗ залежно від β'' для різних значень t_d

β''	Значення t_{Π} , с, залежно від t_d , с								
	0,1	0,2	0,5	1	1,5	2	3	4	5
0,8	0,15	0,20	0,30	0,6	1,00	1,35	2,10	2,90	3,9
1	0,16	0,22	0,45	0,81	1,25	1,72	2,50	3,45	4,4
1,5	0,20	0,36	0,72	1,18	1,62	2,00	3,00	3,90	4,9
2	0,32	0,55	1,05	1,60	2,10	2,55	3,50	4,50	5,3
2,5	0,46	0,81	1,42	2,60	2,55	3,10	4,05	5,00	6,0
2,9	0,70	1,00	1,75	2,42	3,10	3,55	4,65	5,50	6,6

При $t_d > 5$ с

$$t_{\Pi} = t_{\text{нв}5} + (t_d - 5), \quad (2.4)$$

де $t_{\text{нв}5}$ – наведений час при $t_d = 5$ с.

Наведений час аперіодичної складової

$$t_{\text{ап}} = 0,05 \cdot \beta''^2. \quad (2.5)$$

За дійсного часу $t_d > 1$ с величина $t_{\text{ап}}$ не враховується.

Розрахунок на термічну стійкість струмопровідних частин виконується за кривими нагрівання різних металів, які представляють залежності, що наведені у таблиці 2.3, температури від значення A

$$\theta = f(A) = f(j^2 t_{\text{нв}}), \quad (2.6)$$

де $j = \frac{I}{F}$, – щільність струму, А/мм².

Таблиця 2.3 – Значення температур струмопровідних частин різних металів

залежно від $A = \left(\frac{I_{\infty}}{F}\right)^2 \cdot t$

Матеріал	Значення температури θ при різних A , ($A \cdot 10^4$)									
	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5
Мідь	10,5	20	35	50	80	110	150	190	285	345
Алюміній	40	70	100	145	240	330	450	-	-	-
Залізо	110	275	500	-	-	-	-	-	-	-

Якщо визначені величини I_{∞} та $t_{\text{нв}}$, то знаючи максимально допустиму температуру для певного металу $\theta_{\text{жм}}$, за таблицею 2.3 знаходять величину $A_{\text{кз}}$, яка є залежністю:

$$A_{\text{кз}} = \left(\frac{I_{\infty}}{F}\right)^2 \cdot t_{\text{нв}}, \quad (2.7)$$

звідки визначають припустимий переріз провідника.

Якщо відома також початкова температура нагріву провідника до короткого замикання ($\theta_{\text{поч}}$), то за тією же таблицею для температури $\theta_{\text{поч}}$ визначається $A_{\text{поч}}$. Позначимо через A_{Σ} величину, пропорційну повній кількості тепла, що виділяється в провіднику після КЗ. Тоді

$$A_{\Sigma} = A_{\text{кз}} + A_{\text{поч}},$$

$$A_{\Sigma} = \left(\frac{I_{\infty}}{F} \right)^2 \cdot t_{\text{нв}} + A_{\text{поч}}, \quad (2.8)$$

Термічно стійкий до струмів КЗ переріз визначають за формулою

$$F_{\text{кз}} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{\text{нв}}}}{C}, \quad (2.9)$$

де C – коефіцієнт, значення якого для різних провідників наведено в таблиці 2.1.

За стандартний термічно стійкий переріз приймають найближчий менший переріз до розрахункової величини $F_{\text{кз}}$. Таке рішення обумовлено помилкою у бік завищення, що закладено у методиці розрахунку.

Перевірку на нагрівання від струмів КЗ для одиночних кабелів невеликої протяжності проводять виходячи з того, що КЗ відбулося на початку кабелю. Для одиночних кабелів, що мають з'єднувальні муфти, – виходячи з КЗ на початку кожної ділянки, з тим, щоб мати можливість ступенями зменшувати перетин кабелю за його довжиною: для двох і більше паралельно ввімкнених кабелів – виходячи з КЗ безпосередньо за пучком (за наскрізним струмом).

Згідно з ПУЕ [4], кабелі, що захищаються плавкими запобіжниками, на термічну стійкість до струмів КЗ не перевіряють, оскільки час роботи запобіжника малий і тепло, що виділилося, не в змозі нагріти кабель до небезпечної температури.

У мережах напругою 6-10 кВ наведений час КЗ $t_{\text{нв}}$ приймають рівним дійсному $t_{\text{д}}$.

2.5 Завдання 2

Кабель (заданого в таблиці 2.4 типу, з заданою робочою лінійною напругою) обраний за розрахунковим струмом, прокладений у землі й працює із завантаженням $0,8I_d$. Перевірити його на термічну стійкість до струмів КЗ, якщо відоме усталене значення струму КЗ. Час дії КЗ складається із часу дії захисту $t_z = 0,45$ с та апаратури відключення вимикача $t_b = 0,15$ с.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані до завдання 2

Остання цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Тип кабелю	АСБ	СБ	АВБ ШВ	СБ	ВБ ШВ	АВБ ШВ	АСБ	ВБ ШВ	АСБ	ВБ ШВ
Робоча лінійна напруга, кВ	10	6	6	10	6	10	6	10	10	6
Передостання цифра навчального шифру	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Площа перерізу жили, мм ²	16	25	70	50	35	16	70	25	35	50
Струм I_∞ , кА, для кабелів з мідними жилами	4	6	15	12	7,5	3,5	14	5,5	7	11
Струм I_∞ , кА, для кабелів з алюмінієвими жилами	2,5	4	11	8	5,5	2,3	10	3,5	6	7,5

Для заданого варіанту кабелю необхідно визначити температуру провідника в момент відключення КЗ та переріз жил, що задовольняє

вимогам термічної стійкості до струмів КЗ. За необхідності слід запропонувати заходи, щоб температура жил під час дії КЗ не перевищила максимально допустимої температури.

2.6 Приклад виконання перевірки кабелю на термічну стійкість до струмів КЗ

Завдання

Кабель СБ, $U_n = 10$ кВ обраний за розрахунковим струмом, перетином 35 мм^2 , прокладений у землі й працює із завантаженням $0,8I_d$. Перевірити його на термічну стійкість до струмів КЗ, якщо $I_\infty = 8500$ А. Час дії КЗ складає час дії захисту t_z та апаратури відмикання вимикача t_b

$$t_d = t_z + t_b,$$
$$t_d = 0,45 + 0,15 = 0,6 \text{ с.}$$

Рішення

1 За таблицею 1.3.21 ПУЕ [4] тривало допустимий струм для перерізу $3 \times 35 \text{ мм}^2$ з мідними жилами складає $I_d = 144$ А, а тривало допустима температура жил кабелю прийнята $\theta_{жт} = 60^\circ\text{C}$ (таблиця 2.1).

2 За формулою (2.1), температура жил кабелю при навантаженні $I_p = 0,8I_d$, за умови дотримання табличних умов охолодження, становитиме

$$\theta_{ж} = \theta'_{ох} + (\theta_{жт} - \theta_{ох}) \cdot \left(\frac{I_p}{I_d} \right)^2,$$
$$\theta_{ж} = 15 + (60 - 15) \cdot 0,8^2 = 43,8^\circ\text{C}.$$

3 Застосовуючи таблицю 2.3, визначаємо значення $A_{поч}$ для температури жил $43,8^\circ\text{C}$ за методом лінійної інтерполяції. Як відомо, за

методом інтерполяції можна розрахувати значення функції, яке лежить між двома відомими, що й потрібно в цій ситуації. Для цього скористаємось рівнянням

$$A_{\text{поч}} = A_n + \frac{(A_{n+1} - A_n)(\theta_{\text{ж}} - \theta_n)}{\theta_{n+1} - \theta_n}, \quad (2.10)$$

де θ_n, θ_{n+1} – попереднє та наступне значення температури з таблиці 2.3, між якими знаходиться розраховане значення $\theta_{\text{ж}}$;

A_n, A_{n+1} – відповідні значення величини A з таблиці 2.3.

$$A_{\text{поч}} = 0,75 \cdot 10^4 + \frac{(1 \cdot 10^4 - 0,75 \cdot 10^4)(43,8 - 35)}{50 - 35} = 0,89 \cdot 10^4.$$

Визначаючи дані з таблиць, користуйтеся вказаним методом.

4 Оскільки, за умовами завдання, відома величина I_{∞} , розрахунковий наведений час КЗ приймаємо рівним дійсному часу дії КЗ

$$t_{\text{нв}} = t_{\text{д}} = t_{\text{з}} + t_{\text{в}},$$

$$t_{\text{нв}} = 0,6 \text{ с.}$$

5 За формулою (2.7), знайдемо $A_{\text{кз}}$, що відповідає I_{∞} та $t_{\text{нв}}$,

$$A_{\text{кз}} = \left(\frac{I_{\infty}}{F} \right)^2 \cdot t_{\text{нв}},$$

$$A_{\text{кз}} = \left(\frac{8500}{35} \right)^2 \cdot 0,6 = 3,54 \cdot 10^4.$$

6 Величина A_{Σ} пропорційна повній кількості тепла, виділеного у провіднику після КЗ (2.8)

$$A_{\Sigma} = A_{\text{КЗ}} + A_{\text{Поч}},$$

$$A_{\Sigma} = 3,54 \cdot 10^4 + 0,89 \cdot 10^4 = 4,43 \cdot 10^4.$$

Цьому значенню A_{Σ} , за таблицею 2.3, відповідає температура жили 311 °С, що перевищує максимально допустиму $\theta_{\text{жм}} = 200$ °С (таблиця 2.1).

7 Значення C з таблиці 2.1 становить 145. Якщо скористатися виразом (2.9), то мінімальний переріз жил кабелю, який буде стійким до струму КЗ

$$F_{\text{КЗ}} = I_{\infty} \frac{\sqrt{t_{\text{нв}}}}{C},$$

$$F_{\text{КЗ}} = 8500 \frac{\sqrt{0,6}}{145} = 45,4 \text{ мм}^2.$$

Тобто, вибраний за умовами задачі переріз жил кабелю не задовольняє вимогам термічної стійкості до струмів КЗ.

8 Якщо зменшити час дії захисту (струму КЗ) при збереженні площі перерізу $F = 35 \text{ мм}^2$, то допустима тривалість КЗ становитиме згідно з виразом (2.9)

$$t_{\text{нв}} = \left(\frac{C \cdot F}{I_{\infty}} \right)^2,$$

$$t_{\text{нв}} = \left(\frac{145 \cdot 35}{8500} \right)^2 = 0,36 \text{ с.}$$

9 Враховуючи те, що $t_{\text{в}} = 0,15$ с, час дії захисту має бути зменшено з 0,45 с до 0,21 с. При цьому температура жил кабелю визначається з урахуванням величини A_{Σ} (2.7)

$$A_{\Sigma} = \left(\frac{I_{\infty}}{F} \right)^2 \cdot t_{\text{нв}} + A_{\text{поч}},$$

$$A_{\Sigma} = \left(\frac{8500}{35} \right)^2 \cdot 0,36 + 0,89 \cdot 10^4 = 3,01 \cdot 10^4.$$

За таблицею 2.3, для $A_{\Sigma} = 3,01 \cdot 10^4$ температура жил складе 191 °С, що нижче максимально допустимої температури, яка складає 200 °С. Тобто, при зменшеному часі дії захисту буде забезпечена термічна стійкість кабелю СБ з перерізом жил 3х35 мм², $U_n = 10$ кВ до струмів КЗ.

3 ОЦІНКА СТАНУ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Перевірка стану силових трансформаторів на тягових підстанціях з постійним персоналом проводиться щоденно, а начальником тягової підстанції один раз на 15 днів вночі для виявлення коронування, розрядів, нагріву струмопровідних частин [3, 4]. На тягових підстанціях без постійного ремонтно-оперативного персоналу огляди силових трансформаторів проводяться не рідше одного разу на 10 днів.

При огляді масляних силових трансформаторів [3, 4, 6, 7] перевіряють: режим роботи; рівень масла у вводах і в розширювачі та відповідність його показанню термометра; стан кожухів трансформаторів та відсутність течі масла в місцях ущільнення; стан вводів (відсутність слідів розрядів, тріщин, сколів, забруднень); стан ошиновки, кабелів (відсутність нагріву контактних з'єднань); стан маслоочисних пристроїв безперервної регенерації масла, термосифонних фільтрів та вологопоглинальних патронів, контрольного силікагелю за його кольором; стан маслосбиральних та маслоохолоджувальних пристроїв; справність

пристроїв сигналізації та пробивних запобіжників, робочого та захисного заземлення; відповідність показників положення пристрою регулювання напруги під навантаженням на трансформаторі та щиті управління; наявність стороннього нерівномірного шуму і потріскування всередині трансформатора; цілісність мембрани вихлопної труби.

Оцінювання стану трансформаторів проводиться за результатами зовнішнього огляду та перевірки його ізоляції [3, 4, 6, 7]. Внутрішня ізоляція трансформатора являє складне сполучення твердих (папір, картон та ін.) та рідинних діелектриків, зміна фізико-хімічних властивостей яких під час експлуатації відбувається неоднаково. Тому для своєчасного виявлення погіршення стану окремих елементів ізоляції проводиться комплекс вимірювань, за результатами яких і робиться остаточне оцінювання.

Найменші допустимі значення опору ізоляції обмоток масляних трансформаторів на напругу до 35 кВ наведені в таблиці 1.8.11 ПУЕ [4].

Коефіцієнт абсорбції $K_{abc} = R_{60}/R_{15}$ при температурі 20°C невологих обмоток силових трансформаторів знаходиться у межах:

- для трансформаторів напругою 35 кВ і нижче – не менше 1,3;
- трансформаторів напругою 110 кВ і вище – 1,5-2,0.

Для обмоток трансформаторів, що мають зволоження або місцеві дефекти в ізоляції, це відношення наближається до 1.

Тангенс кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ є характеристикою, яка визначає втрати енергії в діелектриці, її використовують для оцінювання якості ізоляції у силових трансформаторах. Найбільші допустимі значення тангенса кута діелектричних втрат ізоляції обмоток масляних трансформаторів на напругу 35 кВ потужністю 10000 кВА і більше наведені в таблиці 1.8.12 ПУЕ [4].

3.1 Завдання 3

Оцінити стан тягового трансформатора ТРДП-12500/35Ж-У1 та можливість його подальшої експлуатації за результатами зовнішнього огляду і перевірки його ізоляції, проведеної при температурі 20 °С. Основні з цих даних наведені в таблиці 3.1.

При оцінюванні технічного стану трансформатора дати:

- обґрунтування правильності зроблених висновків;
- визначення і навести числові значення основних електричних параметрів, за якими проводиться оцінювання стану ізоляції трансформатора.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до завдання 3

Остання цифра навчального шифру			0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Результати зовнішнього огляду трансформатора			Зауважень немає	Знижений рівень масла у масломірному склі	Витікання масла з баку трансформатора	Порушення цілісності діафрагми	Підвищений гул порівняно зі звичайним	Зауважень немає	Знижений рівень масла у масломірному склі	Витікання масла з баку трансформатора	Порушення цілісності діафрагми	Підвищений гул порівняно зі звичайним
R_{i3} , МОм	ВН		640/630	630/500	600/250	640/620	630/625	640/630	630/500	650/200	640/620	630/625
	НН	I	680/660	660/535	650/200	680/650	680/660	660/535	650/160	680/650	680/660	660/440
		II	650/640	740/440	640/400	750/400	650/640	740/440	640/340	750/420	650/640	630/520
$K_{a6c}=R_{60}/R_{15}$	ВН		1,7/1,5	1,6/1,1	1,65/1,15	1,65/1,5	1,7/1,5	1,7/1,5	1,55/1,0	1,65/1,1	1,65/1,5	1,7/1,5
	НН	I	1,5/1,4	1,5/1,0	1,45/1,1	1,5/1,45	1,5/1,4	1,5/1,4	1,45/1,0	1,45/1,1	1,5/1,45	1,5/1,4
		II	1,3/1,2	1,3/1,0	1,25/1,1	1,3/1,0	1,3/1,2	1,3/1,2	1,25/1,0	1,25/1,0	1,3/1,0	1,3/1,2
$tg\delta$, %	ВН		0,9	1,0	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,4	1,0	1,0
	НН	I	1,2	1,5	2,0	1,5	1,4	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5
		II	1,5	1,5	2,0	2,5	1,5	1,8	1,5	2,0	1,5	1,4
Примітка – у чисельнику наведені дані попередніх вимірювань, у знаменнику – дані чергових вимірювань												

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Правила улаштування системи тягового електропостачання залізниць України. ЦЕ-0009. Київ, 2005. 80 с.

2 Правила улаштування та технічного обслуговування контактної мережі електрифікованих залізниць. ЦЕ-0023. Київ, 2008. 208 с.

3 Інструкція з технічного обслуговування і ремонту обладнання тягових підстанцій, пунктів живлення і секціонування електрифікованих залізниць. ЦЕ-0024. Київ, 2008. 125 с.

4 Правила улаштування електроустановок. Вид. офіц. Міненерговугілля України. Харків: Вид-во «Форт», 2017. 760 с.

5 Севостьянов І. В. Експлуатація та обслуговування машин: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2006. 127 с.

6 Єрмолаєв С. О., Мунтян В. О., Яковлев В. Ф. Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК: підручник / за ред. С. О. Єрмолаєва. Київ: Мета, 2003. 543 с.

7 Лут М. Т., Мірошник О. В., Трунова І. М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК: підруч. для студ. ВНЗ. Харків: Факт, 2008. 438 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до виконання контрольної роботи
з дисципліни
«ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ»

Відповідальний за випуск Семененко О. І.

Редактор Ібрагімова Н. В.

Підписано до друку 04.06.2025 р.
Умовн. друк. арк. 1,5. Тираж . Замовлення № .
Видавець та виготовлювач Український державний університет залізничного
транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.