

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний аграрний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Допущений до захисту:
завідувач кафедри ЕЕЕ
д.т.н. проф. Матвійчук В.А.

(Підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
“ ____ ” _____ 2019 р.

«Розробка та дослідження системи електропостачання з використанням
кабельної лінії підєднаної до підстанції «Західна 110 кВ» з діагностуванням її
стану»

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 141 – Електроенергетика,
електротехніка і електромеханіка

Виконав: студент групи ЕІ-18-1 (маг.з)

Ковальчук Валентин Володимирович _____

Керівник: д.т.н., професор, каф. ЕЕЕ

Стаднік Микола Іванович _____

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри ЕЕЕ
д.т.н., професор Матвійчук В.А.

« ___ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА
Ковальчук Валентин Володимирович

1.Тема роботи: «Розробка та дослідження системи електропостачання з використанням кабельної лінії підведеної до підстанції «Західна 110 кВ» з діагностуванням її стану»

Керівник роботи: Стаднік Микола Іванович, д.т.н., професор
Затверджені наказом ВНАУ від « ___ » _____ 2019 року № _____.

2. Строк подання студентом роботи: _____

3. Вхідні дані 1. Матвійчук В.А., Стаднік М.І., Рубаненко О.О., Методичні вказівки по оформленню дипломних робіт магістра для студентів ОКР «Магістр» спеціальності 8.10010101 «Енергетика сільськогосподарського виробництва» та студентів ОС «Магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка». – Вінниця: ВНАУ, 2016. - 64 с., 2. Гребенкин С.С., Павлыш В.Н., Рябичев В.Д., Стадник Н.И. и др. Теория и практика проектирования систем угольных шахт, процессов горных работ и забойного оборудования с применением математического моделирования. Монография. Донецк «ВИК». 2011. Стр.390., 3. Алгоритмы расчетов шахтных скребковых конвейеров. МОНОГРАФИЯ. С.В.Корнеев, И.В.Косарев, М.В.Плетнев, Н.И.Стадник, Л.Н.Ширин., Луганск, «Книжковий світ» Серія «Научно-техническая литература» 94стр. 2006г. 100 экз., 4. В. Косарев, М.І. Стаднік С.С.Гребенкин, И.В.Косарев, В.А.Мизин, Г.В.Андреев, В.С.Пальчик, А.В.Мезников, Е.В.Приседский, «Украинская техника для угольных шахт». ЧП «Астро», Донецк, 2008г. 321с. Гребенкин С.С., Топчий С.Е., Зензеров В.И., Перепелица Б.А., Косарев В.В., Стадник Н.И., Стеблин В.В., Поповский В.Н. МОНОГРАФИЯ «Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очисного оборудования для угольных шахт». Г.Донецк-2009г. Стр.372.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити):

Анотація., Вступ., Характеристика об'єкту проектування., Електричні та теплові характеристики кабелів., Використання індукційного методу для оцінки стану кабельної лінії., Задачі та зміст технічного нагляду при спорудженні кабельної лінії., Прийом і введення кабельної лінії в експлуатацію., Техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування., Захист металевих оболонок кабелів від корозії., Охорона праці., Висновок

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи (роботи)	Примітка
1	Вступ Зовнішня інформація для виконання дипломної роботи.		
2	Виконання розділу 1		
3	Виконання розділу 2		
4	Виконання розділу 3		
5	Виконання розділу 4		
6	Виконання розділу 5		
7	Виконання розділу 6		
8	Виконання розділу 7		
9	Виконання розділу 8		
10	Виконання розділу 9		
11	Виконання розділу 10		
12	Оформлення пояснювальної записки		
13	Підготовка доповіді і презентаційного матеріалу		

Завдання прийняв до виконання студент _____ Ковальчук В.В.

(підпис)

Керівник роботи _____ Стаднік М.І.

(підпис)

Зміст

Анотація	6
Вступ	8
1 Характеристика об'єкту проектування	11
1.1 Характеристика кліматичних умов і навантажень	11
2 Електричні та теплові характеристики кабелів	12
2.1 Загальні рівняння електричних і теплових полів у кабелях	12
2.2 Електричне поле одножильних кабелів	13
2.3 Градування ізоляції	17
2.4 Електричне поле в трьохжильному кабелі з поясною ізоляцією	19
2.5 Ємність електричних кабелів	22
2.6 Самоіндукція силових електричних кабелів	28
2.7 Опір ізоляції кабелів	30
2.8 Теплове поле в електричному кабелі	33
2.9 Тепловий опір елементів кабелю	37
2.10 Тепловий опір навколишнього середовища	38
2.11 Нагрівання кабелю при змінному навантаженні	41
2.12 Нагрівання кабелів при КЗ	43
2.13 Втрати в захисних металевих оболонках кабелів	44
2.13 Втрати в захисних металевих оболонках кабелів	45
2.15 Індуковані напруги і втрати в оболонках при трифазному струмі	46
2.16 Втрати в броні електричних кабелів	49
3. Розрахунок та конструктивне виконання кабеля	51
3.1 Загальні задача і порядок розрахунку силових кабелів	51
3.2 Конструювання струмоведучих частин	52
3.3 Розрахунок і конструювання ізоляції	53
3.4 Конструювання оболонок	55
3.5 Конструювання захисних покриттів	56
3.6 Перевірочний тепловий розрахунок силового кабелю	59
3.7 Контроль за нагріванням кабелів	62

4 Використання індукційного методу для оцінки стану кабельної лінії	65
4.1 Визначення траси кабельної лінії	65
4.2 Визначення глибини прокладки кабельної лінії	67
4.3 Визначення шуканого кабелю в пучці кабелів.	68
4.4 Визначення місця міжфазного пошкодження кабельної лінії	68
5 Задачі та зміст технічного нагляду при спорудженні кабельної лінії	71
6 Прийом і введення кабельної лінії в експлуатацію	75
7. Техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування	79
7.1. Релейний захист і автоматика	84
8 Захист металевих оболонок кабелів від корозії	86
9 Охорона праці	107
9.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта	107
9.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії	112
9.2.1 Мікроклімат	114
9.2.2. Склад повітря робочої зони	115
9.2.4 Виробничий шум	117
9.2.5 Виробничі вібрації	119
9.2.6 Виробничі випромінювання	120
9.2. 7 Пожежна безпек	120
9.2.8 Технічні рішення системи запобігання пожеж	121
9.2. 9 Технічні рішення системи протипожежного захисту	123
Висновок	124
Список літератури	125
Додатки	130

Анотація

В магістерській роботі виконано електричний та тепловий розрахунки кабельної лінії, особливу увагу надано її експлуатації, а саме задачам та змісту технічного нагляду при спорудженні кабельної лінії, прийому та введенню кабельної лінії в експлуатацію, контролю за навантаженням і напругою в кабельній лінії, розглянуто блукаючі струми, їх вимірювання та способи захисту металевих оболонок КЛ від корозії, а також економічне обґрунтування роботи, питання охорони праці.

Робота складається з сторінок 137., табл. 18., рис. 27 ., бібліографія 49., додатки 7.

Annotation

In the master's work the electrical and thermal calculations of the cable line were performed, special attention was given to its operation, namely the tasks and content of technical supervision during the construction of the cable line, reception and commissioning of the cable line, load and voltage control in the cable line, considered wandering, their measurements and methods of protection of metal shells KL from corrosion;

The work consists of pages 137., table. 18, fig. 27, bibliography 49, annexes 7.

Вступ

Актуальність роботи: Електропостачальною системою (ЕПС) називають сукупність електротехнічних установок, призначених для забезпечення споживачів електроенергією, об'єднаних технічно та організаційно спільністю процесів її передавання та розподілення.

Споживач електроенергії – юридична або фізична особа, яка споживає електричну енергію з метою організації технологічного процесу виробництва та задоволення життєво необхідних потреб. Споживачів ділять на промислові та непромислові підприємства, установи комунального господарства, міське та сільське населення.

Об'єкт дослідження: Системи електропостачання з використанням кабельної лінії

Наукова новизна: Полягає в дослідженні сучасні методи розрахунку електричних навантажень (ЕН), ознайомлені з улаштуванням електричних установок напругою до і вище 1000 В.

Мета роботи було – Оволодіти основними принципами розрахунку та оптимізації ЕПС промислових підприємств, міст і сільського господарства.

Задачі:

- розробити з сучасними методами розрахунку електричних навантажень (ЕН);
- розробити з улаштуванням електричних установок напругою до і вище 1000 В;
- розробити проектні методики розрахунку зовнішнього та внутрішнього електропостачання;
- розробити з оптимізаційними розрахунками прийняття рішень в ЕПС;
- розробити основні положення розрахунку компенсації реактивної потужності;
- розробити з основними вимогами і засобами забезпечення якості електроенергії.

Електричні навантаження. Класифікація електроприймачів.

Електроприймач (ЕП) – пристрій для виконання роботи шляхом перетворення електроенергії в інші види – механічну, світлову, теплову, хімічну.

Практичне значення:

Класифікація ЕП здійснюється за такими основними експлуатаційно-технічними ознаками: за напругою та струмом, режимом роботи, технологічним призначенням, надійністю електропостачання.

За напругою всі ЕП можна поділити на дві групи: до 1000 В і вище 1000 В.

За струмом всі ЕП можна розділити на такі види: трифазні та однофазні приймачі, які працюють від мережі змінного струму промислової частоти (50 Гц); приймачі, які працюють за підвищеної чи зниженої частоти, а також приймачі постійного струму.

За режимом роботи приймачі можна віднести до одного з трьох режимів.

Тривалий режим – це такий режим, за якого приймачі працюють з незмінним або малозмінним навантаженням. В цьому режимі перевищення температури окремих частин електричної частини чи апарата не виходить за встановлені межі.

Короткочасний режим – це такий режим, за якого робочий період настільки малий, що окремі частини машини чи апарата не встигають досягнути встановленої температури. Водночас період зупинки машини чи апарата настільки тривалий, що машина встигає охолонути до температури навколишнього середовища.

Повторно-короткочасний режим – це такий режим, за якого робочі періоди чергуються з паузами, а тривалість всього циклу не перевищує 10 хвилин.

Основні задачі:

За технологічним призначенням ЕП ділять на такі групи: електродвигуни верстатів (тривалий режим із змінним характером навантаження – група А), електродвигуни загальнопромислових механізмів (вентиляторів, насосів, компресорів) (тривалий режим із сталим характером навантаження – група Б), джерела світла, підйомнотранспортні механізми (повторно-короткочасний

режим), електротехнологічні установки – зварювальні, електротермічні, електрохімічні тощо.

За надійністю електропостачання споживачі, згідно з ПУЕ, поділяються на три категорії: - I категорія – споживачі, перерва електропостачання яких пов'язана з загрозою для життя та здоров'я людей, можливістю аварій, виходу з ладу дорогого основного обладнання, порушення нормальної діяльності масової кількості міських чи сільських мешканців. Такі споживачі повинні житися від двох незалежних джерел з автоматичним увімкненням резервного джерела. Перерва в електропостачанні може бути допущена лише на час автоматичного відновлення живлення. Доцільним є використання технологічного резерву. Серед споживачів I категорії виділяють особливу групу, неперервна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю чи здоров'ю людей, можливості аварій, виходу з ладу дорогого основного обладнання. Для них повинно бути передбачене третє резервне джерело з автоматичним його увімкненням. - II категорія – споживачі, перерва в електропостачанні яких призводить до масового недовипуску продукції, масових простоїв робітників, механізмів і промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських чи сільських мешканців.

Вони мають житися від двох незалежних джерел, але допускається ручне увімкнення резервного джерела. Допускається живлення однією повітряною лінією, однією кабельною лінією, виконаною двома кабелями, від одного трансформатора за наявності централізованого складського резерву та можливості відновлення електропостачання протягом однієї доби. - III категорія – споживачі, які не підпадають під визначення споживачів I та II категорій.

Вони можуть житися від одного джерела, однак перерва в електропостачанні не повинна перевищувати однієї доби.

Апробація результатів: Матеріали магістерської роботи доповідались на конференціях та семінарах кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету протягом навчання.

1 Характеристика об'єкту проектування

1.1 Характеристика кліматичних умов і навантажень

Характеристика навантаження:

- споживач другої категорії
- приведені значення струму 160 А;
- напруга 10 кВ;
- час використання максимуму $T_{нб}=5000$ год;
- довжина лінії 1000 м;
- спосіб прокладки - одиночний кабель в траншеї;
- глибина прокладки 0.8 м.

Розрахункова температура ґрунту, °С:

- в літній сезон 15;
- в зимовий сезон 10.

Корозійність ґрунту середня.

Наявність блукаючих струмів.

Кабельна лінія приєднана до шин ТП-549 та підстанції „Західна – 110”

2 Електричні та теплові характеристики кабелів

2.1 Загальні рівняння електричних і теплових полів у кабелях

У загальному випадку при змінному струмі повинні розглядатися електромагнітні процеси в ізоляції кабелю. З основ теорії електротехніки відомо, що якщо довжина електромагнітної хвилі в ізоляції значно більше діаметра кабелю, то електричне і магнітне поле можна розглядати окремо. При цьому для потенціалу електричного поля в ізоляції U застосовне рівняння Пуассона:

$$\nabla^2 U + \frac{Q}{\varepsilon \varepsilon_0} = 0, \quad (2.1)$$

де Q – заряд одиниця об'єму ізоляції; $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м – діелектрична проникність вакууму; ∇^2 – оператор Лапласа; ε – відносна діелектрична проникність ізоляції.

При постійному навантаженні в кабелі має місце стаціонарне теплове поле; при цьому для температури в ізоляції T може бути записане рівняння

$$\nabla^2 T + \frac{q}{\lambda} = 0, \quad (2.2)$$

де q – виділення тепла в одиницю часу в одиниця об'єму ізоляції; λ – теплопровідність ізоляції.

При перемінному навантаженні необхідні розрахунки перехідних теплових процесів у кабелі, для яких справедливе рівняння

$$\nabla^2 T + \frac{q}{\lambda} = \frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (2.3)$$

де $a = \lambda / C \gamma$; C – теплоємність і γ – щільність діелектрика.

При розрахунку електричних і теплових полів а кабелі знаходять застосування в основному три зазначених рівняння, що справедливі при постійних значеннях ε , λ , C і γ .

Оператор Лапласа в циліндричних координатах, найбільш зручних при обчисленні електричних і теплових полів у кабелях, має наступний вид:

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}. \quad (2.4)$$

В окремому випадку, що має місце в одножильних кабелях, потенціал залежить тільки від відстані від центра кабелю.

У цьому випадку оператор Лапласа буде мати вид:

$$\nabla^2 U = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial U}{\partial r} \right). \quad (2.5)$$

Якщо в діелектрику не має об'ємних зарядів і не виділяється тепло, то для електричних і теплових полів будуть справедливі рівняння Лапласа:

$$\nabla^2 U = 0 \text{ и } \nabla^2 T = 0. \quad (2.6)$$

Як правило, температуру оболонки можна вважати постійної у всіх точках. У цьому випадку при заданих потенціалі чи температурі жили та оболонки отримаємо однакову картину електричних і теплових полів. Тому при тепловому розрахунку можна використовувати рішення, знайдені для електричного поля.

2.2 Електричне поле одножильних кабелів

Одножильні кабелі, а також кабелі з окремо освинцьованими або екранованими жилами мають електричне поле найбільш простої конфігурації, відповідним полем коаксіальних циліндрів. Відомо, що в цьому випадку максимальна напруженість електричного поля E_1 буде коло поверхні внутрішнього електрода, у даному випадку в гладкої струмопровідної жили, що має радіус r_1 (Рис. 2.1). Напруженість електричного поля в якій-небудь іншій точці радіуса x буде визначатися рівнянням

$$\frac{E_x}{E_1} = \frac{r_1}{x} \text{ або } E_x = E_1 \frac{r_1}{x}$$

А оскільки $E_x = \frac{dU}{dx}$ $dU = \frac{r_1}{x} dx$ або $U = \int_{r_1}^{r_2} E_1 r_1 \frac{dx}{x} = E_1 r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}$,

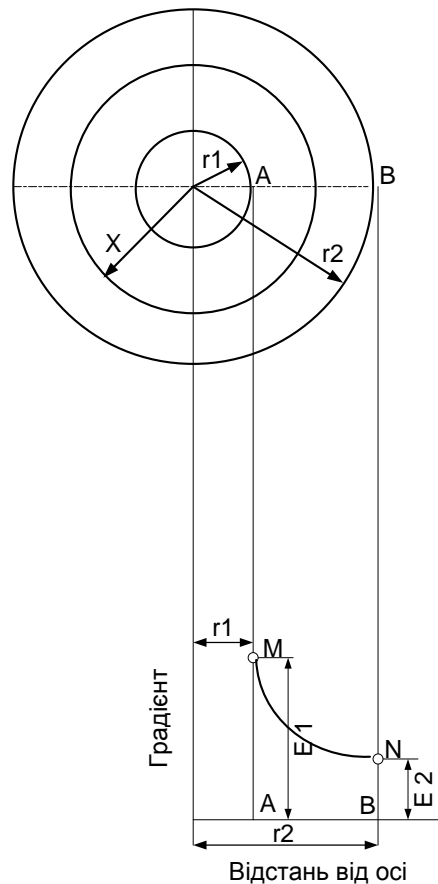


Рис. 2.1 Електричне поле одножильного кабеля

де U - напруга між жилою і зовнішньою оболонкою. Звідси найбільше значення напруженості електричного поля

$$E_1 = \frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad [\text{кВ/мм}]. \quad (2.7)$$

Неважко бачити, що напруженість електричного поля в якій-небудь точці x дорівнює:

$$E_x = \frac{U}{x \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.8)$$

Мінімальна напруженість електричного поля буде в зовнішній оболонки

$$E_2 = \frac{U}{r_2 \ln \frac{r_2}{r_1}} \quad (2.9)$$

Таким чином, напруженість електричного поля убуває в міру віддалення від струмопровідної жили по гіперболічній залежності.

Середня напруженість даного електричного поля E_{cp} дорівнює:

$$E_{cp} = \frac{U}{r_2 - r_1} = \frac{U}{d},$$

де d — товщина ізоляції.

Відношення середньої напруженості полючи до максимального називається коефіцієнтом використання ізоляції (η):

$$\eta = \frac{E_{cp}}{E_1} = \frac{\frac{U}{r_2 - r_1}}{\frac{U}{r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}}} = \frac{r_1}{r_2 - r_1} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (2.10)$$

Рівняння (2.7) може бути застосоване для розрахунку одножильних або екранованих силових кабелів, тому що при заданій максимально допустимій напруженості електричного поля в ізоляції E_1 і діаметрі жили, що струмопровідниковий, неважко визначити величину r_2 і товщину ізоляції

$r_2 - r_1$.

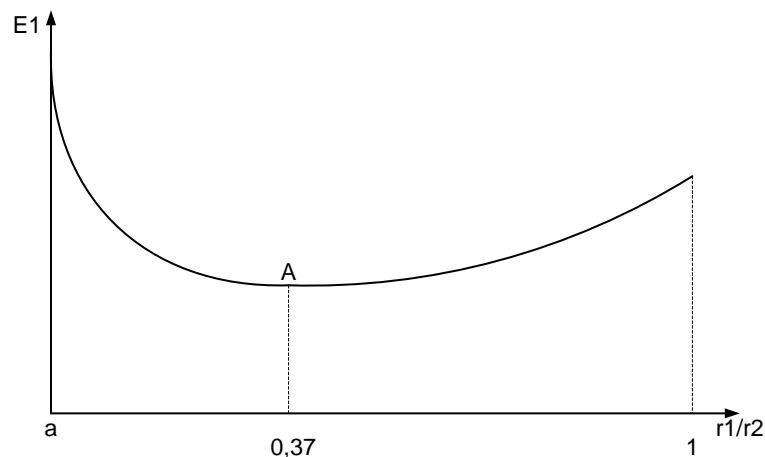


Рис. 2.2 Залежність величини максимальної напруженості від відношення діаметра жили до діаметру одножильного кабелю по ізоляції

Якщо прийняти зовнішній діаметр кабелю незмінним і розглядати залежність максимальної напруженості електричного поля на жилі від діаметра останньої, то одержимо криву, приведену на рис. 2.2

Значення відносини r_2/r_1 при якому E_1 є найменшим, може бути визначено, якщо прирівняти нулеві похідну по r_1 правої частини рівняння (2.7). Для спрощення ми будемо диференціювати тільки знаменник рівняння (2.7):

$$\frac{d}{dr_1} \left(r_1 \ln \frac{r_2}{r_1} \right) = \frac{d}{dr_1} (r_1 \ln r_2 - r_1 \ln r_1) = \ln r_2 - \ln r_1 - 1 = 0,$$

звідки

$$\ln \frac{r_2}{r_1} = 1 \quad \text{або} \quad \frac{r_2}{r_1} = e \quad (2.11)$$

Таким чином, найменше значення напруженості полючі на поверхні внутрішнього електрода буде відповідати відношенню r_2/r_1 рівній підставі натуральних логарифмів $e=2,72$ (зворотна величина $r_2/r_1=0,37$ точка А, рис 2.2).

При дотриманні умови (2.11) коефіцієнт використання ізоляції циліндричного конденсатора $\eta = \frac{0.37}{1-0.37} = 0.58,$

тобто лише деяким більше половини.

Таким чином, для одержання найменшої витрати ізоляційних матеріалів при виготовленні кабелю з заданою найбільшою напруженістю електричного поля варто вибирати товщину ізоляції так, щоб приблизно задовольнялася умова (2.11).

2.3 Градування ізоляції

Підвищення коефіцієнта використання ізоляції в одножильних і екранованих кабелів при роботі кабелю на перемінному струмі можливо за допомогою градування ізоляції, тобто застосуванням ізоляційних матеріалів з різною величиною діелектричної проникності.

Якщо взяти найпростіший випадок багат шарових діелектриків — двошаровий плоский конденсатор з товщиною діелектриків h_1 і h_2 і їх діелектричними проникливістю ε_1 і ε_2 (рис.2.3), то напруженість електричного поля в обох шарах буде:

$$E_1 = \frac{U}{h_1 + h_2 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} = \frac{U \cdot \varepsilon_2}{h_1 \varepsilon_2 + h_2 \varepsilon_1}$$

і

$$E_2 = \frac{U}{h_2 + h_1 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}} = \frac{U \cdot \varepsilon_1}{h_2 \varepsilon_1 + h_1 \varepsilon_2}$$

Впливає, враховувати, що у випадку плоского шаруватого конденсатора порядок, у якому розташовуються шари з різними діелектриками, не позначається на величинах напруженості електричного поля; у циліндричному конденсаторі, навпаки, ця обставина має велике значення.

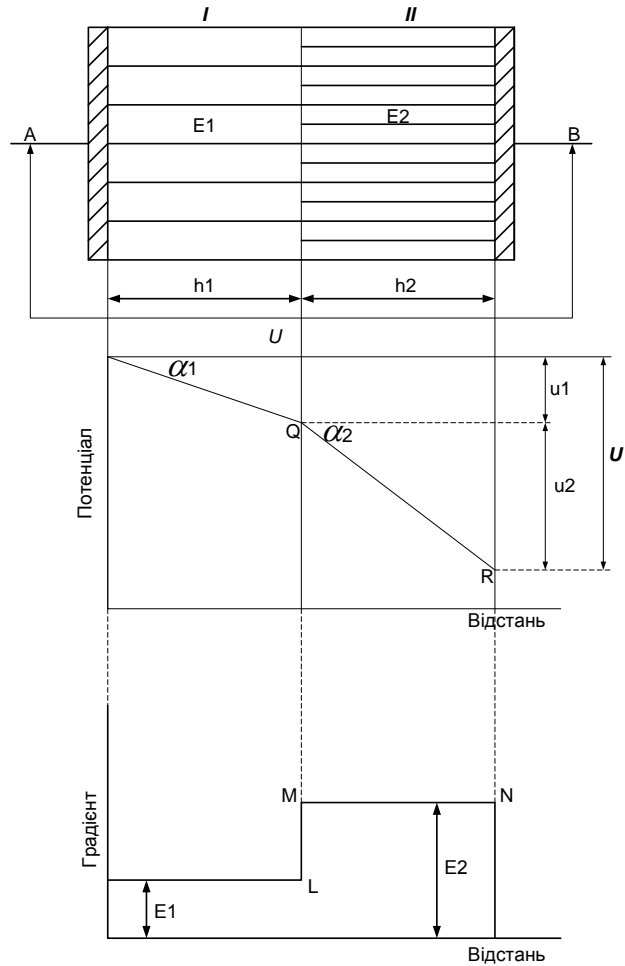


Рис. 2.3 Електричне поле плоского двошарового конденсатора

Розглянемо одножильний кабель, ізоляція якого складається з ряду ; концентричних шарів з діелектричними проникливістю $\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_n$. Ми маємо ряд циліндричних конденсаторів, включених послідовно, причому різниця потенціалів на кожному з них повинна бути обрано пропорційна їхній ємності, тобто

$$\frac{U_1 - U_2}{\frac{1}{\epsilon_1}} = \frac{U_2 - U_3}{\frac{1}{\epsilon_2}} = \dots = \frac{U_n - U_{n+1}}{\frac{1}{\epsilon_n}} = const$$

або

$$\frac{U_1 - U_2}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1}} = \frac{U_2 - U_3}{\frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2}} = \dots = \frac{U}{\frac{1}{\epsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\epsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\epsilon_n} \ln \frac{R}{r_n}} \quad (2.12)$$

Напруженість електричного поля в якому-небудь шарі на відстані x від центра жили

$$E_x = \frac{U_x - U_{x+1}}{x \ln \frac{r_{x+1}}{r_x}} = \frac{U}{x \varepsilon_x \left(\frac{1}{\varepsilon_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\varepsilon_n} \ln \frac{R}{r_n} \right)}. \quad (2.13)$$

Найкраще використання ізоляції буде в тому випадку, коли максимальна напруженість полючи у всіх шарах буде дорівнює. З рівняння (2.13) неважко бачити, що цій умові задовольняє рівняння

$$\varepsilon_1 r_1 = \varepsilon_2 r_2 = \dots = \varepsilon_n r_n. \quad (2.14)$$

2.4 Електричне поле в трьохжильному кабелі з поясною ізоляцією

Розподіл силових ліній електричного поля в трьохжильних кабелях із круглими жилами і з поясною ізоляцією має складний вигляд (рис. 2.4). Для трьохжильних кабелів із секторними жилами картина розподілу силових ліній ще більш ускладнюється й у цьому випадку розрахункові формули базуються тільки на експериментальних даних.

Умови, при яких кабель із круглими жилами буде мати мінімальні габарити при деякій визначеній величині E_{\max} в ізоляції кабелю, дані в загальному виді проф. В. Ю. Ломоносовим.

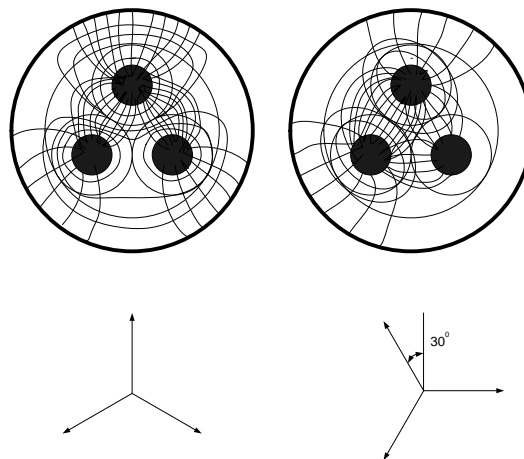


Рис. 2.4 Електричне поле в трьохжильному кабелі з поясною ізоляцією (для двох моментів часу).

При рішенні цієї задачі автор приймає:

$$x = \frac{r_1}{s} \quad ; \quad y = \frac{s}{R},$$

де

r_1 - радіус струмопровідної жили;

R - радіус кабелю під свинцевою оболонкою;

s - відстань між віссю кабелю і центрами жил, що струмопровідні, (рис. 2.5).

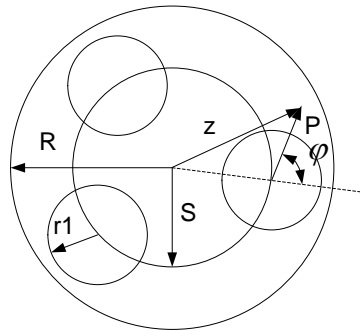


Рис. 2.5 Трижильний кабель з поясною ізоляцією.

Оптимальна конструкція кабелю буде при:

$$x = 0,333 \quad ; \quad y = 0,532.$$

В цьому разі максимальна напруженість в ізоляції кабелю (2.15):

де U_ϕ - фазова напруга.

$$E_{\max} = 5,16 \frac{U_\phi}{R} \quad (2.15)$$

Однак (2.15) з деяким наближенням застосовно тільки для 10 кВ кабелів малих перетинів, що у нас виробляється з круглими жилами (докладніше див. стор. 444) .1 Для великих перетинів ця формула незастосовна, тому що в таких кабелів x и y не будуть відповідати приведеним вище величинам. Нижче буде показано, що такі кабелі! виготовляються в нас тільки із секторними жилами.

У результаті дослідження за допомогою зонда електrolітичних моделей трьохжильних кабелів із круглими жилами було запропоновано також наступне рівняння для визначення максимальної напруженості ізоляції такого кабелю.

$$E_{\text{макс}} = \frac{0,434U}{\sqrt{3}r_1 \lg \frac{2(r_1 + d)}{\sqrt{3}r_1}}, \quad (2.16)$$

де U - лінійна напруга;

r_1 - радіус струмопровідної жили;

d - товщина жильної ізоляції.

Рівняння (2.16) з відомої точністю може бути використане для і підрахунку максимальної напруженості електричного поля і при секторній формі струмопровідні жили. У цьому випадку r_1 — радіус еквівалентної кола жили по перетині.

Вплив багатодротових жил. До цих пір ми розглядали кабелі з зовсім гладкою поверхнею жив. Фактично ж більшість кабелів має жили, складені з окремих дротів малого (порівняно з загальним перетином усієї жили) перетину. Найбільша напруженість полючі такого кабелю буде дещо більше величин, що обчислюються по приведених формулах.

Розрахунок напруженості електричного поля на поверхні звичайної неущільненої жили з обліком «багатодротових» для одножильного кабелю може бути приблизно зроблений по формулі Дейча:

$$E = U \frac{\lambda}{r_1 \left(\ln \frac{\lambda}{n} + n \ln \frac{R}{r_1} \right)} \quad [\text{кВ/мм}], \quad (2.17)$$

де n - кількість дротів в верхнім повиві жил;

r_1 - радіус струмопровідної жили, мм;

R - внутрішній радіус свинцевої оболонки, мм;

$$\lambda = \frac{1 + n \sin \frac{\pi}{n}}{\sin \frac{\pi}{n}}.$$

Якщо величина n не менш 12, приведена вище формула може бути замінена більш простою наближеною формулою

$$E = U \frac{0,572 \cdot n}{r_1 \left(0,119 + n \lg \frac{R}{r_1}\right)}$$

Збільшення напруженості на поверхні неущільненої жили внаслідок її багатодотовим може доходити до 20—30%.

2.5 Ємність електричних кабелів

Ємність одножильних кабелів або кабелів з екранованими жилами може бути підрахована так само, як для Циліндричних конденсаторів.

Циліндричні поверхні якого-небудь радіуса усередині ізоляції кабелю, осі яких збігаються з віссю кабелю, будуть представляти рівнопотенційні поверхні. Визначимо напруженість електричного поля в якій-небудь крапці такої поверхні радіуса r (рис. 2.6).

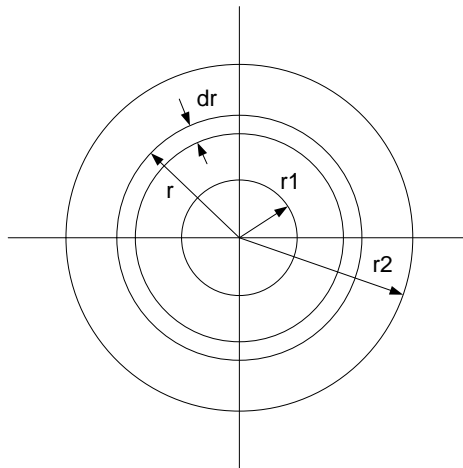


Рис. 2.6 Визначення ємності одножильного кабелю

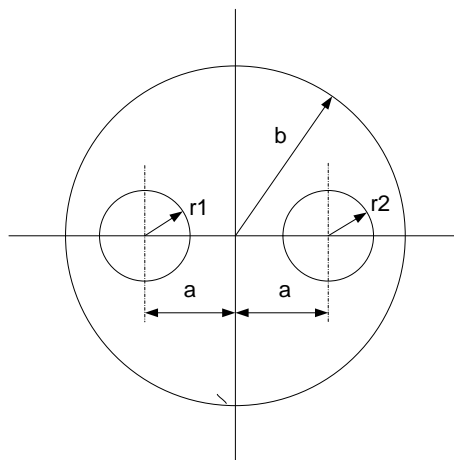


Рис. 2.7 Схема двохжильного кабелю

Потік вектора напруженості поля

$$N = ES = E_r 2\pi r l. \quad (2.18)$$

По теоремі Остроградского — Гаусса

$$E_r 2\pi r l = \frac{Q}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0},$$

звідки

$$E_r = \frac{Q}{2\pi r l \varepsilon \varepsilon_0}. \quad (2.19)$$

Напруга між струмопровідною жилою і верхньою металевною оболонкою

$$U = \int_{r_1}^{r_2} E_r dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{2\pi r l \varepsilon \varepsilon_0} dr = \frac{Q}{2\pi r l \varepsilon \varepsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\pi r l \varepsilon \varepsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad (2.20)$$

звідси ємність одножильного кабелю

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\pi r l \varepsilon \varepsilon_0}{\ln \frac{r_2}{r_1}}. \quad (2.21)$$

Якщо зробити перерахування ємності в мікрофарадах на кілометр довжини кабелю, одержуємо:

$$C_0 = \frac{0,024\varepsilon}{\lg \frac{r_2}{r_1}} \quad [\text{мкФ/км}]. \quad (2.22)$$

У приведених рівняннях: ε — відносна діелектрична проникність ізоляції і $\varepsilon_0 = 8,86 \cdot 10^{-14} \text{ ф\} \backslash \text{див}$.

Для двох рівнобіжних проводів, оточених заземленою провідною оболонкою (рис.2.7), питома робоча ємність виразиться формулою

$$C_0 = \frac{0,012\varepsilon}{\lg\left(\frac{2a}{r_1} \cdot \frac{b^2 - a^2}{b^2 + a^2}\right)} \quad [\text{мкФ/км}] \quad (2.23)$$

у тому випадку, якщо обое проводу мають рівні по величині, але протилежні за знаком потенціали. Якщо ж обое проводи знаходяться під

тим самим потенціалом, формула для розрахунку питомої ємності здобуває вид:

$$C_0 = \frac{0,012\varepsilon}{\lg \frac{b^4 - a^4}{2a^3 r_1}} \text{ [мкФ/км]}. \quad (2.24)$$

Питома робоча ємність фази трьохжильного кабелю (рис.2.8), по якому проходить трифазний струм,

$$C_0 = \frac{0,048\varepsilon}{\lg \frac{3a}{r_1^2} \cdot \frac{(b^2 - a^2)^3}{b^6 - a^6}} \text{ [мкФ/км]} \quad (2.25)$$

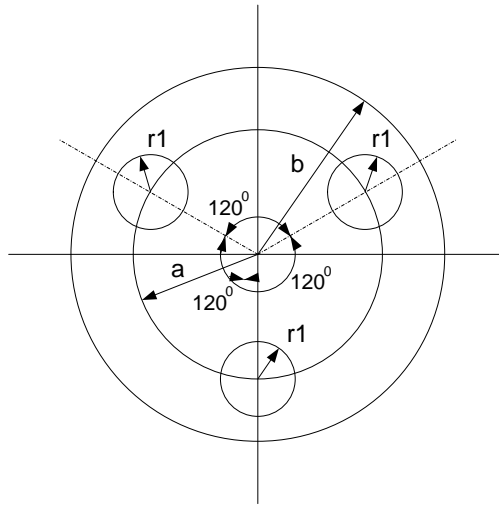


Рис.2.8 Схема трьохжильного кабелю

Якщо ж (зберігаємо позначення рис. 2.8) усі три жили знаходяться під однаковим потенціалом (наприклад, при іспиті кабелю однофазним перемінним струмом), те питома ємність

$$C_0 = \frac{0,024\varepsilon}{\lg \frac{b^6 - a^6}{3a^5 r_1}} \text{ [мкФ/км]} \quad (2.26)$$

Для практично застосовуваних конструкцій трифазних кабелів із секторними жилами з відомим наближенням можна користуватися формулами (2.25) і (2.26), замінюючи жили круглими, але з перетином, збільшеним на 50%, при тій же товщині ізоляції.

Висновок рівнянь (2.23) - (2.26) зроблений за допомогою методу дзеркальних відображень Кельвіна, у якому вплив металевої циліндричної оболонки навколо нескінченно довгих і тонких проводів, заряджених деякою кількістю електрики Q , замінено фіктивними проводами, зарядженими такою ж кількістю електрики, але зі зворотним знаком, за умови, що $bd = R^2$ (рис. 2.9).

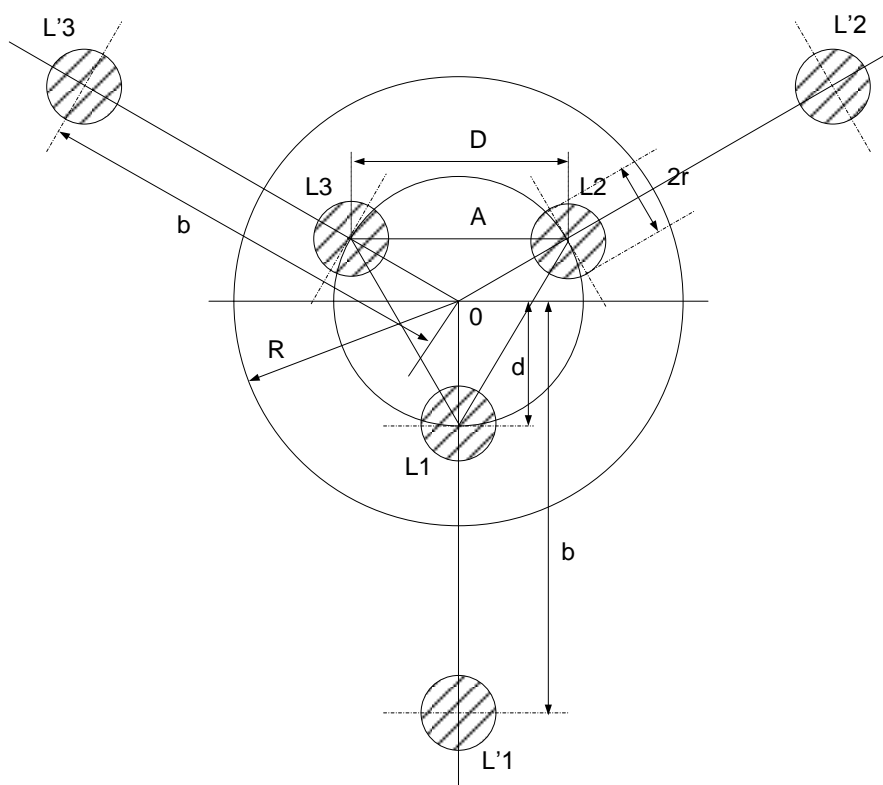


Рис. 2.9. Застосування методу дзеркального відображення.

Діелектрична проникність ε для кабельного папера, просоченої грузлим олі-каніфольним складом, у середньому може бути прийнята рівної 3,5.

Для безпосереднього виміру ємності кабелів, у тому числі трьохжильних, звичайно користуються напругою постійного струму. При цьому важливо врахувати співвідношення між так називаними частковими ємнісними трьохжильного кабелю і його робочою ємністю, що відповідає формулі (2.25). Позначимо (рис. 2.10):

C_1 -ємність однієї жили (наприклад, жили 1) проти

з'єднаних разом двох інших жил (2 і 3) і оболонки (0);

C_{II} -ємність двох жив (1 і 2) проти з'єднаних разом третьої жили (3) і оболонки (0);

C_{III} -ємність усіх трьох з'єднаних між собою

жил (1, 2 і 3) проти оболонки (0); C_{10} -часткова ємність між жилою 1 і

оболонкою; C_{20} -часткова ємність між двома жилами (1 і 2)

і т. Д.

Внаслідок симетрії $C_{10} = C_{20} = C_{30}$, $C_{12} = C_{23} = C_{13}$, і тому будемо мати:

$$C_1 = C_{10} + C_{12} + C_{13} = C_{10} + 2C_{12}; \quad (2.27)$$

$$C_{II} = C_{10} + C_{20} + C_{23} + C_{13} = 2(C_{10} + C_{12}); \quad (2.28)$$

$$C_{III} = C_{10} + C_{20} + C_{30} = 3C_{10}. \quad (2.29)$$

Робоча ємність C_0 , що відповідає формулі (2.25), при трифазному

$$Q_1 = u_1 C_{10} + (u_1 - u_2) C_{12} + (u_1 - u_3) C_{13}, \quad (2.30)$$

струмінайдеться на підставі наступних розумінь: заряд жили 1 складає:

де u_1, u_2, u_3 -миттєві значення потенціалів жив 1, 2 і 3.

Оскільки при трифазному струмі в будь-який момент часу

$$u_1 + u_2 + u_3 = 0, \text{ а } C_{12} = C_{13}, \text{ то}$$

$$Q_1 = u_1 C_{10} + (2u_1 - u_2 - u_3) C_{12} = u_1 (C_{10} + 3C_{12})$$

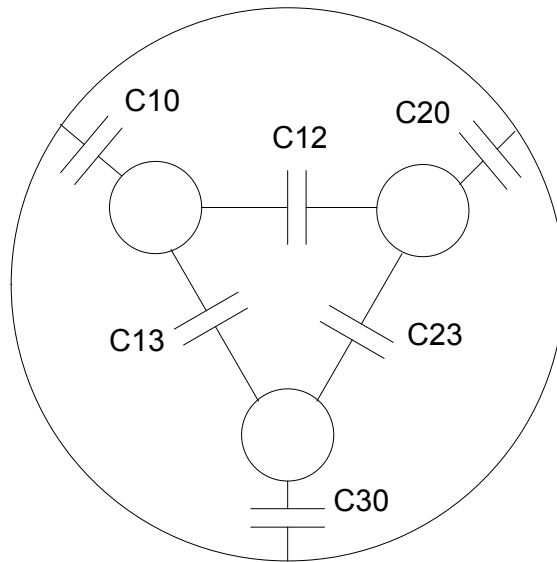


Рис. 2.10. Схема часткових ємностей трьохжильного кабелю(при висновку в дужках при C_{12} додамо і віднімемо u_1 , отчого рівність не порушиться, і відкинемо що віднімаються члени $u_1 + u_2 + u_3$ складаючіє в сумі нуль). Ділимо отримане рівняння почленно на u_1 і, звертаючи увагу на те, що

частка $\frac{Q_1}{u_1}$ є робоча ємність кабелю C_0 маємо:

Тому що безпосередньо величини C_{10} і C_{12} вимірити неможливо, звичайно вимірюють C_I і C_{III} (або C_I і C_{II}), після чого вже не представляє праці підрахувати по формулам (2.22) - (2.25) C_{10}, C_{12} і, нарешті, C_0 . На практиці нерідко обмежуються виміром тільки однієї ємності C_I . В цьому випадку для трьохжильних кабелів середніх перетинів на середні робочі напруги можна приблизно вважати:

для кабелів із круглими жилами

$$C_{III} = 1,6 C_I,$$

для кабелів із секторними жилами

$$C_{III} = 1,8 C_I,$$

для кабелів із круглими жилами

$$C_0 = 1,23 C_I,$$

і секторними

$$C_0 = 1,2C_1.$$

2.6 Самоіндукція силових електричних кабелів

Якщо взяти шлейф із прямого і зворотного проводів (кабелю) (рис. 2.11), що не мають оболонки з магнітних матеріалів (сталеві броні), то коефіцієнт самоіндукції для такого шлейфа визначається рівнянням

$$L = (0,2 + 0,9211g \frac{D}{r_1}) 10^{-3} \quad [\text{Гн/км}]. \quad (2.31)$$

Для одиночного проводу коефіцієнт самоіндукції буде в 2 рази менше:

$$L = (0,1 + 0,4611g \frac{D}{r_1}) 10^{-3} \quad [\text{Гн/км}]. \quad (2.32)$$

При великих перетинах струмопровідних жил, а також при високих частотах буде мати місце ущільнення струму в периферії жили, завдяки чому напруга магнітного поля усередині струмопровідної жили значно зменшиться. Якщо весь струм буде протікати по периферії жили, то в цьому випадку коефіцієнт самоіндукції одиночного проводу

$$L = 0,4611g \frac{D}{r_1} 10^{-3} \quad [\text{Гн/км}]. \quad (2.33)$$

На практиці для визначення коефіцієнта самоіндукції одиночного проводу застосовують рівняння:

$$L = (0,05 + 0,4611g \frac{D}{r_1}) 10^{-3} \quad [\text{Гн/км}]. \quad (2.34)$$

Це ж рівняння характеризує коефіцієнт самоіндукції однієї жили трьохжильного кабелю з круглими жилами (рис. 2.8) Якщо ж ми маємо три одножильних проводи (рис. 2.12), покладених в одній площині, то при передачі трифазного струму коефіцієнт самоіндукції середнього проводу також буде визначатися рівнянням (2.34). Коефіцієнт самоіндукції для проводу з (i відповідно для проводу а) визначається рівнянням

$$L = [0,4611 \lg \frac{D}{r_1} + 0,5 + 4,6 \frac{i_a}{i_c} \lg 0,5] 10^{-3} \quad [\text{ГН/км}]. \quad (2.35)$$

Таким чином, коефіцієнт самоіндукції крайніх проводів є змінною величиною й у кожен момент залежить від відношення величин струмів у цих проводах i_a і i_c .

Формули (2.34) і (2.35) справедливі тільки для тих випадків, коли поблизу проводів немає феромагнітних матеріалів, тобто для повітряних проводів або для кабелів, не постачених феромагнітною бронєю. Якщо ж кабелі мають сталеву броню, магнітне поле струму підсилюється й індуктивність відповідно зростає. Так, для двох паралельно прокладених одножильних кабелів з феромагнітною оболонкою (бронєю) згідно рис. 2.13 будемо мати:

$$\begin{aligned} L &= 0,2 \left(\ln \frac{D}{r_1} + \mu \ln \frac{R_2}{R_1} \right) + 0,05 = \\ &= 0,46 \left(\lg \frac{D}{r_1} + \mu \lg \frac{R_2}{R_1} \right) + 0,05 \quad [\text{МГН/км}]. \quad (2.36) \end{aligned}$$

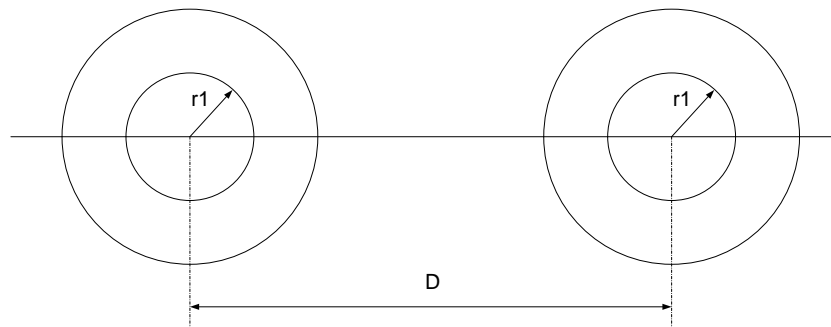


Рис. 2.11. Схема з двох одножильних кабелів.

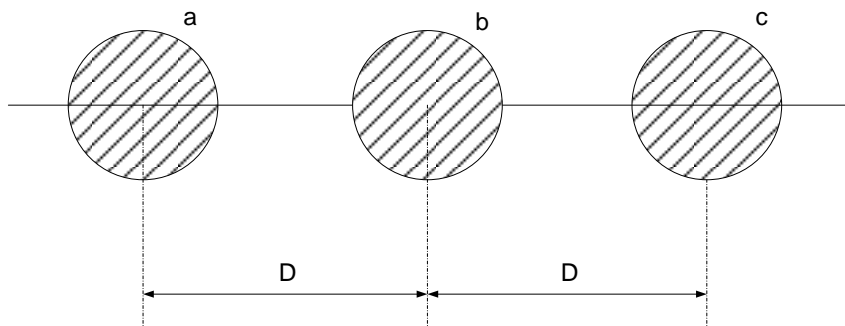


Рис. 2.12. Схема розташування одножильних кабелів в одній площині

таким чином, член $\mu l g \frac{R_2}{R_1}$ усередині дужок, що відсутній у формулі (2.34), являє собою збільшення індуктивності за рахунок впливу феромагнітних оболонок.

Слід зазначити, що в трьохжильному кабелі в кожен момент часу сума величин струму в трьох жилах дорівнює нулеві.

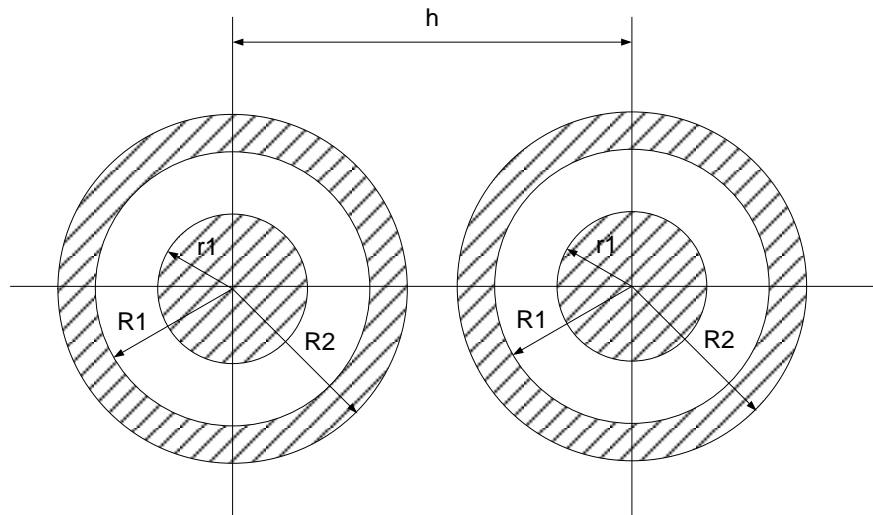


Рис. 2.13. Схема з двох одножильних броньованих кабелів.

h — відстань між осями жил; r_1 — радіус жили; R_1 — внутрішній радіус феромагнітної оболонки; R_2 — зовнішній радіус феромагнітної оболонки.

Механічний вплив магнітного поля на рівнобіжні проводи полягає в тому, що проводи, що несуть струм одного напрямку, притягаються друг до друга, а проводи, у яких струм має протилежний напрямок, відштовхуються друг від друга. Сила взаємодії між двома рівнобіжними проводами довжиною l [м] при відстані між їхніми осями h [див], по яких проходять струми I_1, I_2 [а] визначається за формулою:

$$F = 2 \cdot 10^{-6} I_1 \cdot I_2 \frac{l}{h}. \quad (2.37)$$

Очевидно, що в кабелі, по якому тече перемінний струм, механічні зусилля, що діють на жили, будуть також змінюватися в часі.

Механічні зусилля, що спостерігаються при нормальних режимах роботи силових кабелів і обумовлені шляхом розрахунку по (2.37), практично не викликають побоювань за міцність ізоляції; більш небезпечними можуть бути лише механічні зусилля при коротких замиканнях, коли величина струму значно перевищує нормальну.

2.7 Опір ізоляції кабелів

Опір ізоляції відноситься до числа тих характеристик якості силових кабелів, що нормуються ДСТ 340-53. Крім розмірів кабелю і якості застосовуваних ізоляційних матеріалів, на величину опору ізоляції істотний вплив робить процес сушіння і просочення. Недостатнє сушіння звичайно приводить до зниження опору ізоляції і, навпаки, недостатнє просочення папера приводить до підвищення опору ізоляції. Деякий вплив на результати вимірів опору ізоляції роблять величина іспитової напруги й абсорбційні заряди в ізоляції кабелю, якщо перед цим до кабелю була прикладена напруга постійного струму. Остання обставина використовується також причиною значної зміни результатів вимірів опору ізоляції в залежності від часу додатка напруги постійного струму (див. стор. 417).

Нарешті, опір ізоляції сильно змінюється в залежності від температури. Температурний хід опору ізоляції залежить від якості застосовуваних матеріалів.

Опір ізоляції шаруючи однорідного діелектрика між двома співвісними циліндрами може бути визначено способом, подібним з тим, що раніше застосовувався для визначення ємності одножильних кабелів.

$$\Delta R_{uz} = \rho \frac{\Delta x}{2\pi x l}.$$

Повний опір між струмопровідною жилою і металевією оболонкою (рис. 2.6) утвориться з послідовно з'єднаних опорів окремих шарів.

$$R_{uz} = \frac{1,15\rho}{\pi l} \lg \frac{r_2}{r_1}.$$

$$R_{uz} = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\rho}{2\pi l} \frac{dx}{x} = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.38)$$

Тут через l позначена довжина кабелю. Величина R виходить в омах, якщо ρ виражено в омсантиметрах, l у сантиметрах, а r_1 і r_2 довільних, але однакових одиницях довжини.

Опір ізоляції одиниці довжини кабелю буде дорівнює:

$$r_{uz} = \frac{1,15}{\pi} \lg \frac{r_2}{r_1} [\text{ом} \cdot \text{см}] = \frac{1,15}{\pi} \lg \frac{r_2}{r_1} 10^{-11} [\text{мгОм} \cdot \text{км}]. \quad (2.39)$$

Опір ізоляції багатожильних кабелів залежить у першу чергу від розмірів кабелю і схеми приєднань при вимірі. У трьохжильних кабелів опір ізоляції виміряється при включенні однієї жили проти двох інших, з'єднаних зі свинцевою або алюмінієвою оболонкою.

У цьому випадку опір ізоляції одиниці довжини кабелю :

$$r_{uz} = \frac{\rho}{2\pi} G, \quad (2.40)$$

де G — геометричний фактор, визначення якого здійснюється за допомогою тих же співвідношень, що виведені при визначенні ємності трьохжильних кабелів.

Так, для трьохжильних кабелів із круглими жилами для зазначеної вище схеми з'єднання

$$G = \frac{1}{1,23} \ln \left[\frac{3a^2}{r_1^2} \cdot \frac{(b^2 - a^2)^3}{b^6 - a^6} \right] = 1,87 \lg \left[\frac{3a^2}{r_1^2} \cdot \frac{(b^2 - a^2)^3}{b^6 - a^6} \right] \quad (2.41)$$

і для кабелів з секторними жилами

$$G = \frac{0,85}{1,20} \ln \left[\frac{3a^2}{r_1^2} \cdot \frac{(b^2 - a^2)^3}{b^6 - a^6} \right] = 1,63 \lg \left[\frac{3a^2}{r_1^2} \cdot \frac{(b^2 - a^2)^3}{b^6 - a^6} \right]. \quad (2.42)$$

В останніх рівняннях позначення r_1 , a і b відповідають рис. 2.8.

Величина опору ізоляції певною мірою характеризує якість ізоляції силових кабелів.

Великий розкид у величині опору ізоляції однакових кабелів або в ізольованих жил того самого кабелю свідчить про неоднорідність технологічного процесу виготовлення кабелю.

Разом з тим опір ізоляції не може належною мірою характеризувати якість ізоляції силових кабелів. Більш важливими в цьому відношенні є діелектричні втрати й електрична міцність ізоляції, до характеристики яких ми і переходимо.

2.8 Теплове поле в електричному кабелі

Тепло, що виділяється в кабелі під час експлуатації відводиться в навколишнє середовище. Саме тому в кабелі створюється теплове поле, вивчення якого необхідне, бо нагрів кабелю є головною причиною, що обмежує допустимий струм кабелю. Підвищення температури в кабелі за допустимі межі приводить до прискореного теплового старіння ізоляції. Основна кількість тепла в кабелі виділяється в струмопровідних жилах. Крім того, в кабелях змінного струму виникають втрати в металевих покриттях – в свинцевих або алюмінієвих оболонках і в броні. В кабелях високої напруги приходиться враховувати також тепло від діелектричних втрат.

Тепло Q , що виділяється в одній жилі за час τ , знаходиться за формулою:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot \tau \quad (2.43)$$

Очевидно, що для багатожильних кабелів з рівномірним навантаженням окремих жил загальну кількість виділеного тепла можна визначити, помноживши величину Q на число жил. Рівняння (2.43) справедливе для постійного струму; при змінному струмові опір збільшується внаслідок поверхневого ефекту (поверхневе ущільнення струму). Явище поверхневого ефекту проявляється тим більше, чим вища частота змінного струму і чим більший переріз проводу. У мідних струмоведучих жилах при 50 Гц поверхневий ефект проявляється при дуже великих перерізах. В табл. 1.1

показано вплив поверхневого ефекту для суцільних круглих проводів в залежності від величини fd^2 (відповідно частота і діаметр проводу).

Таблиця 2.1

fd^2	$\frac{R_{nep}}{R_{ном}}$	fd^2	$\frac{R_{nep}}{R_{ном}}$
100	1,01	1200	1,68
170	1,03	2200	2,22
300	1,08	17000	5,57
470	1,17	30000	7,33

В алюмінієвих проводах вплив поверхневого ефекту при однакових перерізах приблизно в 3 рази менший, чим в мідних проводах. Крім поверхневого ефекту, на збільшення опору жил кабелів створює вплив ефект близькості, який закладається в нерівномірному розподілі густини струму в різних ділянках перерізу струмоведучих жил під дією магнітного поля сусідніх жил. В трижильних кабелях ефект близькості орієнтовано складає 30% від поверхневого ефекту.

Опір струмоведучих жил з підвищенням температури збільшується. Якщо для якої небудь температури ϑ опір жили, то опір для іншої температури θ з достатньою точністю для практичних цілей можна виразити рівнянням

$$R_{\theta} = R_{\vartheta}(1 + TKR(\theta - \vartheta)) \quad (2.44)$$

де температурний коефіцієнт опору жили

$$TKR = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{d\vartheta}$$

Графічно (2.44) представлено на рис. 2.14. Необхідно звернути увагу на те, що значення TKR залежить від вибору вихідної температури ϑ . Причому, наприклад, в одному випадку за вихідну температуру ϑ_1 і в іншому випадку ϑ_2 , і якщо $\vartheta_1 < \vartheta_2$, то,

$$TKR_{\vartheta_1} = \frac{1}{R_{\vartheta_1}} \cdot \frac{dR}{d\vartheta} \geq TKR_{\vartheta_2} = \frac{1}{R_{\vartheta_2}} \cdot \frac{dR}{d\vartheta}$$

$$\frac{dR}{d\vartheta} = const, \text{ а } \frac{1}{R_{\vartheta_1}} \geq \frac{1}{R_{\vartheta_2}}$$

Так, для міді при $\vartheta = 0, 20, 25$ °C TKR відповідно рівні 0,00427, 0,00395 і 0,00385.

Джерела втрат в металевих захисних оболонках розглянуті особливо.

Рівняння теплопровідності має вигляд:

$$\vartheta_2 - \vartheta_1 = Q \sum S \quad (1.40)$$

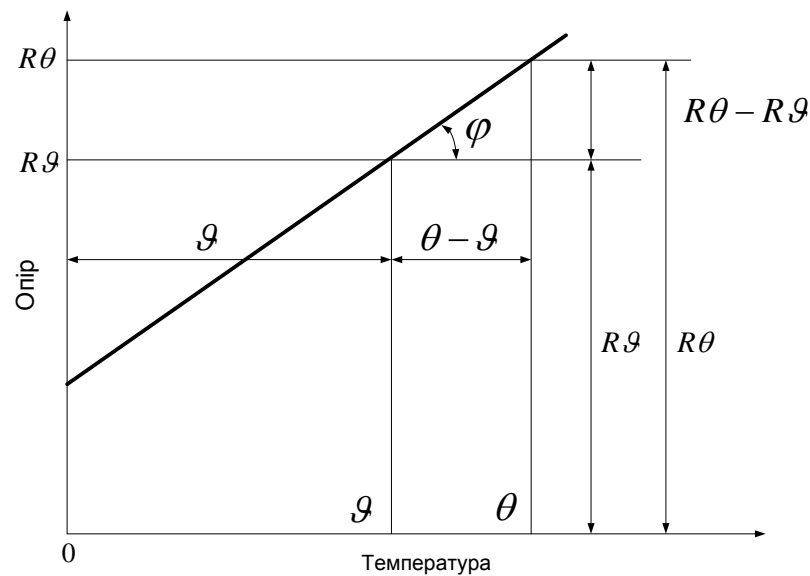


Рис. 2.14 Залежність опору жили R від температури

Неважко побачити, що воно аналогічне закону Ома; різниця температур $\vartheta_1 - \vartheta_2$ поверхонь А і В відповідає різниці потенціалів, кількість тепла Q – величині струму і $\sum S$ - тепловий опір кабеля і навколишнього середовища – електричному опору струму. Тому (2.45) часто називають тепловим законом Ома.

Якщо задатися допустимою величиною перегріву кабеля відносно навколишнього середовища $\vartheta_2 - \vartheta_1$ і враховувати тільки тепло, що виділяється в струмоведучих жилах, що буде мати місце в кабелях постійного струму і в низьковольтних кабелях змінного струму, то з (2.43)-(2.45) не важко отримати величину допустимого струму:

$$I = \sqrt{\frac{\vartheta_2 - \vartheta_1}{nR_{\vartheta_2} \sum S}} \quad (2.45)$$

В цьому рівнянні n – число жил і $\sum S$ - сумарний тепловий опір ізоляції кабеля і навколишнього середовища.

Нагадаємо, що опір в 1 тепловий Ом. має таке тепло, яке при різниці температур на протилежних поверхнях в 1°С пропускає через себе тепловий потік потужністю 1 Вт.

Тепловий опір тіла залежить від його розмірів, форми і питомого теплового опору, який подібно електричному вимірюється в омосантиметрах. Орієнтовочні значення питомого теплового опору різних матеріалів приведені в таблиці 2.2.

Питомий тепловий опір матеріалів дуже малий, тому тепловий опір свинцевих і алюмінієвих оболонки і броні кабелів в розрахунках нехтують. Найбільше значення питомого теплового опору дають пористі матеріали з повітряними включеннями. При просоченні і зволоженні пористих матеріалів, а також при їх ущільненні зовнішнім тиском теплопровідність пористих матеріалів збільшується. Наприклад, теплопровідність просоченої паперової ізоляції набагато більша ніж непросоченого паперу.

Таблиця 1.2

Матеріал	Пит. опір, тепл. ом. см.	Матеріал	Пит. опір, тепл. ом. см.
Мідь	0,27	Папір просочений	550
Алюміній	0,5	Папір сухий	1000
Цинк	0,9	Кабельна пряжа	750
Свинець	3	Хлопчатопаперова пряжа пропитана	750
Кварц	15	Вулканізована резина	650
Грунт	120		
Асфальт	150		
Цегельна кладка	160		
Вода	170		
Асбест	600		

Якщо враховувати тепло від діелектричних втрат, то в трижильних кабелях з екранованими або освинцьованими жилами воно може бути визначено за допомогою рівняння

$$Q_{из} = 3\omega C U_{\phi}^2 \operatorname{tg} \delta \cdot 10^{-11} \text{ (Вт/см)}, \quad (2.46)$$

де C – ємність однієї жили;

U_ϕ - фазна напруга.

Так як діелектричні втрати виділяються по всій товщині ізоляції, то повний тепловий потік пронизує лише зовнішні шари ізоляції, і якщо віднести ці втрати до поверхні жил, вплив їх на нагрів приблизно може бути враховано коефіцієнтом 0,5. Таким чином, тепло, що виділяється в струмоведучих жилах і в ізоляції може бути представлено рівнянням:

$$Q_{ж+із} = nI^2 R_{g2} + 0.5Q_{із} \quad (2.47)$$

В цьому випадку величина допустимого струму:

$$I = \sqrt{\frac{g_2 - g_1}{nR_{g2} \sum S} - \frac{Q_{із}}{2nR_{g2}}} \quad (2.48)$$

В однофазних кабелях змінного струму необхідно також врахувати виділення тепла в захисних металевих оболонках кабеля. Це тепло не буде пронизувати внутрішню частину кабеля, і тому, використовуючи принцип теплових полів, в цьому випадку можна написати рівняння:

$$g_2 - g_1 = Q_{ж+із}(S_{із} + S_1 + S_2 + S_3) + Q_{св}(S_1 + S_2 + S_3) + Q_{бр}(S_2 + S_3) \quad (2.49)$$

$Q_{ж+із}$, $Q_{св}$, $Q_{бр}$ - тепло, що виділяється в струмоведучих жилах і в ізоляції, в свинцевих оболонках і броні.

$S_{із}, S_1, S_2, S_3$ - відповідно теплові опори ізоляції, першого і другого джутового покриття і землі. Нижче показано, що величини $Q_{св}$ і $Q_{бр}$ виражаються як функції від величини струму в жилах і, таким чином можуть бути отримані рівнянням, аналогічним (2.43) і (2.49).

2.9 Тепловий опір елементів кабелю

Тепловий опір циліндричного шару ізоляції, а також захисних покривів визначається аналогічно опорів ізоляції по рівню:

$$S_{із} = \frac{k}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{1.15 \cdot k}{\pi \cdot l} \cdot \lg \frac{r_2}{r_1} \quad (2.50)$$

де k - питомий тепловий опір ізоляції.

Тепловий опір ізоляції одиниці довжини трижильного кабелю з поясною ізоляцією в загальному виді можна виразити рівнянням:

$$S_{из} = \frac{k \cdot G}{3 \cdot 2 \cdot \pi} = \frac{k \cdot G}{6 \cdot \pi} \quad (2.51)$$

де G - геометричний фактор, що залежить від конфігурації елементів кабелю.

При підрахунку в цьому випадку за величину d береться діаметр рівновеликого круглого перетину.

При визначенні теплового опору трижильних кабелів з окремими освинцьованими жилами необхідно врахувати, що по окружності свинцевої оболонки різниця температури в різних місцях незначна і, отже, тепловий опір ізоляції окремих жил можна підрахувати по приведеній вище формулі для одножильного кабелю, а тепловий опір заповнення захисних покривів – графічним методом.

Тепловий опір Q_k такого кабелю (броньованого) можна представити рівнянням:

$$Q_k = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{k}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + k_1 \cdot g_1 \right) \quad (2.52)$$

де r_1 , r_2 і k мають ті ж значення, що й у рівнянні (2.50);

k_1 - питомий тепловий опір заповнення між свинцевими оболонками і бронею, рівний приблизно 750 тепл. Ом/см; g_1 - коефіцієнт, що в залежності від відношення товщини подушки між свинцевою оболонкою і бронею до зовнішнього діаметру освинцьованої жили:

n	0,05	0,1	0,15
g_1	0,07	0,09	0,12

2.10 Тепловий опір навколишнього середовища

При прокладці кабелів у землі теплове поле буде мати вигляд, показаний на рис. 2.15. Оскільки ізотермічні поверхні не є концентричними з кабелем, підрахунок теплового опору по формулі для одножильного кабелю робити не

можна. При прийнятих глибинах прокладки (0,8-1,2 м) поверхня ґрунту є ізотермою; тому тепловий опір ґрунту для одиниці довжини кабелю можна підрахувати за допомогою рівняння:

$$S_3 = \frac{k_3}{2 \cdot \pi} \cdot \ln \frac{4 \cdot h}{D} \quad (2.53)$$

h - глибина прокладки;

D - зовнішній діаметр кабелю.

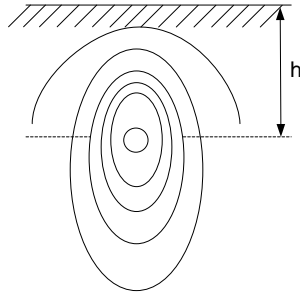


Рис. 2.15 Теплове поле навколо кабелю

На величину питомого теплового опору, крім характеру ґрунту, значний вплив має вологість ґрунту. Зразкові величини питомого теплового опору різних ґрунтів k_3 при різних вологостях приведені в таблиці 2.3. Піщані ґрунти містять води від 8% до 14%. Тому при розрахунках питомий тепловий опір ґрунту звичайно приймається рівним 120 тепл. Ом/см.

Істотно важливо при прокладці, щоб ґрунт щільно прилягав до кабелю, тому що внаслідок великого теплового опору повітря наявність повітряних проміжків буде приводити до досить значного підвищення теплового опору. По цій же причині при прокладці кабелів в землі з застосуванням різних захисних покриттів приходиться враховувати способи цих покриттів за допомогою поправочних коефіцієнтів (менше одиниці), тому що наявність покриттів погіршує теплопередачу.

Таблиця 2.3 Питомий тепловий опір різних ґрунтів

Пісок з вологістю до 4%, кам'янистий ґрунт	300
Пісок з вологістю 4-7%, піщано-глинистий ґрунт з вологістю 8-12%	200
Нормальний ґрунт, пісок з вологістю 7-9%, піщано-глинистий ґрунт з вологістю 12-14%	120
Пісок з вологістю більше 9%, піщано-глинистий ґрунт з вологістю більше 14%	80

При прокладці кабелів в воді тепловий опір останньої приймається рівний 0, бо завдяки руху води і конвекційних струмів теплового поля в воді практично немає.

У найбільш несприятливих умовах знаходяться кабелі, прокладені в повітрі. В цьому випадку відвід тепла виробляється за рахунок конвекції і частково за рахунок випромінювання. Теплового поля поза кабелем в цьому випадку також не існує, а здатність поверхні розсіювання кабеля визначається коефіцієнтом теплопередачі.

Таким чином, для одиниці довжини кабеля тепловий опір землі S_3 в цьому випадку повинен бути замінений опором теплопереходу S_b :

$$S_b = \frac{1}{\pi \cdot D_y} \quad (2.54)$$

Величина коефіцієнта тепловіддачі ϵ коливається від 0,0007 для блискучої металевої поверхні до 0,0011 матової поверхні. Оскільки умови охолодження кабеля гірші, ніж в землі, припустиме навантаження на кабелі в цьому випадку відповідно менше.

Ця різниця особливо значна для кабелів малих перетинів. При прокладці поруч декількох кабелів допустиме навантаження зменшується в залежності від кількості кабелів на 10-20%.

2.11 Нагрівання кабелю при змінному навантаженні

Силові кабелі мають значну теплоємність і тому при включенні навантаження досягають максимальної температури нагрівання після деякого часу (рис. 2.16).

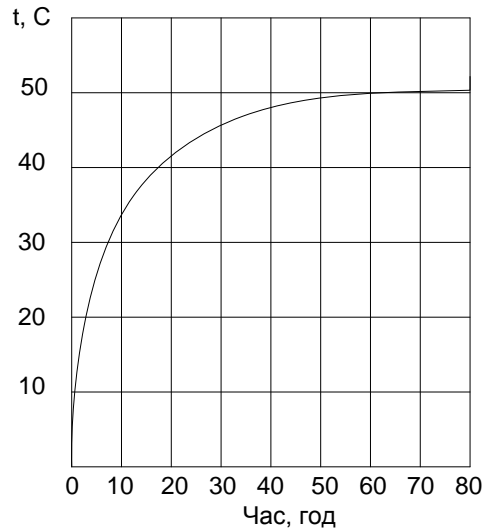


Рис. 2.16. Крива нагрівання кабелю

Якщо кабель має короткочасне навантаження, сила струму може бути більшою, ніж при довготривалому допустимому навантаженні, і при цьому кабель не буде нагріватися вище допустимих меж.

Нехай, наприклад, необхідно визначити величину струму $I_{\text{доп}}$, яка протягом двох годин є допустимою в кабелі, що до цього не мав навантаження. Нехай довготривале допустиме навантаження, при якому кабель перегрівається на величину Θ . По кривій нагрівання знаходимо, що при цьому ж навантаженні за дві години кабель перегрівається на величину Θ_2 .

Оскільки перегрів кабелю пропорційний квадрату величини струму, ми можемо написати:

$$I_{\text{доп}} = I \sqrt{\frac{\Theta}{\Theta_2}} = \alpha \cdot I \quad (2.55)$$

де $\alpha \geq 1$.

Якщо кабель до перевантаження кабель знаходився під струмом і був нагрітий до деякої температури, визначення короткочасних допустимих

навантажень також можливо за допомогою кривої нагрівання. В цьому випадку криву нагрівання будують, починаючи не з нуля, а з температури цього перегріву.

Орієнтовано кабель 20 кВ перетином $3 \times 95 \text{ мм}^2$ при попередньому половинному номінальному навантаженні може мати протягом 1-4 год. відповідно буде $I_{\text{дон}} = (1,2 - 1,06) \cdot I$, а якщо попереднє навантаження складало $\frac{3}{4}$ номінального, допустимий струм перевантаження відповідно буде $I_{\text{дон}} = (1,1 - 1,03) \cdot I$.

Якщо крива нагрівання невідома, величину короточасного навантаження можна визначити за допомогою постійної часу β .

Припустимо, що кабель є однорідним тілом і прогрівається по всій товщині:

$$(I^2 \cdot R - \frac{\Theta}{S}) d\tau = C_m \cdot d\Theta \quad (2.56)$$

C_m - теплоємність кабеля;

S - повний тепловий опір;

Θ - різниця температури жили і навколишнього середовища.

Інтегруючи це рівняння, не важко одержати:

$$\tau = -C_m \cdot S \cdot \ln(I^2 \cdot R - \frac{\Theta}{S}) + const$$

при $const = C_m \cdot S \cdot \ln(I^2 \cdot R)$

$$\tau = C_m \cdot S \cdot \ln \frac{I^2 \cdot R}{I^2 \cdot R - \frac{\Theta}{S}}$$

Звідси

Оскільки $I^2 \cdot R \cdot S = \Theta_1$ де Θ_1 - температура максимального перегріву при сталому

$$\text{стані, де} \quad \tau = C_m \cdot S \cdot \ln \frac{\Theta_1}{\Theta_1 - \Theta} = \beta \cdot \ln \frac{\Theta_1}{\Theta_1 - \Theta} \quad (2.57)$$

Величина β називається «постійною часу», дає можливість визначити температуру перегріву в будь-який час після включення кабелю.

Вирішуючи останнє рівняння відносно Θ_1 одержимо:

$$\Theta = \Theta_1 \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\beta}}) \quad (2.58)$$

Вважаючи, що в деякий проміжний момент нагрівання досягає Θ_1 ми можемо написати рівняння:

$$\Theta_1 = \Theta_{nep} \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\beta}}) \quad (2.59)$$

Оскільки нагрівання пропорційне квадрату струму, то $I^2 \cdot R d\tau = c d\Theta$

2.12 Нагрівання кабелів при КЗ

Наближене визначення максимальної температури нагрівання можливе, якщо не враховувати відводу тепла від струмопровідних жил в навколишнє середовище. В цьому випадку:

$$I^2 = I_{nep}^2 \cdot (1 - e^{-\frac{\tau}{\beta}})$$

Звідки
$$\Theta = \frac{I^2 \cdot R \tau}{c}$$

Звідки
$$I_{nep} = I \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - e^{-\frac{\tau}{\beta}}}} \quad (2.60)$$

$$I^2 \cdot R \cdot (1 + TKR \cdot (\Theta_k - \Theta_0)) d\tau$$

Таким чином, не важко для будь-якого проміжку часу розрахувати допустимий струм перевантаження.

Фізичне представлення про постійний час можна одержати, якщо в (2.56) прийняти, що нагрівання відбувається без віддачі тепла в навколишнє середовище. В цьому випадку:

$$\frac{d\Theta}{d\tau} = \frac{I^2 \cdot R}{C_m} = \frac{\Theta_1}{\beta}$$

де C – теплоємність струмопровідних жил.

Враховуючи, що при КЗ досить значне підвищення температури опір R і позначається на C .

Дослідження показують, що при КЗ значна частина тепла переходить в навколишнє середовище. Облік цього тепла передбачається в наступній експериментальній формулі:

$$\tau \cdot R \cdot (1 + TKR \cdot (\Theta_k - \Theta_0)) I^2 \cdot \tau = \Theta \cdot c' \quad (2.61)$$

звідки

$$\Theta = \frac{\Theta_1 \cdot \tau}{\beta}$$

Теплоємність жил кабелю c' у цьому випадку визначається з обліком просочувальної маси, що знаходиться в них.

При КЗ тривалістю 2 сек. n коливається в межах 0,88-0,93 і при 6 сек. – 0,74-0,84.

Таким чином, τ дорівнює часу, який необхідно для нагрівання до максимально допустимої температури при нормально допустимому навантаженні, при відсутності віддачі тепла в навколишнє середовище.

Приведені рівняння застосовані з достатньою точністю для проводів і кабелів з малою товщиною ізоляції. Для кабелів з підвищеною товщиною ізоляції розроблені математично більш складні методи, в яких приймається умовна теплоємність, трохи менша фактичної. Цим враховується підвищений тепловий перепад ізоляції кабеля.

2.13 Втрати в захисних металевих оболонках кабелів

Ці втрати виникають від струмів, що індукуються в металевих оболонках струмами, що протікають в жилах кабеля.

В трижильних кабелях з поясною ізоляцією при врівноваженій трифазній системі втрати в металевих оболонках практично дорівнюють нулю, але в однофазних кабелях, а також при монтажі трифазної системи трьома одножильними кабелями втрати в оболонках досягають значної величини, і тому вони обов'язково повинні враховуватися в розрахунках. При трифазному струмові три одножильні кабелі можна розглядати як трифазний

трансформатор, в якому струмопровідні жили є первинною, а металеві оболонки – вторинною обмоткою. Якщо оболонки не заземлені і електрично не з'єднані між собою, між ними створюється значна різниця потенціалів, у протилежному випадку по оболонках буде протікати відповідний струм, що викликає додаткові втрати і нагрівання кабелю.

Звичайно, свинцеві оболонки однофазних кабелів з'єднуються один з одним на обох кінцях лінії й іноді в проміжних точках. Якщо кабелі не з'єднані один з одним, то між оболонками можуть виникати небезпечні для життя напруги, дугоутворення і розплавлення свинцевих оболонок при випадкових заземленнях, а також корозія цих оболонок від електролізу та ін.

Зразковий розрахунок індукованих в оболонках напруг і виникаючих втрат може бути зроблений, якщо кабельні оболонки розглядати як тонкостінні, з радіусом, рівним середньому радіусу оболонки, і вважати, що струм в оболонці розподілений рівномірно. Якщо кабелі лежать близько один до одного, то індуковані напруги і струми розподіляються по оболонці нерівномірно (ефект зближення), що викликає додаткові втрати. В одножильних кабелях, що лежать один біля одного, втрати в оболонках збільшуються на 20%, а в одножильних кабелях трифазної системи, розташованих по кутах трикутника – на 25%. При розташуванні трьох дотичних кабелів в лінію, втрати в оболонках крайніх кабелів збільшуються приблизно на 15% і в середньому кабелі – на 60%.

При збільшенні відстані між кабелями додаткові втрати від ефекту зближення швидко зменшуються.

2.13 Втрати в захисних металевих оболонках кабелів

Якщо в одножильних кабелях відстань між осями дорівнює D , то коефіцієнт самоіндукції між жилою і одною оболонкою радіуса r буде дорівнювати:

$$L = 2 \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (2.62)$$

Якщо оболонки обох кабелів не будуть з'єднані один з одним, то індукована напруга в одній оболонці на одиницю довжини стосовно землі буде дорівнювати:

$$U_{об} = 2 \cdot \omega \cdot I \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (2.63)$$

Якщо напруга буде індукуватися в обох оболонках, то напруга між ними буде дорівнювати:

$$U_{об} = 4 \cdot \omega \cdot I \cdot \ln \frac{D}{r} \quad (2.64)$$

$$z = R_{cb} + j \cdot x$$

R_{cb} - активний питомий опір оболонки;

x - реактивний питомий опір оболонки.

Величина струму в оболонці:

$$I_{cb} = \frac{\dot{U}_{cb}}{R_{cb} + j \cdot x} = \frac{-j \cdot I \cdot x}{R_{cb} + j \cdot x} \quad \text{або} \quad I_{cb} = \frac{I_x}{(R_{cb}^2 + x^2)^{1/2}}$$

Втрати в оболонці на одиницю довжини:

$$P_{об} = I_{cb}^2 \cdot R_{cb} = \frac{I^2 \cdot x^2 \cdot R_{cb}}{R_{cb}^2 + x^2} \quad (2.65)$$

На практиці втрати в оболонці зручно відносити до втрат в міді, що рівні $I^2 \cdot R_{ж}$. Це відношення для однофазної системи складає:

$$\eta_1 = \frac{I_{cb}^2 \cdot R_{cb}}{I^2 \cdot R_{ж}} = \frac{R_{cb}}{R_{ж}} \cdot \frac{x^2}{(R_{cb}^2 + x^2)} \quad (2.66)$$

2.15 Індуковані напруги і втрати в оболонках при трифазному струмі

Нехай струми в жилах кабелів трифазної системи I_1 , I_2 , і I_3 . Оскільки $I_2 = -I_1 - I_3$, ми можемо розглядати трифазний струм, що складається з двох накладених ланцюгів: А і В зі струмом I_1 , і С і В зі струмом I_3 (рис. 2.17).

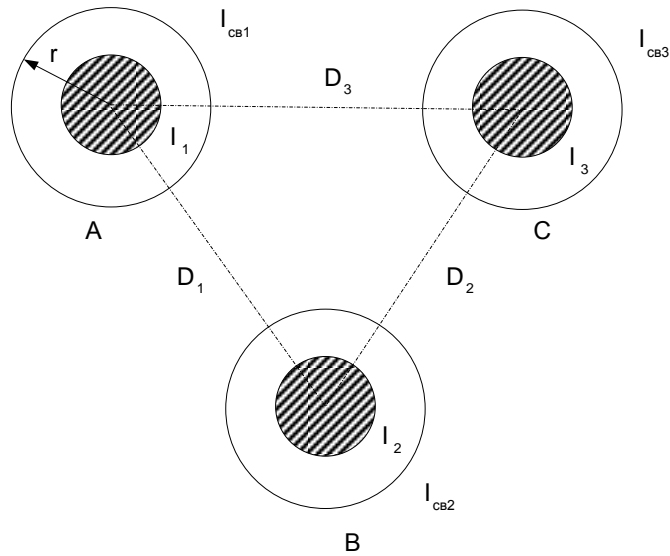


Рис. 2.17. Схема розташування трьох одножильних кабелів в трикутник
 Напряга, що індукується в оболонці А струмом I_1 дорівнює:

$$\dot{U}_{cb1} = -j \cdot I_1 \cdot x_1 = -j \cdot \omega \cdot I_1 \cdot 2 \cdot \ln \frac{D_1}{r}$$

Для визначення напруги, що індукується струмом I_3 , необхідно знати реактивні опори між жилами В і С і оболонкою жили А. Ця величина визначається як різниця реактивних опорів x_1 і x_2 , де x_1 – реактивний опір між жилами А і В і оболонкою А, x_2 – між жилами А і С і тією ж оболонкою А.

Таким чином,

$$x_a = x_1 - x_2 = 2 \cdot \ln \frac{D_1}{r} - 2 \cdot \ln \frac{D_3}{r} = -2 \cdot \ln \frac{D_3}{D_1}$$

Друга складова напруги, що індукується в оболонці А, буде дорівнювати:

$$\dot{U} = -j \cdot \omega \cdot \left(2 \cdot I_3 \cdot \ln \frac{D_2}{r} - 2 \cdot I_1 \cdot \ln \frac{D_3}{D_2} \right) = j \cdot I_1 \cdot x_b - j \cdot I_3 \cdot x_3 \quad (2.67)$$

де $x_b = 2 \cdot \omega \cdot \ln \frac{D_3}{D_2}$

Якщо кабелі розташовані симетрично по вершинах рівностороннього трикутника, то:

$$D_1 = D_2 = D_3 = D; \quad x_1 = x_2 = x_3 = x = 2 \cdot \omega \cdot \ln \frac{D}{r}; \quad x_a = x_b = 0.$$

В цьому випадку втрати в усіх трьох оболонках рівні:

$$\dot{U}_A = -j \cdot I_1 \cdot x = I_{cb1} \cdot (R_{cb} + j \cdot x)$$

$$\dot{U}_B = -j \cdot I_2 \cdot x = I_{cb2} \cdot (R_{cb} + j \cdot x)$$

$$\dot{U}_C = -j \cdot I_3 \cdot x = I_{cb3} \cdot (R_{cb} + j \cdot x)$$

$$Q = R_{cb} \cdot (I_{cb1}^2 + I_{cb2}^2 + I_{cb3}^2) = \frac{x^2 \cdot R_{cb}}{R_{cb}^2 + x^2} (I_1^2 + I_2^2 + I_3^2) \quad (2.68)$$

Відношення втрат в оболонках до втрат в міді:

$$\eta = \frac{R_{cb}}{R_{ж}} \cdot \left(\frac{x^2}{R_{cb}^2 + x^2} \right) \quad (2.69)$$

$$D_1 = D_2 = D ; \quad D_3 = 2 \cdot D$$

$$x_1 = x_3 = x \quad \text{и} \quad x_a = x_b = x_m = 2 \cdot \omega \cdot \ln 2$$

Якщо кабелі розташовані в лінію (рис. 18):

$$U''_{cb} = -j \cdot \omega \cdot I_3 \cdot \left(-2 \cdot \ln \frac{D_3}{D_1} \right) = j \cdot \omega \cdot I_3 \cdot \left(2 \cdot \ln \frac{D_3}{D_1} \right) = j \cdot I_3 \cdot x_a$$

Загальна індукована напруга в оболонці А. Аналогічно попередня напруга в оболонці В:

$$\dot{U}_A = \dot{U}'_{cb} + \dot{U}''_{cb} = -j \cdot I_1 \cdot x_1 + j \cdot I_3 \cdot x_a \quad (2.70)$$

$$\dot{U} = j \cdot \omega \cdot \left(2 \cdot I_1 \cdot \ln \frac{D_1}{r} - 2 \cdot I_3 \cdot \ln \frac{D_2}{r} \right) = j \cdot I_1 \cdot x_1 - j \cdot I_3 \cdot x_3 \quad (2.71)$$

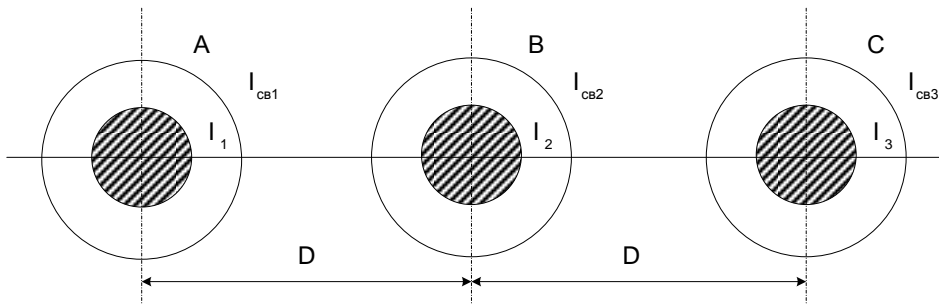


Рис. 2.18 Схема розташування трьох одножильних кабелів в лінії

Подальший аналіз приводить до наступних чисельних значень втрат у свинцевих оболонках:

$$\begin{aligned} \dot{U}_A &= -j \cdot I_1 \cdot x + j \cdot I_3 \cdot x_m \\ \dot{U}_B &= -j \cdot I_2 \cdot x \end{aligned} \quad (2.72)$$

$$\dot{U}_A = -j \cdot I_1 \cdot x_m - j \cdot I_3 \cdot x$$

З цих рівнянь видно, що втрати в оболонках в даному випадку нерівні. Підсумовуючи втрати, одержуємо рівняння:

$$Q_{\text{CB}} = Q_A + Q_B + Q_C = \frac{3}{2} \cdot I^2 \cdot R_{\text{CB}} \cdot \left(\frac{P^2}{R_{\text{CB}}^2 + P^2} + \frac{Q^2}{R_{\text{CB}}^2 + Q^2} \right)$$

Звідси неважко визначити величину цих втрат стосовно втрат в міді.

В цих рівняннях:

$$P = x + x_m \quad Q = x - \frac{1}{3} \cdot x_m$$

$$\frac{Q_{\text{CB}}}{Q_M} = \frac{1 \cdot R_{\text{CB}}}{2 \cdot R_{\text{ж}}} \cdot \left(\frac{P^2}{R_{\text{CB}}^2 + P^2} + \frac{Q^2}{R_{\text{CB}}^2 + Q^2} \right) \quad (2.73)$$

2.16 Втрати в броні електричних кабелів

Усі вище наведені формули не враховують втрат у сталевій броні і тому застосовані тільки для неброньованих кабелів. Особливо сильно зростають втрати в захисних оболонках одножильних кабелів, броньованих стрічковою бронею. У цьому випадку втрати в свинцевій оболонці і броні в 10-12 разів більші, ніж у струмопровідних жилах. Тому кабелі, призначені для роботи в мережах змінного струму, бронювати сталевую стрічковою бронею неможна. Як стрічкову броню в цьому випадку можна застосовувати лише немагнітні матеріали (сплави міді і алюмінію, немагнітна сталь та ін.).

Бронювання одножильних кабелів сталевими й оцинкованими дротами підвищує втрати в захисних оболонках порівняно мало.

Наводиться МРС:

$$H_1 = H \cdot \cos \alpha$$

Оскільки дротова броня накладається з кутом α , близьким до 90° , що складає H_1 - дуже невелика і приблизно може бути виражена рівнянням:

$$H_1 = \frac{0,2 \cdot I_{жс}}{r} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{\sqrt{h^2 + (2 \cdot \pi \cdot r)^2}} = \frac{0,4 \cdot \pi \cdot I_{жс}}{\sqrt{h^2 + (2 \cdot \pi \cdot r)^2}}$$

$I_{жс}$ - струм в жилі;

h - крок накладання броні;

r - радіус окружності через центри дротів броні.

Складова H_2 зустрічає на своєму шляху опір цинкового шару, і тому її вплив незначний, окрім того, при застосуванні круглих проводів частина потоку замикаються через повітря.

Варто звернути увагу на те, що в одножильних броньованих кабелів усі втрати в кабелі мало залежать від відстані із сусідніми кабелями і тому при прокладці одножильних кабелів відстань між ними можна вибирати вільно, керуючись тільки умовами монтажу.

3. Розрахунок та конструктивне виконання кабеля

3.1 Загальні задача і порядок розрахунку силових кабелів

Основною задачею розрахунку і конструювання силових кабелів є створення конструкцій, надійних у роботі та економічних по використанню матеріалів.

Для розрахунку кабелю повинні бути задані передана потужність і робоча напруга кабельної лінії, режим зміни навантаження в лінії, а також величина і тривалість можливих перенапруг і умови прокладки кабелю по довжині лінії.

Сучасні ізоляційні матеріали володіють високою електричною міцністю, у зв'язку з чим товщина ізоляції кабелів на напругу нижче 6 кВ вибирається головним чином з розуміння механічної міцності ізоляції. Для таких кабелів виробляються лише перевіірочні розрахунки електричної міцності ізоляції.

Загальна схема розрахунку кабелю може бути представлена в наступному виді:

1. Вибір перетину і конструкції жили кабелю на підставі наявних даних для подібних конструкцій кабелю, призначених для заданих навантаження й умов прокладки.

2. Вибір припустимої робочої напруженості в ізоляції і розрахунок товщини ізоляції.

3. Розрахунок припустимого навантаження для обраного перетину кабелю з урахуванням виділюваного тепла в струмопровідній жилі, ізоляції, оболонках і захисних покриттях при заданих умовах прокладки і режимі навантаження в часі.

Далі здійснюють перевірку і коригування перетину струмопровідної жили, якщо це виявляється необхідним, і новий перевіірочний розрахунок.

Питання про гранично припустиму температуру кабелю має велике значення, тому що від неї залежать термін служби кабелю і надійність його роботи. При нагріванні кабелю найбільш швидкому старінню піддається ізоляція, механічна міцність і еластичність якої при цьому знижуються.

Основною метою теплового розрахунку є визначення величини припустимого струму, при якому найбільша температура в кабелі не перевищить устанавленого значення.

3.2 Конструювання струмоведучих частин

Для кабелів на напругу 10 кВ економічно доцільніше використовувати алюмінієві жили. Переріз струмоведучих жил кабелів 10 кВ вибираємо по економічній густині струму [5].

$$S_n = I_n / J_{ек} = 150 / 1.4 = 107.1 \text{ мм}^2$$

Вибір форми та конструкції струмопровідних жил залежить від типу кабелю. При однаковому перерізі приймаємо секторні жили так, як їх використання забезпечує менші габарити кабелю і, як наслідок, економію ізоляційних та захисних матеріалів (до 20 %). Однак застосування секторних жил обмежено напругою 10 кВ, так як некругла форма створює нерівномірне електричне поле в ізоляції, що суттєво знижує її електричну міцність. По конструкції секторні жили бувають багатопроволочними спресованими з коефіцієнтом заповнення $f=0.8\div 0.9$. Вибираємо спресовані жили тому, що вони мають наступні переваги: зменшується зовнішній діаметр жили, при цьому економія ізоляційних та захисних матеріалів досягає $8\div 10\%$; жили набувають більш гладку поверхню (зменшується ефект проволочності), зменшується можливість стікання просочувального розчину вздовж кабелю при похилому прокладенні.

Для перерізів 120 мм^2 використовується семипроволочна заготовка і 1 повив з 15 провідників того ж діаметра рис.3.1

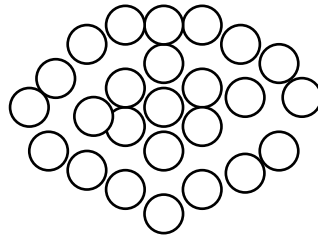


Рис.3.1 Конструкція секторної жили перерізом 120 мм².

Розрахунковий переріз жили, тобто переріз з врахуванням коефіцієнту. видовження провідників при опресуванні $k_2=1.2$ (для $S_H=120$ мм²):

$$S_p = S_H \cdot k_2 = 107.1 \cdot 1.2 = 128.5 \text{ мм}^2;$$

Діаметр проводів з яких скручується жила, мм :

$$d = \sqrt{4 \cdot S_p / \pi \cdot n \cdot f} = \sqrt{4 \cdot 128.5 / 3.14 \cdot 24 \cdot 0.9} = 2.75$$

де: $n=24$ - кількість проводів в жилі;

$f=0.9$ - коефіцієнт заповнення;

3.3 Розрахунок і конструювання ізоляції

Метою електричного розрахунку ізоляції кабелів є визначення мінімальної товщини ізоляції, яка забезпечує надійну роботу кабельної лінії при робочій напрузі та перенапругах. Приймаємо просочену паперову ізоляцію, яка складається з стрічок кабельного паперу товщиною 120 мкм (К120 по ГОСТ645-67), накладених на жилу методом обмотки і просоченої маслоканіфолбним розчином МП-1 (містить 10.5-26% каніфолі, в'язкість 130-150 сст при 70°C). Виходячи з умов необхідної електричної міцності приймаємо рекомендовану товщину ізоляції для багатожильного кабелю 10 кВ з секторними жилами, [9]:

- товщина ізоляції жили: $\Delta=2.75$ мм

- товщина поясної ізоляції: $\Delta_1=1.25$ мм

$$\Delta = \Delta + \Delta_1 = 2.75 + 1.25 = 4 \text{ мм}$$

Визначимо значення напруг та напруженостей:

$$U_\phi = U_H / \sqrt{3} = 10 / 1.73 = 5.78 \text{ кВ} \approx 6 \text{ кВ}$$

Характерними точками в яких буде підвищена напруженість електричного

поля, через велику кривизну поверхні будуть а, с і к, рис.3.2

Знайдемо напруженість поля в точці а для концентричного кабелю:

$$E=U/(rLn(r_2/r_1))$$

де r_1 - радіус по скрутці секторних жил;

r_2 - радіус по сталій ізоляції;

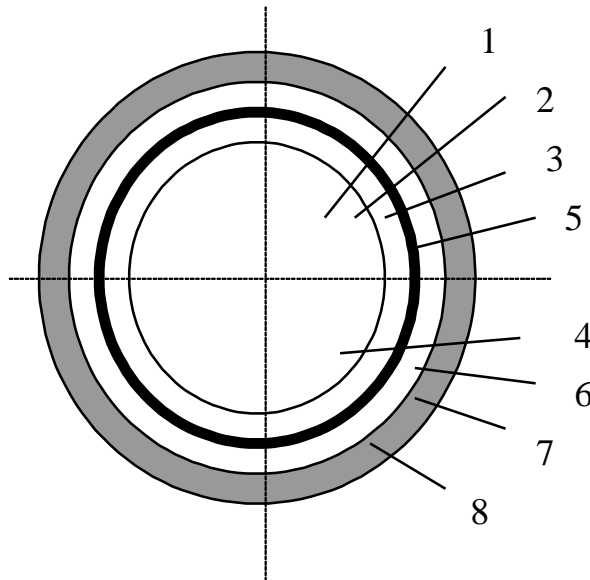


Рис.3.2 Трьохжильний кабель з поясною ізоляцією:

- 1-струмопровідна жила; 2- жильна ізоляція; 3- поясна ізоляція;
- 4- міжфазне заповнення; 5- металева оболонка; 6- подушка під броню;
- 7- броня з двох сталевих стрічок; 8- зовнішнє захисне покриття.

Напруженість поля в точці а для концентричного кабелю , кВ/мм:

$$E_{max_a}=U_{\phi}/(R_{ck} \cdot Ln((R_{ck}+\Delta+\Delta_1)/R_{ck}))=5.78/(10.71 \cdot Ln((10.71+2.75+1.25)/10.71))=1.7$$

В цій точці замість радіуса r_1 підставляється радіус по скрутці секторних жил, а замість r_2 - радіус по пояській ізоляції;

$$R_{ck}=\sqrt{3 \cdot S/\pi}=\sqrt{3 \cdot 120/\pi}=10.71$$

Напруженість поля в точці к визначається по цій же формулі, при цьому: r_1 - радіус кривизни центрального ребра сектора, а товщину ізоляції приймаємо рівною відрізку ОК (рис.3.3) який дорівнює 1.155Δ , кВ/мм:

$$E_{max_k}=U_{\phi}/(r_k \cdot Ln((r_k+1.155\Delta)/r_k))=5.78/1.5Ln((1.5+1.155 \cdot 2.75)/1.5)=3.53$$

Знайдемо напруженість поля в точці с, використавши формулу для двох

паралельних циліндрів, які знаходяться під напругою U_l , радіус жил яких дорівнює радіусу кривизни бокового ребра сектора а товщина ізоляції рівна Δ , кВ/см:

$$E_{\max_c} = U_l(k+1)/(2r_c \cdot (k-1) \cdot \ln x) = 10 \cdot (5.48+1)/(2 \cdot 1.5 \cdot (5.48-1) \cdot \ln(2.83)) = 4.63$$

$$\text{де } k = x + \sqrt{x^2 - 1};$$

$$x = (r_c + \Delta)/r_c = (1.5 + 2.75)/1.5 = 2.83;$$

$$k = 2.83 + \sqrt{2.83^2 - 1} = 5.48$$

При розрахунку кабелю необхідно знати величину напруженості електричного поля (розрахункову), яку можна допустити в ізоляції без безпеки її пробою на протязі тривалого часу. Величина допустимої робочої напруженості приймається рівною $E_{pr\infty}$ при змінній напрузі або E_{imp} при імпульсній. Між розрахунковою напруженістю і значеннями електричної міцності при тривалому часу дії напруги і імпульсною електричною міцністю встановлені наступні залежності:

$$E_p \leq E_{pr\infty}/k = 12/4 = 3 \quad E_p \leq E_{imp}/k = 90/8 = 11$$

де $k=4$ для змінної напруги і біля 8 для імпульсної - коефіцієнт запасу міцності - відношення напруженості при пробої до розрахункової.

$E_{imp} \approx 92$ кВ/мм з графіка с.54 [1] для К-120.

Задавшись величиною розрахункової напруженості E_p по (7.2.1.) знаючи величину робочої напруги $U_{роб} = U_\phi$ і радіус струмопровідної жили розрахуємо товщину неградованої ізоляції:

По змінній напрузі:

$$r_2 = r_1 \cdot e^{U_\phi / (r \cdot E_p)} = 10.71 \cdot e^{6 / (10.71 \cdot 3)} = 12.92 \text{ мм};$$

$$\Delta = r_2 - r_1 = 12.92 - 10.71 = 2.21$$

По імпульсній напрузі:

$$r_2 = r_1 \cdot e^{U_\phi / (r \cdot E_p)} = 10.71 \cdot e^{6 / (10.71 \cdot 12)} = 11.22 \text{ мм};$$

$$\Delta = r_2 - r_1 = 12.92 - 11.22 = 1.7$$

Приймаємо більшу товщину ізоляції $\Delta = 2.21$ мм.

3.4 Конструювання оболонки

Кабельні оболонки призначені для захисту ізоляції від проникнення вологи, світла, різних хімічних речовин та механічних пошкоджень. Вибір матеріалу оболонки в основному залежить від типу ізоляції. Для кабеля з паперово просоченою ізоляцією використовуємо алюмінієву оболонку. Алюмінієві оболонки герметичні в 2-2.5 рази міцніші за свинцеві мають підвищену стійкість до вібраційних навантажень. В алюмінієвих оболонках відсутній ріст кристалів, який має місце в свинцевих оболонках при підвищенні температури. Висока електрична провідність алюмінію дозволяє використовувати алюмінієві оболонки в якості екрану або нульової жили. Завдяки більшій механічній міцності алюмінію кабелі в алюмінієвій оболонці можуть використовуватись неброньованими. Для підвищення гнучкості вона робиться гофрованою. Товщина таких оболонки на 30% менше суцільних.

Товщину суцільних оболонки визначимо по емпіричній формулі, мм:

$$\delta_{об} = \delta_{техн} + k_0 \cdot D = 0.75 + 0.025 \cdot 34.92 = 1.62$$

по [1, таб 1-21] приймаємо стандартну товщину оболонки 1.55 мм.

Де $\delta_{техн} = 0.75$ - мінімальна товщина оболонки по технологічних міркуваннях;

$k_0 = 0.025$ дослідний коефіцієнт, який залежить від призначення кабеля та умов прокладання;

Діаметр кабелю під оболонкою, мм;

$$D = 2(2 \cdot \Delta_{ж} + \Delta_{п} + R_{ск}) = 2(2 \cdot 2.75 + 1.25 + 10.71) = 34.92 \text{ мм}$$

3.5 Конструювання захисних покриттів

Захисні покриття силових кабелів з металічними оболонками складаються з подушки під броню, стрічкової або проволочної сталеві броні та зовнішнього антикорозійного покриття.

Внутрішнє покриття (подушка), що захищає оболонку від

пошкодження в процесі накладання сталюї бронї , а також при монтажних згинах кабелю, виконують підсиленої конструкції, якщо кабель має алюмінієву оболонку. Підсилена подушка (букви в маркуванні Бв, БГв,Пв,Кв) складається з бітумного шару, двох стрічок полівінілхлоридного пластикату накладених з перекриттям, однієї стрічки просоченої кабельної паперу та бітумного шару.

Підсилюючі покриття складаються або з сталюих стрічок (Б або БГ), круглих сталюих оцинкованих проволоку (К), або з плоских сталюих оцинкованих проволоку (П). Призначення стрічкової бронї - захистити кабель від випадкових ударів в процесі монтажу і експлуатації.

Використаємо броню з сталюих стрічок, основне призначення якої

захистити кабель від випадкових ударів в процесі монтажу та експлуатації.

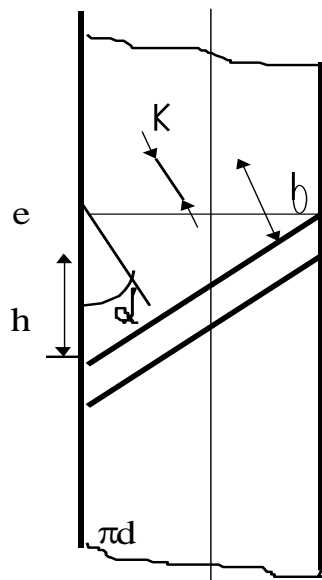


Рис.3.4 Розгортка на площину одного витка стрічки, накладеної з зазором;

де b - ширина стрічки, мм;

h -крок обмотки, мм; α - кут, °;

e - величина зазору, мм;

$k_{п}$ - коефіцієнт перекриття;

Товщина броньованих стрічок залежить від діаметра кабелю по оболонці, мм :

$$D_{об} = D + 2 \cdot \delta_{об} = 34.92 + 2 \cdot 1.55 = 38 \text{ мм}$$

Накладається методом спіральної обмотки з зазором рівним 1/3 ширини

стрічки. Діаметр кабеля під броню, мм;

$$D_{пб} = D_{об} + 2S_{под} = 38 + 2 \cdot 1.5 = 41$$

де $S_{бр} = 1.5$ мм - подушка під броню (вибирається в залежності від діаметра кабеля поверх оболонки);

Прийmemo $\alpha = 30^\circ$. Крок обмотки:

$$h = \pi \cdot D_{cp} \cdot \operatorname{tg} \alpha = 3.14 \cdot 41.5 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ = 77.1 \text{ мм}$$

де $D_{cp} = D_{пб} + \delta = 41 + 0.5 = 41.5$ мм

Ширину стрічки знайдемо по формулі:

$$b = h \cdot \cos \alpha / (1 + k_{п}) = 77.1 \cdot \cos 30^\circ / (1 + 0.3) \approx 52 \text{ мм}$$

де: $k_{п} = 0.3$

Велечина зазору:

$$e = k_{п} b / \cos \alpha = 0.3 \cdot 52 / \cos 30^\circ \approx 18 \text{ мм}$$

Кількість стрічок для броні:

$$n = \pi \cdot (D_{пб} + \delta) / 1.034 \cdot b = 3.14 \cdot (41 + 0.5) / 1.034 \cdot 52 \approx 3$$

Діаметр кабелю над броню:

$$D_{бр} = D_{пб} + n \cdot 2 \cdot \delta = 41.5 + 3 \cdot 2 \cdot 0.5 = 45.5 \text{ мм}$$

Кінцевий діаметр кабеля:

$$D_{зо вн} = D_{бр} + 2 \cdot \Delta_{зп} = 45.5 + 2 \cdot 2.2 = 49.9 \text{ мм}$$

де: $\Delta_{зп}$ - товщина зовнішнього захисного покриття;

Зовнішні антикорозійні покриття являють собою шари бітумного складу, бітумізованої кабельної бумаги і крейдового шару, який необхідний для попередження злипання витків кабеля на прийомному барабані.

Результати розрахунків по п.3.2 - 3.4 зведемо в таблицю 3.1

Товщина					
Жильної ізоляції, мм	поясної ізоляції, мм	алюмінієвої оболонки, мм	подушки під броню, мм	броні, мм	захисного покрову, мм
2.75	1.25	1.55	2	1.5	2.2

3.6 Перевірочний тепловий розрахунок силового кабелю

Після кінцевого конструювання кабелю і уточнення умов прокладання необхідно провести перевірочний тепловий розрахунок з метою визначення допустимого струму навантаження. Для цього необхідно врахувати всі джерела тепла, які є в кабелі при його роботі, а також теплові опори елементів кабелю та оточуючого середовища.

Визначимо діелектричні втрати в ізоляції:

$$P=3 \cdot U^2 \cdot \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta$$

де 3- кількість фаз;

U- фазна напруга , В;

C - ємність однієї фази, Ф;

ω - кутова частота, рад/с;

$\operatorname{tg} \delta = 0.01$ - тангенс кута діелектричних втрат;

Ємність жили трьохжильного кабелю, Ф/м:

$$C=0.048 \cdot \epsilon / (\operatorname{Lg}(3a^2(D_k^2-a^2)^3/(d^2(D_k^2-a^6))))$$

де: a-відстань між центрами сусідніх жил ,мм;

d- діаметр жили кабелю, мм;

D_k -зовнішній діаметр кабелю.

Ємність трьохжильних кабелів з секторними жилами отримаємо по цій же формулі замінивши секторні жили круглими з збільшеним перерізом жили на 50% при тій же товщині ізоляції

$$S_k=1.5 \cdot S_H=1.5 \cdot 120=180 \text{ мм}^2$$

$$S_k=\pi d_k^2/4 \text{ звідки } d_k=\sqrt{4 \cdot S_k/\pi}=\sqrt{4 \cdot 180/\pi}=15.2 \text{ мм}$$

$$\Delta=d_k-R_{ск}=15.2-10.71 \approx 4.43 \text{ мм}$$

$$a_k=a+\Delta=16.2+4.43=20.63 \text{ мм}$$

$$D_k=D_{зовн}+\Delta=49.9+4.43=54.33 \text{ мм}$$

Отримаємо:

$$C=0.048 \cdot 4 / (\operatorname{Lg}(3 \cdot 20.63 \cdot (54.33^2-20.63^3)/15.2^2 \cdot (54.33^6-20.63^2)))=0.357 \text{ нФ/м}$$

Діелектричні втрати в ізоляції , Вт/м:

$$P=3 \cdot 5780^2 \cdot 314 \cdot 0.357 \cdot 10^{-9} \cdot 0.01=0.112$$

Втрати на постійному струмі в струмопровідній жилі, Вт:

$$P_{жп}=I^2 \cdot R_{жп}$$

де $R_{ж}$ - опір жили постійному струму при робочій температурі, мОм;

$$R_{жп}=1.015 \cdot [1+\alpha_{20}(t_{ж} - t_0)] \cdot \rho_{20} \cdot L/g=1.015 \cdot [1+0.004(60-20)] \cdot 0.028 \cdot 1200/120=0.329$$

мОм

де α_{20} - температурний коефіцієнт опору, 1/град ;

$t_{ж} =60$ °С - температура жили в нормальному режим ;

$t_0 =20$ °С- температура оточуючого середовища;

$\rho_{20}=0.004$ Ом· мм²/м- питомий опір жили при температурі 20 °С;

$L =1200$ - довжина жили, м; g - поперечний переріз жили, мм²;

Втрати на постійному струмі в струмопровідній жилі, Вт:

$$P_{жп}=I^2 \cdot R_{жп}= 150^2 \cdot 0.000329= 7.42$$

Втрати на змінному струмі в струмопровідній жилі, Вт:

$$P_{жзм}= I^2 \cdot R_{жзм}$$

де: $R_{жзм}$ - опір жили змінному струмі, Ом;

Опір жили на змінному струмі збільшується за рахунок поверхневого ефекту та ефекту близькості. Збільшення опору жили на змінному струмі в порівнянні з опором на постійному струмі при робочій температурі буде:

$$R_{жзм}= R_{жп} (1+y_{п}+y_{б})$$

де $y_{п}$, $y_{б}$ - коефіцієнти які характеризують збільшення опору жили через поверхневий ефект та ефект близькості;

Коефіцієнт $y_{п}$ визначаємо залежності від параметра x :

$$x=0.159 \cdot 10^{-2} \sqrt{f \cdot k_1/R_{жп}}=0.159 \cdot 10^{-2} \sqrt{50 \cdot 1/ 0.329 \cdot 10^{-3}}=0.62$$

де k_1 - коефіцієнт який залежить від конструкції жили ($k_1=1$)

По наближеній формулі знайдемо $y_{б}$:

$$y_{б}=1.18 \cdot y_{п}(d/a)^2 / (y_{п}+0.27)=1.18 \cdot 0.003 \cdot (10.71/16.2)^2 / (0.003+0.27)=0.0057$$

де d - діаметр жили(для секторних жил радіус скрутки), мм;

a - відстань між центрами сусідніх жил, мм;

Опір жили змінному струму , Ом/м:

$$R_{ж_{3М}}=3.29 \cdot 10^{-4}(1+0.003+0.0057)= 3.32 \cdot 10^{-4}$$

Втрати на змінному струмі в струмопровідній жилі, Вт:

$$P_{ж_{3М}}= I^2 \cdot R_{ж_{3М}} = 150^2 \cdot 3.32 \cdot 10^{-4} = 7.47$$

Втрати в оболонці кабеля, Вт/м:

$$P_{об}=I^2 \cdot R_{об}=150^2 \cdot 2.83 \cdot 10^{-4}=6.37$$

де: $R_{об}=2.83 \cdot 10^{-4}$ Ом/м, [];

Допустимий струм навантаження для трьохжильного кабеля з секторними жилами:

$$I_{доп}=\sqrt{(t_{ж} - t_0)/3 \cdot R_{ж_{3М}}(S_{із}+ S_{зп}+ S_0)}$$

де $t_{ж} =60^{\circ}\text{C}$ - максимально допустима температура жили;

$t_0 =20^{\circ}\text{C}$ - температура оточуючого середовища;

$S_{зп}$ - тепловий опір захисних покриттів;

$S_{із}$ - тепловий опір ізоляції кабеля з секторними жилами;

S_0 - тепловий опір оточуючого середовища;

Тепловий опір захисного покриття, град·см/Вт:

$$S_{зп} = \text{Ln}(D_{зов} / D_{вн}) \cdot \sigma_{зп} / 2\pi = \text{Ln}(59.9/47.5) \cdot 1.3/2 \cdot 3.14 = 0.016$$

де $\sigma_{зп}=1.3^{\circ}\text{C} \cdot \text{см}^2/\text{Вт}$ - питомий тепловий опір захисного покриття;

$D_{вн}=47.5\text{мм}$ - внутрішній діаметр захисного покриття , дорівнює зовнішньому діаметру металічної оболонки;

$D_{зов}=D_{ср}+S_{із.п}=42+4=46$ мм - зовнішній діаметр кабеля по захисних покриттях;

Тепловий опір ізоляції кабелю з секторними жилами, град·Вт/см:

$$S_{із}=\text{Ln}(R_{об}/R_{ск}) \cdot k_1 \cdot \sigma_{із} / 2\pi = \text{Ln}(20/10.71) \cdot 1.1 \cdot 600/2 \cdot 3.14 = 65.78$$

де $R_{об}=20$ мм - радіус кабелю під оболонкою;

$R_{ск} =10.71$ мм - радіус по скрутці секторних жил без ізоляції;

$k_1=1.1$; $\sigma_{із}=600^{\circ}\text{C} \cdot \text{см}^2/\text{Вт}$ (в нормальному режимі);

Тепловий опір оточуючого середовища (землі), град·см/Вт:

$$S_0=2/3(\sigma_3/2 \cdot \pi) \cdot \text{Ln}(4L/D_{зовн})=2/3(120/2 \cdot 3.14)\text{Ln}(4 \cdot 100/48.25)=56.27$$

де $\sigma_3=120$ град·см²/Вт- питомий тепловий опір землі [1];

2/3 - коефіцієнт, який враховує зменшення теплового опору за рахунок

додаткового відведення тепла в внутрішні шари землі, які мають однакову температуру на протязі року;

$L=1$ м - глибина прокладки кабелю;

Допустимий струм навантаження, А:

$$I_{\text{доп}} = \sqrt{(60-20)/3 \cdot 2.82 \cdot 10^{-4} (65.78+0.03+56.27)} = 210$$

Так-як $I_{\text{доп}} > I_{\text{зад}}$ ($210 > 150$), то кабель працює в нормальному тепловому режимі.

3.7 Контроль за нагріванням кабелів

Для забезпечення безаварійної і тривалої роботи кабельних ліній необхідно стежити за тим, щоб температура жил і інших елементів кабелю в процесі експлуатації не перевищувала припустимих меж. Перегрів ізоляції викликає прискорене її старіння і різке скорочення терміну служби кабелю.

Довгостроково припустимі токові навантаження на жилах визначаються матеріалом ізоляції кабелів (таблиці 3.2).

Контроль за нагріванням кабелів у процесі їхньої експлуатації ведеться виміром температури нагрівання оболонки кабелю. Для визначення температури на жилі варто виконати перерахунок по формулі

$$t_{\text{жс}} = \frac{t_{\text{об}} + I_{\text{оп}}^2 n \rho S_k}{100q},$$

де $t_{\text{об}}$ - температура на оболонці кабелю, °С; $I_{\text{оп}}$ - тривале максимальне навантаження кабелю, А; n - число жил кабелю; ρ - питомий опір міді чи алюмінію при температурі, близькій до температури жили, Ом*мм²/мм; S_k - сума теплових опорів ізоляції і захисних покривів кабелю, Ом; q - переріз жили кабелю, мм².

Таблиця 3.2 – Максимально припустимі струмові навантаження на жилах силових кабелів

Ізоляція жил	Напруга кабелю, кВ	Тривало допустима температура на жилах кабелю, °С	Допустимий нагрів жил при струмах короткого замикання, °С
Паперова з в'язким і збідненим просоченням	1 і 3	80	200
Паперова з в'язким і нестікаючим просоченням	6	65 (80)	200
Паперова зі збідненим просоченням	10	75 (80)	200
Паперова з в'язким і нестікаючим просоченням	20	60 (65)	200
Паперова з в'язким просоченням	35	55 (65)	200
Паперова з в'язким і нестікаючим просоченням	До 6	50 (60/65)	200
Пластмасова:		70	160
полівінілхлоридна		70	130
пластикат		90	250
поліетилен	До 10	65	150
вулканізуюча	постійного струму		
Гума	До 0,66 змінного струму	90	250
Гума підвищеної теплостійкості			

Примітки: 1. Припустиме нагрівання жило кабелів із пластмасовою ізоляцією в аварійному режимі повинні бути не більше для полівінілхлоридного пластикату і поліетилену - 80 °С, для вулканізуючого поліетилену - 130 °С. Тривалість роботи для цих кабелів в аварійному режимі не повинна бути більш 8 ч у добу і не більш 1000 ч за термін служби. 2. В дужках приведені припустимі температури на жилах для силових кабелів з новими просочувальними ізоляційними складами. Ці склади дозволяють підвищити припустиму температуру нагрівання кабелів в експлуатації. В позначенні марок нових кабелів вводиться буква У, наприклад ААШвУ.

Теплові опори для кабелів визначаються по таблиці 3.3

Таблиця 3.3 – Теплові опори для кабелів, що знаходяться в експлуатації

Напруга, кВ	Теплові опори трьохжильних кабелів з поясною ізоляцією, Ом, для перерізу кабелів, мм ²										
	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
Паперова ізоляція з питомим тепловим опором 1000 Ом*м											
1	47	38	29	25	21	18	16	16	16	15	13
3	80	68	51	45	38	34	29	26	24	21	19
6	97	83	73	64	58	50	42	37	32	30	30
10	10	10	89	83	72	66	57	51	47	43	37
Захисні покриття з питомим тепловим опором 500 Ом*м											
1	37	35	38	27	27	26	23	20	18	16	15
3	33	32	30	28	25	23	20	19	18	17	16
6	30	28	26	23	22	20	18	16	16	16	15
10	27	23	22	18	17	16	16	15	16	14	14

Приклад розрахунку для визначення температури жили по відомій температурі оболонки кабелю

Відповідно до виміру для кабелю СБГЗХ120 мм² із секторними жилами $t_{об} = 45^{\circ}\text{C}$, $I_{оп}$ склала 250 А.

Питомий опір визначають по формулі

$$\rho_{50} = \rho_{20}(1 + K(T - 20)); \rho_{20} = 0,0184 \text{ Ом-мм}^2/\text{м} \text{ (для міді),}$$

де величина $K = 0,004$ - збільшення опору міді на кожен градус підвищення температури; $T = 50^{\circ}\text{C}$ - передбачувана температура жили;

$$\rho_{50} = \rho_{20}(1 + 0,004(50 - 20)) = 0,0206 = 0,0206 \text{ Ом-мм}^2/\text{м}$$

S_k відповідно до табл. 115 дорівнює 51 Ом-м;

$$t_{ж} = 45 + \frac{250^2 \cdot 3 \cdot 0,0206 \cdot 51}{100 \cdot 120} = 61 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Різниця в температурі між жилою й оболонкою кабелю 10 кВ складає 16 °С.

Вимір температури оболонок кабелів рекомендується в місцях, де кабель найбільше нагрівається. Вимір температури оболонок кабелів, прокладених відкрито, роблять звичайним лабораторним термометром, а при прокладці кабелів у землі - за допомогою термопар.

4 Використання індукційного методу для оцінки стану кабельної лінії

Індукційний метод визначення місця пошкодження базується на принципі уловлення магнітного поля над кабелем, по якому пропускається струм від генератора звукової частоти. Частота струму від 1000 – 10000 Гц. Метод забезпечує високу точність визначення місця пошкодження і має широке розповсюдження.

Індукційним методом можна визначити: трасу кабельної лінії; глибини прокладки кабельної лінії; шуканий кабель в пучці кабелів; міжфазне пошкодження кабелю; однофазне пошкодження кабельної лінії.

4.1 Визначення траси кабельної лінії

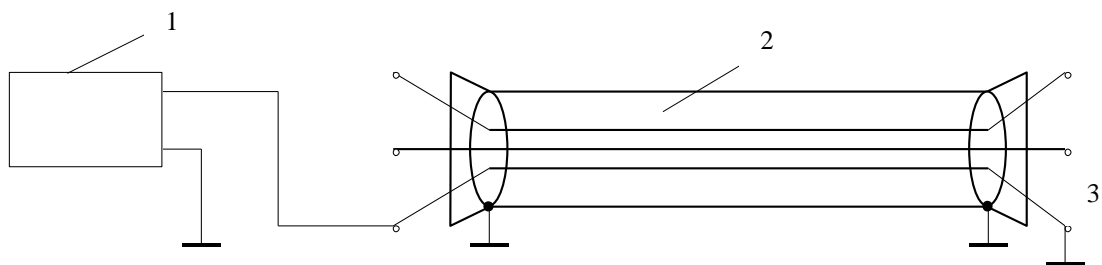
При визначенні траси кабельної лінії (рис.4.1) генератор звукової частоти включається по схемі фаза-земля.

При використанні частоти 1000 Гц від генератора (рис. 4.1 а) на віддаленому кінці кабельної лінії встановлюється закоротка між жилою і оболонкою кабелю. При використанні частоти 2000 Гц від генератора (рис. 4.1 б) установка закоротки на дальньому кінці кабелю необов'язкова. Корисний сигнал буде чути за рахунок ємнісного струму, який протікає через розподілену ємність кабелю c_k .

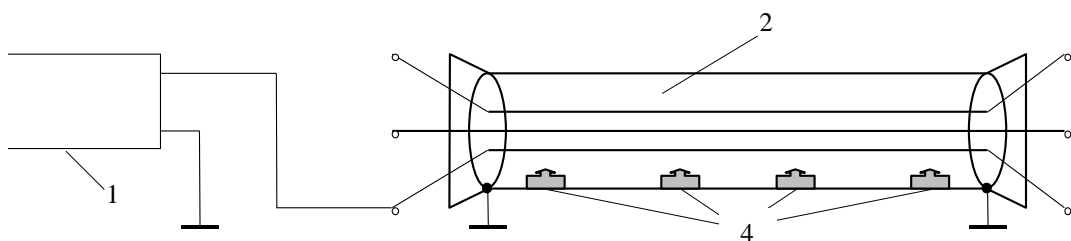
При визначенні траси кабельної лінії за рахунок струмів розтікання сигнал, який наводиться в індукційному перетворювачі і підсилюється приймачем, буде дуже добре чути в головних телефонах. Оператор, рухаючись вздовж траси кабельної лінії при горизонтально розташованому індукційному перетворювачі (рис. 4.1 д) оператор чує в головних телефонах над кабелем слабкий сигнал, який посилюється при переміщенні перетворювача вправо або вліво від траси кабельної лінії. Таким чином, при русі по напрямленню максимального (при горизонтальному розташуванні) або мінімального (при вертикальному

розташуванні) сигналу знаходять трасу кабельної лінії.

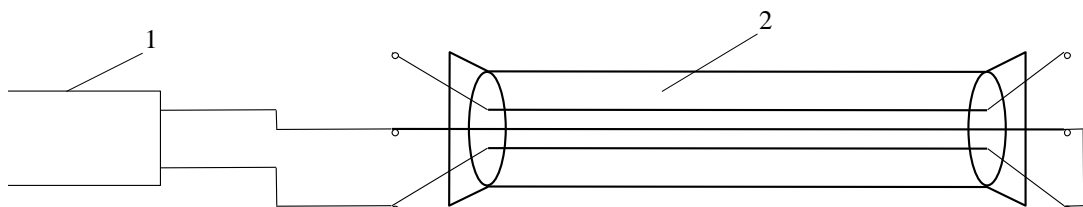
Інколи внаслідок розриву оболонки кабелю муфти струм від генератора протікає по оболонках сусідніх кабелів, які знаходяться під робочою напругою. При цьому мінімум звуку утримується над тим кабелем, по якому тече струм розтікання. Внаслідок цього траса кабельної лінії буде визначена невірно. В цьому випадку для усунення хибного визначення кабельної лінії генератор вмикається між двома жилами кабелю (рис. 4.1в). Оператор, рухаючись по трасі кабельної лінії, чітко прослуховує максимуми і мінімуми звуку сигналів головних телефонів, які викликані кроком зкрутки кабелю (крок зкрутки в силових кабелях може змінюватись від 0,5 до 1,5 м в залежності від перерізу жил кабелю).



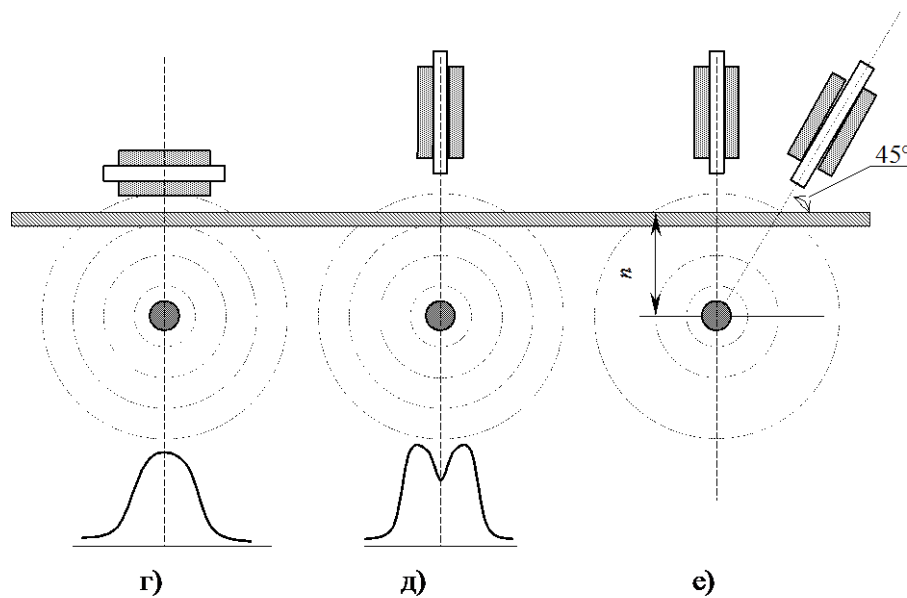
а) схема визначення траси кабельної лінії на частоті 1000 Гц



б) схема визначення траси кабельної лінії на частоті 10000 Гц



в) схема визначення траси кабельної лінії при вмиканні генератора на частоту 1000 Гц або 10000 Гц між двома жилами кабелю



Вліво Вправо Вліво Вправо

- г) ЕРС, що наводиться в горизонтально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його праворуч або ліворуч від вісі кабелю; д) ЕРС, що наводиться в вертикально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його праворуч або ліворуч від вісі кабелю; е) розташування перетворювача при визначенні глибини залягання кабелю

Рис. 4.1 Схема підключення генератора при визначенні траси та глибини прокладання КЛ: 1 – генератор; 2 – кабельна лінія; 3 – закоротка; 4 – розподілена ємність кабелю

4.2 Визначення глибини прокладки кабельної лінії

Для визначення глибини прокладання кабельної лінії використовується така схема підключення генератора, що і для визначення траси кабелю. В місці, де потрібно визначити глибину прокладання кабелю, необхідно точно визначити трасу кабельної лінії при вертикальному розташуванні вісі індукційного перетворювача (4.1e). Потім індукційний перетворювач за допомогою фіксуючого пристрою становити під кутом 45° до площини землі. Змінюючи розташування перетворювача перпендикулярно трасі, знаходять

точку на поверхні землі, в якій зникає звуковий сигнал в головних телефонах. Відстань від цієї точки до траси дорівнює глибині залягання кабелю.

4.3 Визначення шуканого кабелю в пучці кабелів.

Після проведення робіт по розкопці траншей в зоні очікуваного місця пошкодження необхідно (з точки зору техніки безпеки) визначити пошкоджений кабель в пучку інших кабелів, які знаходяться під робочою напругою. Для визначення шуканого кабелю генератора включають на час- тоті 1000 Гц (рис. 4.1.в) між двома непошкодженими жилами кабелю, які закорочені на протилежному кінці перемичкою.

В місці розкопки індукційний перетворювач встановлюють у вертикальне положення і, переміщуючи його перпендикулярно розташованим кабелям, знаходять шуканий кабель по частоті струму і різкій зміні сили звукового сигналу в головних телефонах з двох сторін знайденого кабелю. Для більш точного визначення шуканого кабелю в пучці необхідно застосувати накладну індукційну рамку, які підключаються до входу кабелешукача. Обертаючи її кругом очищеного від землі шуканого кабелю, отримують в головних телефонах два максимуми і два мінімуму сигналу частоти 1000 Гц.

4.4 Визначення місця міжфазного пошкодження кабельної лінії

Міжфазне пошкодження кабельної лінії, як правило, отримують із однофазних пошкоджень шляхом порушення ізоляції непошкодженої жи-ли. При важкості визначення місця однофазного пошкодження (погана чутливість при акустичному ударі, немає чіткої зміни сигналу при визначенні однофазного пошкодження індукційним методом, немає чіткої прив'язки по довжині кабельної лінії і т.д.) проводять його переведення в між-фазне пошкодження за допомогою пропалювальної установки. Слід врахувати при пропалюванні, що опір між жилами і оболонкою або між двома жилами повинен бути близьким до нуля. У випадку, якщо у місці замикання двох жил опір складає одиниці Ом і

більше, на трасі кабельної лінії можна отримати помилку при визначенні місця пошкодження особливо на частоті 1000 Гц через ємнісний струм, який буде протікати за місцем пошкодження. При цьому по трасі кабельної лінії за місцем пошкодження буде прослуховуватись сигнал в головних телефонах від шагу скрутки. Після підготовки пошкодженого кабелю і виміру відстані до місця пошкодження з допомогою приладів, використовуючи імпульсний метод, генератор підключають до двох пошкоджених жилах кабелю (рис 4.2.а).

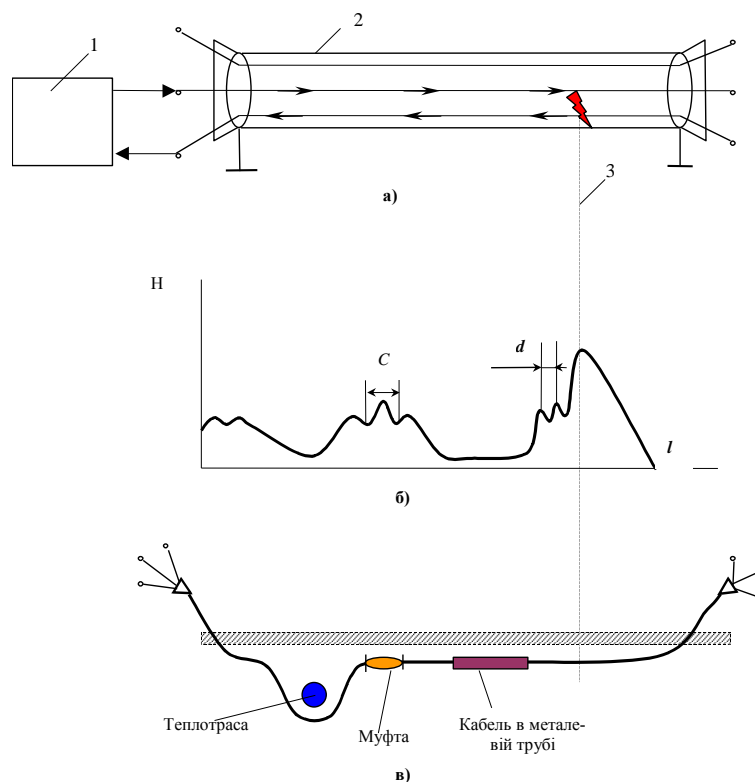


Рис. 4.2 Визначення місця міжфазного пошкодження індукційним методом

а) схема приєднання генератора звукової частоти: 1 – генератор звукової частоти; 2 – пошкоджений кабель; 3 – місце міжфазного пошкодження кабелю;

б) крива зміни напруженості електромагнітного поля по трасі кабелю з міжфазним замиканням жил (остаточний опір в місці пошкодження); d – крок скрутки жил кабелю; $d \neq c$ на ділянці розташування муфт;

в) траса закладання пошкодженого кабелю

Після під'єднання генератора і узгодження навантажень можна виконувати роботи по пошуку місця пошкодження на трасі кабельної лінії.

При такій схемі підключення від генератора до місця пошкодження протікає пара струмів, яка створює у кабелі магнітне поле. При переміщенні вздовж кабельної лінії (до місця пошкодження) це магнітне поле через наявність скрутки жил повертається навколо осі кабелю, переміщуючись по спіралі. Завдяки цьому ЕРС, що наводиться в індукційних перетворювачах і відповідно в головних телефонах, буде мати мінімальне та максимальне значення. Відстань між максимумами і мінімумами може змінюватись від 0,5 – 1,5 м. Над місцем міжфазного пошкодження при малому опорі між жилами чутність сигналу що приймається збільшується, а за місцем пошкодження сигналу від кроку скрутки практично не чути. При переміщенні над кабелем в місці розташування муфти довжина інтервалу з максимальним звучанням збільшується, при цьому чутність сигналу буде вище за рахунок великої відстані між жилами в муфті (рис. 4.2 б). По цим признакам визначається розміщення муфти кабелю. При переміщенні по трасі кабельної лінії чутність сигналу що приймається може мінятися через зміни глибини (рис. 4.2 в) прокладки кабелю (при цьому сигнал що приймається буде плавно змінювати свою чутність до зникнення); чутність змінюється, якщо кабель прокладений через комунікації або авто магістралі в металевій трубі (при цьому чутність сигналу від шагу скрутки припиняється відразу). Слід вказати, що при проходженні кабельної лінії по трасі через ділянки з різними конструкціями кабелів (наприклад, кабель АСБ з'єднано за допомогою муфти з кабелем ААБ) ЕРС що наводиться в індукційному перетворювачі, буде різна: над кабелем ААБ вона буде менша, чим над кабелем АСБ або СБ. Це відбувається внаслідок того, що кабель ААБ має краще екранування. Зменшення сигналу після муфти складає враження, що місце пошкодження знайдено. Щоб уникнути помилки, слідує після зменшення сигналу збільшити чутливість приймача і прослухати зону кабельної лінії з пониженим сигналом. Якщо в головних телефонах прослуховується максимуми і мінімуми сигналу, що приймається, тоді пошкодження слід шукати далше по трасі кабельної лінії. При роботі в зоні сильних електромагнітних перешкод, які викликані струмами промислової частоти 50 Гц (повітряні лінії, трансформаторні підстанції, діючі лабораторні лінії, трансформаторні підстанції і т.д.), слід перейти на частоту 10000 Гц, при цьому вплив поля частоти 50 Гц буде зменшено.

5 Задачі та зміст технічного нагляду при спорудженні кабельної лінії

Пошкодження кабельної лінії призводить до перерви подачі електроенергії, нанесенням збитку на одному господарству і, звичайно, до значних затрат праці та матеріалів на ремонт ліній і відновлення нормального режиму роботи мережі. Діючі конструкції вітчизняних силових кабелів забезпечують високу надійність їх роботи в умовах експлуатації. Електрична міцність ізоляції кабелів настільки велика, що електричний пробій ізоляції при номінальній напрузі виключається.

Не зважаючи на це, рівень пошкодження кабельних ліній все ще залишається дуже високим і в міських мережах складає 10 і більше пошкоджень за рік на кожні 100 км загальної протяжності кабельних ліній, які знаходяться в експлуатації, що причиною пошкоджень кабельних ліній в абсолютній своїй більшості випадків являються механічні пошкодження, які завдаються кабелям в процесі експлуатації при проведенні земляних робіт на трасах, а також дефекти прокладання та монтажу муфт допущені в період спорудження кабельної лінії.

Високий рівень пошкодження кабельних ліній вносить стихійність в роботу персоналу і не дає змоги вести планову, систематичну роботу по підвищенню надійності, забезпеченню високої якості і економічності роботи мережі, віддаючи кошти і сили на трудомісткі роботи по ліквідації пошкоджень і виконання аварійно-відновлювальних ремонтів кабельних ліній.

Для виключення можливості механічного пошкодження, як діючих, так і тих кабельних ліній, які споруджуються знову.

Правила технічної експлуатації електричних станцій та мереж (ПУЕ) радять експлуатаційному персоналу вести технічний нагляд за роботами по прокладанню кабелю і монтажу муфт, які виконуються будівельно-монтажними організаціями при спорудженні нових кабельних ліній. Цими ж правилами також передбачено, що розкопки на трасах кабельних ліній або земляні роботи

поблизу них можуть проводитись тільки з письмового дозволу підприємства електромережі.

Задачею технічного нагляду являється забезпечення високої якості скритих робіт, якими являються прокладання кабелю і монтаж муфт, які виконані різними будівельно-монтажними підрядними організаціями, а також нагляд за земляними роботами, які ведуться різними організаціями на трасах діючих кабельних ліній або поблизу них при будівництві, реконструкції і ремонті підземних споруд.

Висока якість, стійка і надійна робота як кабельних ліній, які знову споруджуються після впровадження в експлуатацію, так і діючих кабельних ліній може бути забезпечена при умові точного виконання персоналом будівельно-монтажної організації наступних вимог: правил улаштування електроустановок; проектних рішень, прийнятих при розробці траси і споруджень кабельної лінії; технічних умов, заданих при узгодженні проекту; правила технічної експлуатації електричних станцій та мереж по здійсненню технічного нагляду і організації охорони діючих кабельних ліній для захисту їх від механічних пошкоджень при проведенні земляних робіт. За своїм змістом робота представника експлуатації, який здійснює технічний нагляд за спорудженням кабельної лінії може бути розділена на три періоди: період підготовки до ведення робіт, період виконання робіт (риття траншеї, прокладання кабелю і монтаж муфт) і період завершення робіт (здача, прийом і введення лінії в експлуатацію). Для кожного з вищевказаних періодів проведення робіт представником технічного нагляду розробляються технічні та організаційні заходи, метою яких являється:

перевірка якості, об'єму, змісту проекту спорудження кабельної лінії графічного матеріалу відповідно до вимог інструкції по розробці для промислового будівництва (СН-202-69);

встановлення можливості якісного виконання будівельно-монтажною організацією прийнятих на себе робіт по спорудженню кабельної лінії, наявність в цій організації кваліфікованого персоналу робітників і монтерів-

кабельників, які допущені до монтажу муфт і мають спеціальне посвідчення, яке дає право виконувати монтажні роботи, як це передбачено вимогами технічної документації на муфти для силових кабелів з паперовою та пластмасовою ізоляцією до 35 кВ;

забезпечення високої якості будівельних і монтажних робіт при спорудженні кабельної лінії, виконання при цьому вимог гл. II-3 ПУЕ, а також ПТЕ по захисту діючих кабельних ліній від механічного пошкодження в процесі виконання розкопів і споруджень траншей за технологією, організація охорони кабельних ліній;

виконання вимог інструкції по опографічно-геодезичним роботам для міського, селищного і промислового будівництва (СН-212-62) при розбиванні траси лінії, а також зніманні виконаного прокладання кабелів і введення їх в спорудження мережі для складання виконавчої документації.

Технічний нагляд за прокладанням кабелю і монтажом муфт, який здійснюється експлуатаційним персоналом, являється найголовнішим протиаварійним заходом, і тому ці роботи повинні плануватися і передбачатися в експлуатаційних планах і графіках разом з іншими роботами по ремонту і експлуатаційному обслуговуванні мережі. Представники технічного нагляду повинні вирізнятися з числа найбільшкваліфікованої і дисциплінованої частини персоналу підприємства електромережі.

Впроцесі проведення робіт по спорудженню кабельної лінії до моменту їх закінчення складається технічна документація. За своїм змістом та призначенням технічна документація на кабельну лінію складається з двох частин: виконавчої документації, яка складається будівельно-монтажною організацією (замовником) і передається нею підприємству електромережі при представленні лінії до здачі в експлуатацію, і документації, яка складається експлуатаційним персоналом підприємства електромережі до моменту введення нової лінії в експлуатацію, зміст якої буде розглянутий пізніше.

До першої частини відносяться;

проект кабельної лінії, який має в своєму складі рішення по антикорозійному захисту за всіма узгодженнями і перелік всіх відхилень від проекту із вказівкою, з ким і коли ці відхилення узгодженні;

звірене із натурою виконавче креслення траси з мірилом 1:500 або 1:200 з усіма прив'язками кабельної лінії та муфт до капітальних споруджень або спеціально встановлених орієнтирів (пікетів), затверджений технічним наглядом підприємства електромережі;

акти на приховані роботи, якими є огляд кабелю, який прокладений в траншеї, пристрої "постелі", підсіпів, захисту кабельної лінії від механічних пошкоджень, відповідність габаритів місць взаємного зближення та перетину кабельної лінії, яка споруджується, з трубопроводами та іншими підземними спорудами вимогам ПУЕ, а також на монтаж всіх змонтованих на лінії муфт;

акт перенесення в натуру проекту траси та правильності виконання робіт по розбиванню траси;

акти про стан кабелів на барабанах, а в разі одержання кабелю по імпорту та протоколи аналізу зразків;

акти прийому траншей, блоків, труб та тунелів для монтажу кабелів;

протокол прогрівання кабелів на барабанах перед прокладанням, якщо роботи проводились при температурі нижче 0°C;

акт прийому будівельної частини кабельних споруд для проведення монтажних робіт;

журнал прокладання кабелів і монтажу муфт;

Під час приймання кабельної лінії в експлуатацію перед її увімкненням проводиться:

визначення цілості жил кабелів та фазування жил;

виміювання опору заземлення кінцевих муфт;

перевірка дії встановлених на лінії пристроїв антикорозійного захисту від блукаючих струмів;

випробування ізоляції лінії підвищеною напругою постійного струму.

6 Прийом і введення кабельної лінії в експлуатацію

Після закінчення всіх будівельних і монтажних робіт кабельна лінія пред'являється до здачі. Відповідно до вимог СН і П, прийом в експлуатацію нової споруди мережі може бути виконаний підприємством електромережі після пред'явлення повністю закінченої споруди з усією технічною документацією зі сторони замовника, якими являються міськрада, міністерства, окремі відомства та організації, які їх представляють. В цьому випадку при пошкодженні кабельної лінії через дефекти в прокладанні кабелю і монтажі муфт з вини будівельно-монтажної організації підприємство електромережі може пред'явити рекламацию до замовника на протязі 3 років з моменту прийому кабельної лінії в експлуатацію. Ремонт кабельної лінії в цьому випадку повинен виконуватись силами, грошми і за рахунок будівельно-монтажної організації, з вини якої виникло пошкодження лінії в результаті допущеного нею дефекту в роботі.

Для прийому лінії і її спорудження в експлуатацію організовується комісія, в яку входять представники замовника, монтажної організації та експлуатації, включаючи особу, яка здійснює технічний нагляд за проведенням робіт. Прийом будівельних споруд кабельної лінії проводиться за участю спеціаліста будівельника. Представником замовника пред'являється і передається технічна документація підприємству електромережі, перелік якої приведений вище.

Акт прийому - здачі оформляється після усунення будівельно-монтажною організацією всіх виявлених комісією недоліків та підготовки лінії до вмикання.

В акті відзначається:

найменування організації, яка виконувала спорудження і монтаж кабельної лінії, прізвища працівників і представника експлуатації, який здійснює технічний нагляд;

найменування, призначення лінії і місце прокладання;

коротка характеристика лінії (марка кабелю, площа поперечного перерізу, напруга, типи з'єднувальних і кінцевих муфт, їх кількість і ін.);

відповідність виконаної лінії проекту і висновок про придатність лінії для експлуатації.

До моменту введення кабельної лінії в експлуатацію персонал підприємства електромережі, зі своєї сторони, оформляє наступну технічну документацію:

паспорт кабельної лінії.

інвентарний план траси кабельної лінії, складений на основі виконавчої документації і нанесений на точний топографічний план місцевості в масштабі 1:500 або 1:200 в залежності від заповнення плану діючими кабельними лініями та спорудами електромережі.

Для зручності користування кресленням, виконання необхідних вимірювань і вирішення інших інженерних задач на топографічний інвентарний план траси кабельної лінії наносяться лише зовнішні контури будівель, які також є постійними орієнтирами. До цих будівель “прив’язуються” прокладені кабельні лінії, їх муфти та споруди рис.

Траса знову прокладеного кабелю наноситься на інвентарний план якомога більшою точністю та деталізацією лінією вздовж контурів будівель, які розташовані вздовж вулиці, проїзду на відстані, яка відповідає масштабу плану. Кабельні лінії і споруда інших організацій в інвентарних планах трас кабельних ліній підприємства електромережі, як правило, не зображаються. Кожна кабельна лінія, яка прокладена в землі і в удосконаленій каналізації - блоках, каналах, колекторах зображається своїм умовним позначенням (кольором) в залежності від напруги та призначення лінії (живляча лінія напругою 6 - 10 - 35 кВ, розподільча лінія напругою 6 - 10 кВ і лінії напругою до 1000 В). Умовні позначення кабельних ліній і їх споруд приведені на рис.

Інвентарний план траси кабельної лінії звичайно виконується на цупкому креслярському папері планшетами розміром 500x500 мм². Для роботи в польових умовах використовуються копії інвентарних планів, які виконуються на полотняній кальці або світокопії.

Експлуатація кабельної мережі неможлива без належного змісту інвентарних планів трас кабельних ліній і добре налагодженого технічного архіву. Плани повинні підтримуватись на сучасному рівні шляхом

систематичного та своєчасного нанесення на них всіх поточних змін, місця розміщення кабеля і муфт, які викликані ремонтами, реконструкцією і капітальним будівництвом мережі.

Технічний архів складається з архівних папок на кожну лінію. В справі кожної кабельної лінії зберігається вся документація (акти, заводські протоколи випробування кабелю, протоколи аналізу зразків, підігріву і ін.). Документи підшиваються згідно з хронологічним порядком їх прийому.

Після прийому кабельної лінії експлуатаційним персоналом проводяться наступні підготовчі роботи до включення лінії:

встановлюються найбільші допустимі розрахункові струмові навантаження по ділянці траси з найгіршими тепловими умовами;

новій кабельній лінії присвоюється диспетчерський номер або найменування.

Бірки із нанесеним диспетчерським номером або найменуванням вивішуються на обох кінцевих приєднаннях в розподільчих пристроях (ЦП, РП і ТП), між якими ця лінія прокладена. На бірках вказується також площа поперечного перерізу лінії.

Для забезпечення умов диспетчерського управління і зручності експлуатації необхідно керуватися наступними принципами маркування кабелів:

бірка у кожній кінцевій муфті і повинна вказувати той розподільчий пристрій центру живлення (ЦЖ), розподільчого пункту (РП), трансформаторної підстанції (ТП) або обладнання, від якого кабель прокладений і приєднаний. Таким чином, найменування кабельної лінії в мережі визначається двома номерами або найменуваннями РП, між якими цей кабель прокладений або комутаційної апаратури, до якої кабель приєднаний своїми кінцевими муфтами.

Якщо між розподільчими пристроями прокладені дві і більше кабельні лінії, то кожній із них присвоюється той же номер з додаванням букв А, Б, В і т. д. ;

якщо кабельна лінія заходить і виходить в проміжні РП, де її приєднання виконується під один болт без застосування комутаційної апаратури, то назва кабелю повинна містити також і номери проміжного РП;

живлячим кабельним лініям, які заходять в РП трансформаторних пунктів без застосування комутаційної апаратури, надається номер першого (головного) трансформаторного пункту (ТП), в який заходить ця лінія.

З урахуванням наданого диспетчерського номеру заносяться необхідні зміни в інвентарні плани трас кабельних ліній, оперативні схеми електричних з'єднань диспетчерських щитів району, ділянки, планшети схем оперативних бригад, а також технічні паспорти розподільчих пристроїв мережі. До включення лінії під напругу експлуатаційним персоналом проводяться наступні додаткові випробування кабельної лінії: визначення цілосності струмоведучих жил; фазування жил по фазах; випробування підвищеною напругою випрямленого струму; вимірювання блукаючих струмів, перевірка дії встановленого антикорозійного захисту (при його наявності); вимірювання опору заземлення. Для кабелів напругою 3 - 10 кВ випробування проводяться шестикратним, а для кабелів 20 - 30 кВ п'ятикратним значенням від номінальної напруги кабеля. Тривалість випробування кожної фази 10 хвилин.

В електроустановках напругою більше 1000 В з малими струмами замикання на землю (500 А і менше) найвищі допустимі значення опору заземлюючого пристрою в періоди найменшої провідності ґрунту повинні бути:

для заземлюючого пристрою, одночасно використовується для електроустановок до 1000 В;

для заземлюючого пристрою, використовується тільки для електроустановок більше 1000 В.

При невідповідності або появі сумнівів що до стану ізоляції і інших даних нова кабельна лінія може підлягати випробуванню за спеціальною програмою з участю лабораторії підприємства електромережі. При позитивних результатах випробувань нова кабельна лінія ставиться з однієї сторони під робочу напругу, і за допомогою фазувального пристрою перевіряється відповідність фаз кабелю забарвленню шин і обладнання.

Після перевірки одноіменності фаз під напругою нова споруджена кабельна лінія може бути введена в експлуатацію і увімкнена на навантаження.

7. Техніко-економічне обґрунтування доцільності проектування

Перехід економіки України на ринкові методи регулювання вимагає створення таких машин, механізмів, приладів, пристроїв, технологій, програмних продуктів тощо, які б відповідали потребам конкретних споживачів, мали вищий технічний рівень та кращі економічні характеристики. Тому при виконанні роботи необхідно здійснити ретельний економічний аналіз технічних рішень, та розрахувати економічний ефект від впровадження розробок, провести мінімальні маркетингові дослідження для свого технічного рішення, показати його практичну користь як для потенційних споживачів, так і для виробників.

В зв'язку з цим економічні розрахунки та обґрунтування в роботі проектах та роботах мають бути органічно пов'язані з усім комплексом питань, які вирішуються в ході роботи проектування.

Економічні розрахунки та обґрунтування в дипломному проекті повинні підсилити технічну частину, підкреслити сильні та привабливі сторони проекту, зацікавити інвесторів (кредиторів) в виділенні коштів для практичної реалізації запропонованих технічних рішень.

Оскільки критерії визначення доцільності нової розробки та пошуки оптимальних варіантів технічних рішень базуються на економічних факторах, процес дипломного проектування потребує відповідних техніко-економічних обґрунтувань та економічних розрахунків.

Механізм співставлень капітальних вкладень та експлуатаційних витрат для проведення техніко-економічних обґрунтувань при наявності аналога виконується слідуєчим чином.

В основу розрахунків покладено співставлення величин капітальних вкладень (К) та експлуатаційних витрат (Е) для аналога (індекс 1) та нового технічного рішення, що пропонується дипломником (індекс 2).

Можливі випадки співставлень:

Аналог (1) та запропонований технічний продукт (2) мають однакові основні технічні показники. Механізм обґрунтування наведений в таблиці 7.1

Таблиця 7.1

Порівняння капітальних вкладень та експлуатаційних витрат

Співвідношення між варіантами		Формули для розрахунку економічних показників	Висновки щодо економічної ефективності нової розробки
по капітальним вкладенням K	по експлуатаційних витратах E		
$K_1 > K_2$	$E_1 = E_2$	Абсолютний ефект на капітальних вкладеннях: $K_{\text{еф}} = K_1 - K_2$ (грн.)	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 < K_2$	$E_1 = E_2$	Додаткові капітальні вкладення: $K_{\text{д}} = K_2 - K_1$ (грн.)	Кращим буде аналог (1)
$K_1 = K_2$	$E_1 > E_2$	Абсолютний ефект на експлуатаційних витратах: $E_{\text{еф}} = E_1 - E_2$ (грн./рік)	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 = K_2$	$E_1 < E_2$	Додаткові експлуатаційні витрати: $E_{\text{д}} = E_2 - E_1$ (грн./рік)	Кращим буде аналог (1)
$K_1 > K_2$	$E_1 > E_2$	Абсолютний ефект на капітальних вкладеннях і на експлуатаційних витратах: $K_{\text{еф}} = K_1 - K_2$; $E_{\text{еф}} = E_1 - E_2$	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 < K_2$	$E_1 < E_2$	Додаткові капітальні вкладення та додаткові експлуатаційні витрати $K_{\text{д}} = K_2 - K_1$; $E_{\text{д}} = E_2 - E_1$	Кращим буде аналог (1)

Співвідношення між варіантами		Формули для розрахунку економічних показників	Висновки щодо економічної ефективності нової розробки
по капітальним вкладенням К	по експлуатаційних витратах Е		
$K_1 < K_2$	$E_1 > E_2$	Термін окупності додаткових капітальних вкладень: $T_{ок2/1} = \frac{K_2 - K_1}{E_1 - E_2}$	Якщо термін окупності не перевищує 4-5 років, то кращим вважається запропонований варіант (2) . Якщо ж термін окупності більше 4-5 років, то кращим слід вважати аналог (1)
$K_1 > K_2$	$E_1 < E_2$	Термін поглинання економії капітальних вкладень додатковими експлуатаційними витратами: $T_{п} = \frac{K_1 - K_2}{E_2 - E_1}$	Якщо термін поглинання більше 4-5 років, то оптимальним слід вважати запропонований варіант (2) . Якщо термін поглинання не перевищує 4-5 років, то кращим вважається аналог (1).

Аналогом в даному випадку виступає кабель марки АСБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е). Це кабель з алюмінієвими жилами в свинцевій оболонці, броньований стальними стрічками з захисним поверховим шаром.

Запропонований варіант - кабель марки ААБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е). Це кабель з алюмінієвими жилами в алюмінієвій оболонці, броньований стальними стрічками з захисним поверховим шаром.

Тобто, аналог та запропонований варіант відрізняються лише матеріалом, з якого виготовляється захисна оболонка.

Переваги свинцевої оболонки: ологонепроникність, пластичність, технологічність, при якій забезпечується можливість накладення його за допомогою пресу при порівняно невисокій температурі (220-250°C), мала хімічна активність, відносна стійкість до хімічної дії речовин, які знаходяться в землі. Марка свинцю С-3.

Недоліки свинцевої оболонки: нестійкість до електрохімічної корозії, висока ціна та дефіцитність, мала механічна міцність, мала стійкість до вібрації, велика вага.

Переваги алюмінієвої оболонки: більша механічна міцність, менша маса, невелика текучість, вища теплопровідність, стійкість до вібрацій.

Недоліки свинцевої оболонки: великий модуль пружності, що змушує збільшувати товщину оболонок, менша корозиційна стійкість, висока температура плавлення (657°C). Марка алюмінію-А-5.

Згідно (24) таб. 9.10. визначаємо капітальні вкладення на спорудження КЛ 10 кВ (витрати на кабель, обладнання, будівельно монтажні роботи, спеціальні переходи).

В умовах нестабільної економіки країни капітальні вкладення рекомендується визначати у твердій вільно конвертованій валюті - доларах США. У даний час прийнято, що ціни 1984 р. в карбованцях відповідають сучасним цінам в доларах США. Для переходу до національної валюти необхідно приведені в довідниках показники вартості помножити на офіційний курс долара США на момент виконання розрахунків (на 20.06.00. він становить 5.5 грн. за 1 доллар США).

Для кабеля марки АСБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е) капітальні вкладення становлять:

$$K_1 = 10.5 \cdot 5.5 = 57.75 \text{ тис. грн.}$$

Для кабеля марки ААБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е) капітальні вкладення становлять:

$$K_2=8.6 \cdot 5.5=47.3 \text{ тис. грн.}$$

Амортизаційні відчислення потрібні для капітального ремонту обладнання і споруд та повної заміни основних фондів після їх зносу.

Щорічні витрати на обслуговування електричних мереж (ремонт, зарплата експлуатаційному персоналу, загальні витрати по мережі) можуть приблизно оцінені пропорційно вартості основних фондів.

Згідно (24) таб. 8.2. щорічні експлуатаційні витрати становлять:

Для кабеля марки АСБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е) становлять 4.3% від капітальних втрат, тобто

$$E_1=0.043 \cdot 47.25 \cdot 5.5=11.175 \text{ тис. грн.}$$

Для кабеля марки ААБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е) становлять 6.3% від капітальних втрат, тобто

$$E_2=0.063 \cdot 38.7 \cdot 5.5=13.409 \text{ тис. грн.}$$

Згідно таб. 14.1 при $K_1 > K_2$, $E_1 < E_2$ потрібно знайти термін поглинання економії капітальних вкладень додатковими експлуатаційними витратами:

$$T_{\text{п}} = \frac{K_1 - K_2}{E_2 - E_1} = \frac{57.75 - 47.3}{13.409 - 11.175} = 4.7 \text{ року;}$$

Якщо термін поглинання більше 4-5 років, то оптимальним слід вважати(2). Якщо термін поглинання не перевищує 4-5 років, то кращим вважається аналог (1).

В данному випадку термін поглинання економії капітальних вкладень додатковими експлуатаційними витратами $T_{\text{п}}$ більше 4-5 років. Це означає, що запропонований варіант (2) є більш оптимальним ніж аналог (1). Тому згідно техніко-економічним показникам, перевагу слід надати кабелю з алюмінієвими жилами і алюмінієвою оболонкою. Оптимальним слід вважати запропонований варіант (2) - кабель марки ААБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е).

7.1. Релейний захист і автоматика

Системи електропостачання є складними виробничими об'єктами кібернетичного типу, всі елементи яких приймають участь в єдиному виробничому процесі, основними специфічними особливостями яких є швидкоплинність явищ і наявність пошкоджень аварійного характеру - коротких замикань в електроустановках. Тому надійне і економічне функціонування систем електропостачання можливе лише при автоматичному управлінні ними. З цією ціллю використовується комплекс автоматичних пристроїв, серед яких велике значення мають пристрої релейного захисту і автоматики. Збільшення споживання електроенергії і ускладнення систем електропостачання потребують постійного вдосконалення цих пристроїв. Є тенденція створення автоматизованих систем управління на основі використання цифрових універсальних та спеціалізованих обчислювальних машин. Разом з цим широко використовуються і прості засоби захисту та автоматики: плавкі запобіжники, автоматичні вимикачі, магнітні пускачі, реле прямої дії, магнітні трансформатори струму, пристрої змінного оперативного струму та інше. Найбільш розповсюджені струмові захисти, прості пристрої автоматичного повторного включення (АПВ), автоматичного включення резервного джерела струму (АВР) і автоматичного асинхронного розвантаження (АЧР).

Пристрої релейного захисту та автоматики повинні виконувати визначені функції. Для релейного захисту такими функціями є спрацювання при пошкодженні елементу системи електропостачання, що захищається, і неспрацювання при коротких замиканнях за межами цього елементу (зовнішні к. з.), а також в нормальних режимах. Іноді допускається спрацювання захисту і при зовнішніх К.З.

Релейний захист має визначені властивості. Основні з них - це селективність (визначення елемента, який пошкоджений, та тільки його вимикання), швидкодія захисту, чутливість релейного захисту (здатність реагувати на пошкодження у мінімальних режимах роботи системи, коли зміна дючої величини мінімальна), надійність функціонування (здатність об'єкта виконувати функції в заданому об'ємі при відповідних умовах експлуатації).

На кабельних лініях 10 кВ використовується захист струмовою відсічкою без витримки часу та максимальний струмовий захист.

Швидкодіюча перша ступінь захисту - струмова відсічка без витримки часу має тільки один вимірювальний орган. Максимальний струмовий захист складається з двох частин: вимірювальний та витримки часу. Максимальний струмовий захист виконують з незалежною і залежною від струму витримкою часу.

Функції вимірювального органу виконує реле струму КА, які входять у вимірювальну частину схеми. Вони реагують на пошкодження або порушення нормального режиму роботи і вводять в дію орган витримки часу, якщо він є. Для підвищення чутливості захисту іноді використовують комбінований вимірювальний орган, в якому разом з реле струму є також реле напруги КВ. В якості органу витримки часу використовують реле часу КТ. В схемах струмових захистів є також допоміжні реле, наприклад, проміжкове КЛ та вказівне КН. Селективна дія струмової відсічки досягається тим, що її струм спрацювання приймається більшим за максимальний струм короткого замикання, який проходить через захист при пошкодженні поза елементом, що захищається. Дія захисту при короткому замиканні на ділянці лінії, що захищається, забезпечується завдяки тому, що струм короткого замикання мережі збільшується по мірі приближення місця короткого замикання до джерела струму, при чому криві зміни струму короткого замикання мають різну крутизну в залежності від режиму роботи системи і виду короткого замикання.

Витримки часу у максимальних струмових захистів вибирають по ступінчатому принципу: починають вибір з найбільш віддаленого від джерела струму елемента та по мірі приближення до джерела струму збільшують її таким чином, щоб захист слідуєчюї ділянки мав витримку часу на ступінь селективності більше, ніж максимальна витримка попередньої ділянки.

Струмова відсічка:

Струм струмової відсічки:

$$I_{С.В.} \geq K_{ОТС} \cdot I_{К.З.МАКС.}^{(3)}$$

Де $I^{(3)}_{К.З.МАКС}$ - максимальний струм трьохфазного короткого замикання;
 $K_{ОТС}=1.2$ - коефіцієнт отстройки для ліній.

$$I^{(3)}_{К.З.МАКС} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_{Л}};$$

Повний опір кабельної лінії $Z_{Л}=Z_{ПИТ} \cdot L=0.27 \cdot 1.2=0.324$ Ом;

Де $L=1.2$ км - довжина кабельної лінії, $Z_{ПИТ}$ -повний питомий опір,

$$Z_{ПИТ} = \sqrt{R_{ПИТ}^2 + X_{ПИТ}^2} = 0.258^2 + 0.081^2 = 0.27 \text{ Ом/км};$$

для кабеля марки ААБл-3×120 мм. - активний питомий опір $R_{ПИТ}=0.258$;
 реактивний питомий опір $X_{ПИТ}=0.081$ Ом/км;

Максимальний струм трьохфазного короткого замикання:

$$I^{(3)}_{К.З.МАКС} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 0.324} = 17.84 \text{ кА};$$

Струм струмової відсічки:

$$I_{С.В.} \geq 1.2 \cdot 17.84 = 21.4 \text{ кА};$$

Максимальний струмовий захист :

Струм максимального струмового захисту розраховується наступним чином:

$$I_{МСЗ} \geq \frac{K_{Н} \cdot K_{СЗП}}{K_{В}} \cdot I_{роб.макс.};$$

Де $K_{Н}=1.2$ - коефіцієнт надійності для захисту, виконаним реле типу РТ-40;
 $K_{СЗП}=1.25$ - коефіцієнт самозапуска для побутового навантаження; $K_{В}=0.85$ -
 коефіцієнт повернення для реле типу РТ-40; $I_{РОБ,МАКС.}=150$ А.

Тоді

$$I_{МСЗ} \geq \frac{1.2 \cdot 1.25}{0.85} \cdot 150 = 264,7 \text{ А};$$

Час спрацювання струмової відсічки приймаємо $t=0$ с.

Час спрацювання максимального струмового захисту приймаємо $t=0.5$ с.

Для кабельної лінії 10 кВ можливе встановлення пристроїв АПВ та пристроїв АЧР.

8 Захист металевих оболонок кабелів від корозії

Захист підземних металевих споруджень, у тому числі кабелів, від корозії має велике значення. Оскільки заходи щодо її здійснення мають - міжвідомче значення, вони визначаються правилами СН 266-63 і додатково відомчими правилами та інструкціями. Загальний контроль за виконанням зазначених заходів здійснюється Управліннями (відділами) місцевих міських Рад.

Ушкодження силових кабелів корозією відбувається під впливом блукаючих електричних струмів, електрохімічного впливу ґрунту (ґрунтова корозія) і вібрації. Раніше основною причиною корозії кабелів були блукаючі струми, а в даний час унаслідок упровадження кабелів з алюмінієвими оболонками, захисні покриття яких в агресивних ґрунтах представляють слабкий захист від корозії, випадки їхнього ушкодження ґрунтовою корозією помітно зросли.

Ґрунтова корозія металевих оболонок кабелю від взаємодії з ґрунтом є своєрідним видом електрохімічної корозії. Інтенсивність корозії в цьому випадку сильно залежить від складу і особливо від наявності вологи й аерації в ґрунті (доступ повітря в ґрунт). Піщані ґрунти корозійно найменш активні, найбільше сильно розвивається корозія металів у кислих болотистих ґрунтах і в солончаках. Ґрунти, що володіють високим електричним опором, як правило, не викликають сильної корозії, а з низьким електричним опором—корозійно активні.

Кабелі, призначені для прокладки в землі, мають захисні покриття, що охороняють металеві оболонки (свинцеві, алюмінієві) від корозії. Однак у процесі експлуатації ці захисні покриття, просочуючись водою, що містить хоча б незначну кількість кислоти, солі і луку, стають з часом електролітичним середовищем подібно навколишньому ґрунтові, і в цьому випадку вони вже не захищають зазначені оболонки кабелю від корозії. Тому, якщо корозійний

процес виникає на кабелях, що значний час знаходяться в експлуатації, може ушкоджуватися сталева броня, свинцева й алюмінієва оболонки.

Необхідно мати на увазі, що інтенсивність руйнування свинцевої й особливо алюмінієвої оболонки від дії струму, що стікає в землю, значно велика, чим сталевій броні. Корозія свинцевих і алюмінієвих оболонок кабелю відбувається також при вмісті в землі або в стічних водах по трасі кабельні лінії гуминової кислоти, продуктів перегною. Наявність у ґрунті лугів при завалі траси кабельних ліній золою і шлаками, а також великий зміст вапна і хлоридів у мергельних ґрунтах при розташуванні поблизу траси кабельних ліній ям для гасіння вапна або внаслідок завалу траси будівельним сміттям, що містить вапно, створюють сприятливі умови для інтенсивної корозії свинцевої оболонки кабелю. У місцях, де передбачається можливість ушкодження кабелів ґрунтовою корозією, проводиться вимірювання електричного опору ґрунту або відбираються проби для оцінки його корозійності. Вимірювання питомого опору ґрунту зручно робити приладом МС-07. У зонах, де відсутні блукаючі струми, можна користуватися потенціометром ЕП-ІМ, включеним за чотирьохелектродною схемою. При вимірюванні приладом М.С-07 електроди розміщуються в одну лінію, що повинна проходити паралельно осі траси кабельної лінії на відстані 2—4 м від неї або перпендикулярно. Відстань між електродами приймається рівним подвійній глибині закладення кабелю.

Величина питомого опору ґрунту визначається по формулі (Ом·м)

$$\rho = 2\pi aR$$

де a — відстань між електродами, м; R — показання приладу МС-07, Ом.

Мінімальна річна величина питомого опору η_{\min} ґрунту обчислюється по формулі

$$\rho_{\min} = \rho_{\text{вим}} \eta_{\min}$$

де $\rho_{\text{вим}}$ - вимірювана величина питомого опору ґрунту; η_{\min} - коефіцієнт перерахування вимірюваної величини $\rho_{\text{вим}}$ до мінімальної

річного ρ_{\min} , що залежить від часу вимірювання і визначається по табл.

8.1

Таблиця 8.1 – Залежність коефіцієнта η_{\min} від часу вимірювання питомого опору ґрунту

Місяць року	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значення η_{\min} (ґрунти півночі європейської частини)	0,69	0,63	0,57	0,69	0,74	0,89	1,00	0,89	0,97	0,86	0,74	0,77

Дані ступені корозійної активності ґрунту стосовно металевих оболонок кабелів в залежності від їх питомого опору приведені нижче:

Величина питомого опору ґрунтів, Ом·м: Більше 100, 100-20, 20-10, 10-5, Менше 5

Корозійна активність: Низька, Середня, Підвищена, Висока, Дуже висока

Дані взяті з правил СН 266-63.

Корозійна активність ґрунтів, ґрунтових, річних і інших вод стосовно свинцевої оболонки кабелів залежить від кількості органічних і азотистих речовин, що містяться в них, і концентрації водневих іонів, обумовлених лабораторними дослідженнями.

Лабораторне дослідження корозійності здійснюється відбором проби ґрунту в кількості 0,5 кг, причому 70% цієї проби береться з глибини закладення кабелю і по 15% зі стінок шурфу або траншей у двох характерних по кольорі, складу і вологості місцях. Усі три частини перемішуються і поміщуються в закриту тару, що не допускає забруднення зразка.

Ступінь корозійної активності ґрунтів стосовно свинцевої оболонки кабелів оцінюється порівнянням даних аналізу проби ґрунту з величинами, приведеними в табл. 1, ступінь корозійної активності ґрунтових, річкових і інших вод - порівнянням даних аналізу проби води з величинами, приведеними в табл. 8.2

Таблиця 8.2

Корозійна активність ґрунтів по відношенню до свинцевих конструкцій у залежності від змісту органічних і азотних речовин і значення рН¹

Ґрунти	Показники корозійної активності			Корозійна активність
	Кількість органічних речовин у %	Концентрація водневих іонів (значення рН)	Кількість азотних речовин %	
Пісчані, пісчано-глинисті. Глинисті, солончакові, вапняки, слабо чорноземні. Багаті, чорноземні, торф'яні, ґрунти, забруднені різними речовинами (мусор, вапно)	Не більше 1	Від 6,5 до 7,5	Не більше 0,0001	Низька
	Від 1 до 1,5	Від 5 до 6,5 і від 7,5 до 9	Від 0,0001 до 0,001	Середня
	Більше 1,5	Менше 5 і більше 9	Більше 0,001	Висока

Степінь корозійної активності середовища характеризується даними приведеними в таблиці 8.3 та 8.4

Для важких агресивних умов (середня і висока корозійна активність) варто застосовувати кабелі зі свинцевими оболонками н захисними покриттями типу Бв , кабелі з алюмінієвими оболонками в суцільному пластикатовому шлангу або, тимчасово, з посиленням дворядним стрічковим захистом марки ААБ₂В.

Попередження ґрунтової корозії можливо за рахунок правильно обраної траси при проектуванні кабельних ліній і заборони в умовах експлуатації забруднення діючих трас усякими видами покидьків, що руйнують діють на металеві оболонки кабелю. При необхідності на діючих трасах виробляється заміна ґрунту на нейтральний ґрунт у відношенні корозії оболонок, або кабелі перекладаються в інше місце.

Корозійна активність ґрунтів по відношенню до алюмінієвої оболонки кабелів в залежності від значення рН вмісту хлоридів, сульфатів і іонів заліза

Таблиця 8.3

Ґрунти	Показники корозійної активності				Корозійна активність
	Значення рН	Кількість речовини в %			
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	
Всі, виключаючи забруднені сторонніми речовинами	6,0-7,5	<0,001	<0,005	<0,002	Низька Середня Висока
	4,5-6,0 і 7,5-8,5	0,001-0,005	0,005-0,010	0,002-0,010	
	<4,5 і >8,5	>0,005	>0,010	>0,010	

Примітка:1 Відбір проб ґрунта і води виконується у відповідності із рекомендаціями СН 266-63

2 Хімічний аналіз проб повинен виконуватись у лабораторних умовах

Корозійна активність ґрунтових, річкових та інших вод по відношенню до алюмінієвої оболонки кабелів в залежності від значення рН, вмісту хлоридів, сульфатів і іонів заліза

Таблиця 8.4

Ґрунти	Показники корозійної активності				Корозійна активність
	Значення рН	Кількість речовини в %			
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Fe ³⁺	
Ґрунтові, річкові, озерні та інші водоймища	6,0-7,5	<5	<30	<1	Низька Середня Висока
	4,5-6,0 і 7,5-8,5	5-50	30-150	1-10	
	<4,5 і >8,5	>50	>150	>10	

Корозія металевих оболонок кабелів блукаючими струмами в процесі їхньої експлуатації відбувається на кабелях, прокладених у землі (струми витoku від електричних установок постійного струму, що проходять у землі і підземних металевих спорудженнях).

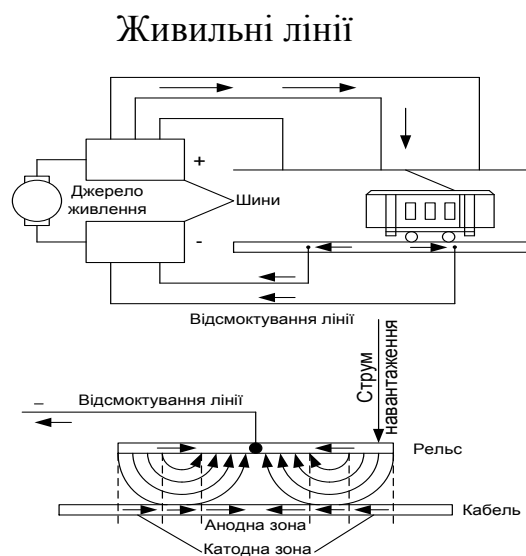


Рис. 8.1 Схема живлення трамвая й утворення небезпечних корозійних зон блукаючими струмами в землі.

Корозія оболонок кабелів, викликана перемінним струмом, як показує практика, незначна. Постійний струм може при відомих умовах викликати значні руйнування металевих оболонок, і тому для міської кабельної мережі найбільш небезпечним джерелом корозії є пристрої постійного струму електрифікованих залізниць.

Живлення тролейного проводу трамваїв виробляється звичайно від позитивного полюса тягової підстанції, негативний же приєднується кабельними лініями до різних точок рейкових шляхів, названих пунктами, що відсмоктують. (Рис. 8.1). До цих пунктів стікаються по рейках зворотні струми трамвайної мережі. Так як рейки електротягових пристроїв практично не можуть бути ізольовані від землі, то проходячий по них струм частково відгалужується в землю і знаходить шляхи найменшого опору до місця розташування пунктів, що відсмоктують. Якщо в зоні дії цих струмів є кабельні лінії, металеві

оболонки яких є гарними провідниками, то блукаючі струми з землі переходять в оболонки кабелів, а поблизу відсмоктуючих пунктів виходять з них. Зона, у якій блукаючі струми переходять з навколишнього середовища в оболонку кабелю, називається катодною. У цій зоні при відсутності в ґрунті лужних речовин корозії оболонок кабелів не відбувається. Зона, у якій блукаючі струми виходять з оболонки кабелю в навколишнє середовище, називається анодною, у ній і відбувається корозія оболонок кабелів. Визначення тієї або іншої зони виробляється виміром потенціалу на оболонках кабелю стосовно землі. Позитивний потенціал свідчить про наявність анодної зони, негативний потенціал — про наявність катодної зони.

Руйнування металевих оболонок відбувається тим сильніше, чим більша щільність струму, що переходить з кабелів у землю. Для броньованих кабелів, прокладених у ґрунтах з питомим опором більш 20 Ом·м, середньодобова щільність струму витoku в землю не повинна перевершувати 0,15 мА/дм². Для голих освинцьованих кабелів анодні зони вважаються небезпечними незалежно від щільності блукаючих струмів.

Блукаючі струми в землі виникають головним чином через несправність рейкових шляхів залізничного електротранспорту. Перехід блукаючих струмів в оболонки кабелів значною мірою залежить від взаємного розташування кабельної лінії і рейкових шляхів, будучи особливо інтенсивним при зближенні з рейками в різних місцях по трасі. Небезпечними в частині корозії є також місця перетинань кабелів з рейками, ділянки поблизу відсмоктуючих пунктів, у місцях розташування хрестовин і стрілок рейкових шляхів.

Вимоги по влаштуванню рейкових шляхів і організації нагляду за їхнім станом визначаються правилами СН 266-63, якими передбачається обов'язкове влаштування зварених з'єднань рейкових стиків, для того щоб забезпечити гарну провідність струмів по них, і регламентуються величини опору з'єднань у рейковій мережі, а також вимоги до ліній, що відсмоктують, і інші основні положення по встановленні рейкових шляхів електрифікованих залізниць і

підземних металевих споруджень, що перетинають рейкові шляхи або зближаються з ними.

Досвід експлуатації показує, що якщо рейкові шляхи й інші пристрої електрифікованих залізниць відповідають вимогам зазначених правил, то блукаючі струми дуже незначні і не представляють великої погрози для підземних кабельних ліній.

Необхідно відзначити, що руйнування металевих оболонок кабелів від дії блукаючих струмів у значній мірі послабляється тим, що броня і свинцева або алюмінієва оболонка кабелю добре заземлюються на обох кінцях лінії, а в місцях пристроїв сполучних муфт припаюються металеві перемички, що забезпечують гарну провідність металевих оболонок кінців кабелів, що з'єднуються. Ці заземлення знижують потенціал оболонок кабелю, відводячи частково безпосередньо в землю блукаючі струми.

Таким чином, тільки по зовнішньому огляді броні і навіть за результатами електричних вимірів потенціалів і щільності струму на броні кабелю не можна зробити для всіх можливих випадків правильного висновку про стан свинцевої чи алюмінієвої оболонки і небезпечність, що загрожує їм у даному місці.

Оцінка безпеки корозії металевих оболонок кабелів блукаючими струмами виробляється на підставі визначення наявності блукаючих струмів у землі, різниці потенціалів між металевими оболонками кабелю і землею, рейками електрифікованого транспорту й інших підземних споруджень, що знаходяться поблизу кабельної лінії, величини і напрямку струму в металевих оболонках кабелю і поверхневої щільності струму, що стікає з оболонки кабелю в землю.

Визначення наявності блукаючих струмів виробляється шляхом аналізу вимірів різниці потенціалів між двома точками землі через кожні 1000 м по двох взаємно перпендикулярним напрямкам при відстані 100 м між вимірювальними електродами. Для виміру використовується вольтметр із внутрішнім опором не менш 10 000 Ом/В шкали з межами вимірювання 100-0-100 мВ, 1-0-1 В і 10-0-10 В. Дуже зручний для цієї мети багатограничний

самописний переносний мілівольтметр постійного струму типу НЗ9. Контакт із землею здійснюється за допомогою неполяризованих електродів. Показання вольтметра відзначають через кожні 30 с протягом 15 хв.

Якщо вимірювана різниця потенціалів має хитливий характер, тобто змінюється по величині і знакові або тільки по величині, то це вказує на наявність блукаючих струмів; стійкий характер вказує на наявність струмів ґрунтового походження, або блукаючих струмів від ліній передачі постійного струму по системі «провід — земля», якщо такі є в обстежуваному районі.

Вимірювання різниці потенціалів між металевими оболонками кабелю і землею знаходиться контактним методом із застосуванням вольтметра з великим внутрішнім опором не менш 10 000 Ом/В шкали з межами вимірювання 1-0-1, 10-0-10 і 20-0-20 В. При різниці потенціалів менше 1 В варто використовувати неполяризаційний електрод, а при більшій різниці потенціалів — металевий сталевий або свинцевий електрод. Електрод, що заземлює, повинний розташовуватися ближче до кабелю. Покази вольтметра відзначають через 15-20 с, а при частому русі потягів — через 5-10 с. Необхідно, щоб за період вимірювань пройшло не менш трьох електропоїздів у різних напрямках.

Вимір різниці потенціалів між металевими оболонками кабелів і іншими металевими підземними спорудженнями і рейками трамвая або електрифікованої залізниці виробляється вольтметром з межами вимірів 10-0-10, 20-0-20 і 100-0-100 В. Визначення напрямку струму в оболонках кабелю виробляється по методу спадання напруги за допомогою мілівольтметра з межами вимірів 1-0-1 і 10-0-10 мВ. Контакт вимірювальних провідників із бронею кабелів здійснюється сталевим електродом, а зі свинцевою оболонкою кабелю — свинцевим електродом. Про напрямок струму в оболонці кабелю судять по відхиленню стрілки від нульового положення.

Вимір величини струму, що проходить по оболонках кабелю, виробляється по методу падіння напруги або по методу компенсації. Вимірювання величини струму методом спадання напруги виробляється мілівольтметром з межами

вимірювань 1-0-1, 10-0-10 мВ. Середнє значення струму, що проходить по металевих оболонках кабелю, визначається по наступній формулі:

$$I_{cp} = \frac{\Delta U_{cp}}{Rl},$$

де ΔU_{cp} — середнє значення спадання напруги на обмірюваній ділянці кабелю;

R — опір 1 м металевих оболонки кабелю, Ом;

l — відстань між точками вимірювань, м

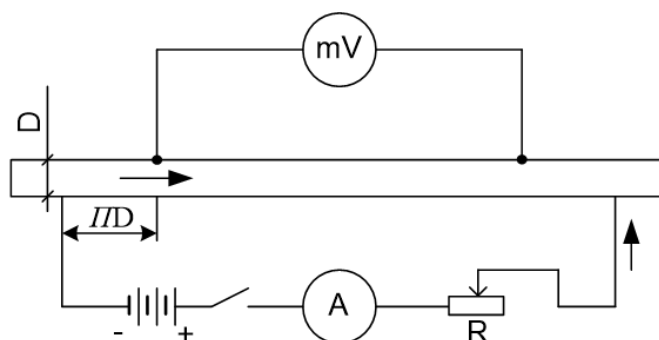


Рис. 8.2 Схеми вимірювання за методом компенсації величини струму, що протікає по оболонках кабелю.

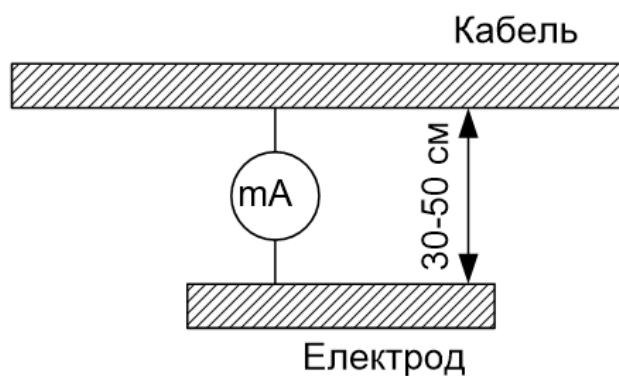


Рис. 8.3 Схеми вимірювання щільності струму, що переходить з оболонки кабелю в землю за допомогою допоміжного електроду.

Вимірювання величини струму за методом компенсації здійснюється за схемою, приведеної на Рис.8.2 По мілівольтметру визначається напрямок струму в оболонці кабелю. При підключенні ключем до стороннього джерела струму реостатом змінюють величину струму доти, поки мілівольтметр не покаже нульове значення. Показання амперметра в цей момент дорівнює величині струму, що проходить по оболонці кабелю. Для виміру необхідно мати мілівольтметр із межами вимірів 1-0-1 і 10-0-10 мВ. Джерело струму, амперметр і реостат вибирають по вимірюваній величині струму. При частих змінах напрямку і величини струму в оболонках кабелю метод компенсації незручний.

Вимірюють щільність струму, що сходить з оболонки силового кабелю в землю міліамперметром із внутрішнім опором 1-5 Ом, що включається в ланцюг, що з'єднує досліджуваний кабель з допоміжним електродом. Для допоміжного електрода використовується відрізок силового кабелю з зовнішньою поверхнею, однакової по зносі з поверхнею випробуваного кабелю. Перетин кабелю для допоміжного заземлювача не має особливого значення, але довжина його вибирається з розрахунку, щоб площа поверхні дорівнювала 5-10 дм². Допоміжний електрод закладається поруч з випробуваним кабелем на одній глибині і на відстані 0,3-0,5 м від нього (Рис. 5).

Броня випробуваного кабелю з'єднується шляхом пайки ізольованим провідником через міліамперметр із бронею допоміжного електрода. Місце дослідження закопується так, щоб створити рівні зовнішні умови як для кабелю, так і для допоміжного електрода. Струм, що проходить через міліамперметр, рівний струму, що сходить з поверхні допоміжного електрода в землю. Оскільки поверхні досліджуваного кабелю і допоміжного електрода однакові і зовнішні умови середовища збігаються, те щільність струму, що сходить із броні допоміжного електрода в землю, буде мати ту ж величину, що і для досліджуваного кабелю.

Виміри повинні вироблятися безупинно протягом години з записом показань через 10-20 с. Щільність струму витoku визначається по формулі (мА/дм²)

$$j = \frac{IK}{S}$$

де I — середнє значення показів міліамперметра за час виміру, мА;

S — площа поверхні вимірювального електрода, дм²;

K — коефіцієнт годинного навантаження найближчого до місця виміру тягової підстанції, що визначається як відношення середньодобової витрати енергії на тягу в годину, протягом якого проводився вимір.

По величині струму, що проходить по оболонці кабелю, можна судити про ступінь корозійної небезпеки, а по напрямку струму можна визначити місця входу і виходу блукаючих струмів з оболонок кабелю й установити анодні і катодні зони.

Блукаючі струми в оболонках кабелів різко коливаються по величині і можуть змінювати свій напрямок у залежності від графіка руху електропоїзда, і щоб судити про інтенсивність їхньої дії, варто брати середні величини. Зіставляючи графік зміни блукаючих струмів за часом із графіка проходження потягів через визначену точку шляху, можна установити джерело небезпечних блукаючих струмів і дефектні місця в рейкових шляхах електротяги.

При спорудженні кабельних ліній, траси | яких знаходяться в особливо агресивних умовах по корозії, варто застосовувати спеціальні кабелі. При застосуванні таких кабелів електричний захист їм не потрібний. У цьому рішенні зазначено також наступне:

при наявності високих рівнів блукаючих струмів, коли не дотримуються основні вимоги, приведені в СП 266-63, або коли застосовуються спільні захисти від електрокорозії, що вимагають прийняття ряду мір, практично не здійснених в умовах експлуатації (контроль стану ізоляції алюмінієвих оболонок стосовно землі, автоматичне регулювання захисних потенціалів на кабельних

спорудженнях та ін.), застосування кабелів з алюмінієвими оболонками не допускається;

наявність спільних захистів не є перешкодою до використання і прокладки кабелів з алюмінієвими оболонками у випадках, коли пристрій спільних (комплексних—багатоелементних) захистів передує або супроводжує виконанню заходів щодо зниження рівнів блукаючих струмів, коли дотримуються вимоги СН 266-63, або коли спільні захисти встановлюються в місцях відсутності блукаючих струмів.

Застосування електрохімічного захисту кабелів у кожному випадку повинне бути обгрунтовано проектом, погодженим з іншими організаціями, що експлуатують металеві підземні спорудження, з огляду на те, що застосування такого захисту вимагає обов'язкового систематичного контролю для регулювання. До електричних методів захисту відносяться катодна поляризація, прямий, поляризований або посилений електричний дренаж і протекторний захист.

Катодна поляризація — захист металевого спорудження шляхом утворення на металі, що захищається, спорудження негативного захисного потенціалу стосовно навколишнього корозійного середовища. Звичайно такий захист виробляється за допомогою струму від зовнішнього джерела, при цьому метал, що захищається, приєднується до негативного полюса джерела, тобто як катод (Рис.8.4).

Захистові шляхом катодної поляризації підлягають броньовані кабелі, розташовані в анодних і знакоперемінних зонах:

при прокладці в ґрунтах з питомим опором ґрунту вище 20 Ом·м і середньодобової щільності струму витоку в землю, що перевищує 0,15 мА/дм²;

при прокладці в ґрунтах з питомим опором ґрунту менш 20 Ом·м незалежно від середньодобової щільності струму витоку в землю.

Катодна поляризація металевих оболонок кабелю повинна здійснюватися так, щоб створювані на цих оболонках потенціали не менші величин, приведених в табл.8.5, і не більші приведених в табл. 8.6, а також щоб виключався шкідливий

вплив її на сусідні підземні споруди. При цьому шкідливим впливом катодної поляризації вважаються: зменшення мінімального або збільшення максимального припустимого захисного потенціалу на сусідніх металевих спорудженнях, що мають катодну поляризацію більш ніж на 0,1 В; поява небезпеки корозії на сусідніх підземних спорудженнях, що раніше не вимагало захисту від неї.

Таблиця 8.5–Величини мінімальних захисних потенціалів

Матеріал спорудження	Значення мінімальних захисних потенціалів по відношенню до неполяризованих електродів			Середовище
	Водневому	Мідно-сульфатному	Свинцевому	
Сталь	-0,55	-0,87	-0,38	Для всіх середовищ Для кислого Для лужного
Свинець	-0,20	-0,52	-0,03	
Свинець	-0,42	-0,74	-0,025	
Алюміній	-0,68	-1		

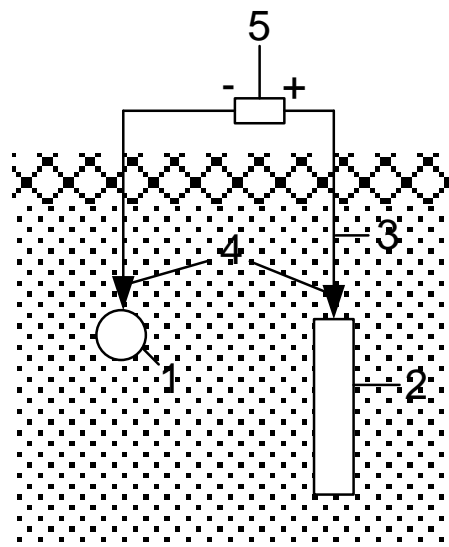


Рис. 8.4 Схема катодного захисту кабелю, прокладеного в землі

1. Кабель; 2. Заземлення; 3. Сталева шина; 4. Контакт шини з металічними оболонками кабелю і з заземленням; 5. Джерело постійного струму.

Таблиця 8.5 – Величини максимальних захисних потенціалів і максимальних захисних потенціалів

Матеріал споруджень	Протикорозійне покриття	Значення максимальних захисних потенціалів, які визначені по відношенню до неполяризованого електроду порівняння, В			Середовище
		Воднев-ому	Мідно-сульфат-ному	Свинцев-ому	
Сталь	З протикорозійним покриттям	-0,9	-1,22	—0,73	В усіх середовищах
Сталь		-1,2	-1,52	—1,03	
Сталь	Те ж з частковим ушкодженням протикорозійного покриття	Обмежується шкідливим впливом на сусідні металеві спорудження			Те ж
Сталь	Без протикорозійного покриття				
Свинець	З протикорозійним покриттям	-0,6	—0,92	—0,43	У кислої
Свинець		Те ж	—0,9	— 1,22	—0,73
Свинець	Без протикорозійного покриття	-0,8	— 1,12	—0,63	У кислої
Свинець		Те ж	— 1	— 1,32	—0,83
Алюміній		— 1,08	— 1,4	-0,91	

У випадках, коли при здійсненні катодної поляризації не можна уникнути шкідливого впливу на сусідні спорудження, повинна здійснюватися спільний захист цих споруджень або інші міри, що усувають шкідливий вплив.

Крім катодної поляризації для електричного захисту оболонок кабелів від руйнування блукаючими струмами може застосовуватися електричний дренаж — спосіб захисту, що полягає у відводі блукаючих струмів від металевих оболонок

кабелів до джерела цих струмів, а також електродний (протекторний) захист, описаний нижче.

Дренаж електричний прямий — дренажний пристрій, що володіє двосторонньою провідністю; його варто застосовувати тільки у випадках, коли виключена можливість стоку струмів з рейок в оболонки кабелю, що захищаються. В інших випадках варто застосовувати поляризований електричний дренаж.

Приєднання прямого дренажу до негативних шин або зборок відсмоктуючих ліній тягових підстанцій трамвая, допускається у випадках, коли підключення дренажу до відсмоктуючого пункту, не забезпечує підтримку захисного потенціалу на підземному спорудженні. Приєднання дренажу до зборок відсмоктуючих ліній тягових підстанцій, електрифікованих залізниць допускається тільки у випадках, коли підключення дренажу до пункту, що відсмоктує, не забезпечує підтримки захисного потенціалу на кабелі.

Дренаж електричний посилений — дренажний пристрій, у ланцюг якого для збільшення ефективності його роботи включене джерело постійного струму; його варто застосовувати у випадках, коли на підземному спорудженні мається небезпечна зона, а потенціал рейки вище потенціалу підземного спорудження, або в інших випадках, коли його застосування може бути техніко економічно виправдано. У противному випадку варто застосовувати катодний захист.

Дренаж електричний поляризований — дренажний пристрій, що володіє однобічною провідністю (відвід блукаючих струмів з металевих оболонок кабелю до елементів трамвайної і залізничних мереж), що забезпечується за допомогою електромагнітного реле, що включає дренажний ланцюг тільки при правильному напрямку дренажного струму.

Електродний (протекторний) захист — з'єднання металевих оболонок кабелю з електродом (протектором), закладеним у землі, що має більш низький потенціал, чим оболонки (Рис.8.5).

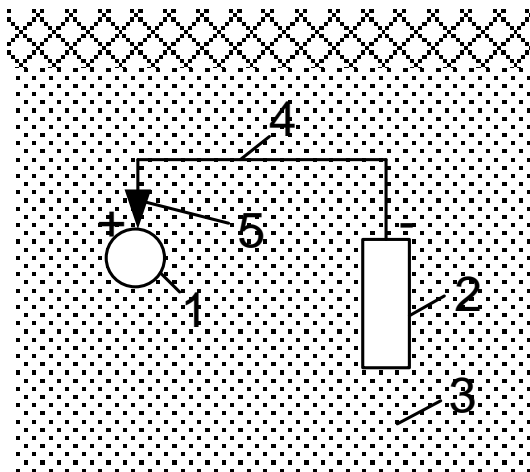


Рис. 8.5 Схема електродного (протекторного) захисту кабеля, прокладеного в землі. 1-кабель; 2-металевий електрод (протектор); 3-засипка з суміші сульфатів натрію та магнію; 4-стальна шина; 5-контакт шини з металевою оболонкою кабеля.

Захист рекомендується застосовувати при блукаючих струмах малої величини в анодних або знакозмінних зонах, коли накладений позитивний потенціал на оболонках кабелю не перевищує 0,3 В. Як електрод найкраще застосовувати листи зі сплаву алюмінію, цинку і магнію; можна застосовувати листи мідні, магнієві, алюмінієві, залізні.

Для поліпшення протикорозійного захисту і зменшення витрат на її здійснення варто застосовувати спільний електричний захист розташованих близько один від одного підземних споруджень, якщо це припустимо за умовами експлуатації цих споруджень. При спільному захисті кабелів вище 1000 В і підземних трубопроводів повинні бути прийняті міри, що забезпечують безпечну експлуатацію всього комплексу споруджень, що захищаються.

На всіх кабелях, що виходять за межі спорудження метрополітену, повинні бути встановлені ізолюючі муфти, що перешкоджають проходженню електричного струму по оболонках кабелю. Муфти повинні бути встановлені в межах споруджень метрополітену в сухих, припустимих для огляду місцях, на відстані не більш 10 м від місця виходу кабелю зі споруджень метрополітену. На ділянці від ізолюючої муфти до місця виходу за межі споруджень метрополітену кабелі повинні бути ізольовані від навколишніх споруджень і пристроїв. У місцях

установки ізолюючих муфт споруджуються контрольно-вимірвальні пункти, що забезпечують можливість виробництва вимірів по обох сторони муфти.

Контроль за станом корозії кабельних ліній блукаючими струмами повинен здійснюватися організаціями, що експлуатують кабельні мережі відповідно до вимог ПТЭ: «Систематично повинне контролюватися виконання управліннями і службами міського трамвая, метрополітену й електрифікованих залізниць, заходів щодо зменшення величин блукаючих струмів у землі відповідно до правил СН 266-63».

При виявленні на кабельних лініях небезпечного потенціалу і щільності блукаючих струмів повинні бути прийняті заходи для запобігання руйнування кабелів електрокорозією (установка електродренажів, протекторів і катодного захисту); при цьому повинна бути також врахована необхідність захисту кабелів від ґрунтової або хімічної корозії.

За встановленими захисними пристроями повинне вестися регулярне спостереження».

Основними заходами по боротьбі з блукаючими струмами є контроль за станом рейкової і відсмоктуючої мережі трамвая, і електричних залізниць. При виявленні несправностей у пристроях електрифікованого залізничного транспорту, небезпечних з погляду електролітичної корозії, необхідно домагатися проведення заходів щодо зварювання стиків рейок, влаштування належних відсмоктувань і інших мір, що забезпечують величини блукаючих струмів у межах установлених норм. Не допускається живлення інших споживачів енергією постійного струму від трамвайної мережі. Промислові підприємства, що мають установки постійного струму, керуються в частині запобігання блукаючих струмів також правилами СН 266-63.

У місцях зближення і перетинання кабельних ліній із трамвайними і залізничними коліями електрифікованого транспорту необхідне дотримання відстаней, установлених ПУЭ.

Усі випадки корозійних ушкоджень кабельних ліній реєструються й активуються з указівкою причин корозійного ушкодження і з обов'язковою інформацією про це управлінню (відділу) підземних споруджень місцевого міськвиконкому.

Контроль за станом корозії металевих оболонок кабелів виробляється за допомогою карти підземних споруджень досліджуваного району з вказівкою анодних і катодних зон і ділянок з агресивними ґрунтами.

На карту наносяться рейки електрифікованих залізниць, джерела живлення тягової мережі, що відсмоктують пункти і усі види захисту від блукаючих струмів, установлені на підземних спорудженнях; вона систематично поповнюється і коректується на підставі одержуваних від енергетичних служб управлінь електрифікованих залізниць і з інших джерел протоколів вимірів потенціалів, опорів стиків рейок, випадків корозійних ушкоджень і інших даних. Карта дозволяє виявити ділянки, де необхідно здійснити перевірку стану металевих оболонок кабелів і досліду перевірку різниці потенціалів, щільності струму і напрямку блукаючих струмів з найменшими витратами по розкопуванню кабельних трас для виробництва цих вимірів.

При виявленні корозії металевих оболонок кабелів розробляються заходи щодо запобігання подальшого руйнування їх і заміні ушкоджених ділянок ліній. Заходи повинні ґрунтуватися на глибокому аналізі причин ушкодження, даних дослідження блукаючих струмів і корозійності ґрунту і вивченні стану шляхів і інших пристроїв електрифікованого транспорту. Необхідно враховувати також стан і розташування суміжних з кабельними лініями металевих підземних споруджень. Обраний захист кабельних ліній від корозії не повинна погіршувати умов роботи інших підземних споруджень.

Пристрої електричного захисту оболонок кабелів від руйнування блукаючими струмами повинні періодично перевірятися: електродний (протекторний) захист— не рідше 1 рази в рік (електроди при руйнуванні

заміняються); електричний захист і електричний дренаж — не рідше 2 разів у рік, а також після кожної істотної зміни режиму роботи джерел блукаючих струмів.

Корозія свинцевої оболонки від вібрації спостерігається в практиці експлуатації кабельних ліній у результаті впливу на свинцеву оболонку кабелів постійних і перемінних механічних напруг. При цьому у свинцевій оболонці виникають тонкі тріщини, що знижують пластичність; оболонка від цього стає тендітною, з'являються великі тріщини, що ведуть до руйнування оболонки.

Такі руйнування свинцевої оболонки мали місце на кабелях, прокладених по залізничних мостах, підданим вібрації, а також на кабелях, прокладених на металевих кронштейнах у тунелі на підході до електростанції. В останньому випадку механічні напруги на свинцевій оболонці виникали від вібрації стін і укріплених на них кронштейнів при роботі турбогенераторів станції. Руйнування свинцевої оболонки кабелю від вібрації було також виявлене при огляді стану барабанів кабелю після тривалого їхнього транспортування па пароплаві.

Для запобігання ушкодження від вібрації застосовуються кабелі зі свинцевими оболонками, що мають спеціальні присадки, що забезпечують їхню стійкість за даних умов роботи. Крім того, під кабелі в місцях їхнього кріплення прокладаються еластичні прокладки.

Кабелі з алюмінієвими оболонками є більш стійкими до вібрації, і тому можуть бути рекомендовані для застосування в цих умовах.

9 Охорона праці

Проект розвитку електричної мережі 110/35 кВ, як правило, включає загальні положення по створенню безпечних умов праці при спорудженні і монтажі ліній електропередачі 110/35 кВ.

Монтажні роботи є найбільш небезпечними в будівництві. Основними причинами травматизму є відсутність або недотримання технологічних норм монтажу конструкцій, не використання та далеко небездоганний стан засобів будівництва захисту [22].

Відповідальність за виконання норм і правил технічної безпеки в будівельно-монтажних організаціях закріплюються по СНиПу за головним інженером і начальником організації, яка повинна організовувати планування заходів по охороні праці.

Для прискорення ремонтних робіт, виконати їх з найменшими затратами і в короткі строки підприємства електричних мереж забезпечуються ремонтно-виробничими базами (РВВ) електричних мереж. Проектами розроблено шість типів баз: бази типу I, II, III є централізованими, IV, V, VI – місцевими.

На ремонтно-виробничих базах розміщені майстерні, лабораторії, диспетчерський пункт підприємства з вузлом зв'язку, масло господарство, гаражі, склади, приміщення для обслуговуючого персоналу та інші.

9.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

Всі ремонтно-виробничі бази мають автомобілі, спеціальні механізми, підйомні крани, телескопічні вишки, канавокопачі, лебідки та інші інструменти.

До монтажних робіт допускаються особи, які пройшли спеціальні навчання по типовій програмі, перевірку знань безпечного ведення монтажу конструкцій і первинний інструктаж на робочому місці. До самостійних верхолазних робіт допускаються особи не молодше 18 років, не старше 60 після медичного

обстеження, які мають стаж будівельно-монтажних робіт не менше 1 року і тарифний розряд не нижче III [22].

Найбільш масовими професіями на будівництві повітряних ліній електропередач 110/35 кВ є: електромонтери-лінійщики по монтажу повітряних ліній електропередач; машиністи мотористи, оператори будівельних машин і механізмів (машиністи) і стропальники. Для них розроблені і проводяться нижче спеціалізовані питання для забезпечення охорони праці під час будівництва повітряної лінії 110/35 кВ.

1. Основні шкідливі і небезпечні виробничі фактори при спорудженні ліній електропередач; характерні причини виробничого травматизму; порядок допуску до роботи; особливості забезпечення спецодягом, спецвзуттям та засобами захисту.

2. Правила користування мобільними (інвентарними) будівлями контейнерного типу і проживання в них.

3. Підготовка траси ліній електропередач до будівельних і монтажних робіт: розчистка траси від лісу; встановлення знаків безпеки, плакатів; штучне освітлення місць виробничих робіт.

4. Вантажно-розвантажувальні і транспортні роботи; безпечні засоби строповки, розстроповки і складання сталевих конструкцій, залізобетонних стояків, деталей збірних фундаментів, барабанів з проводом і тросом.

5. Техніка безпеки при виконанні робіт: розробка котлованів, монтаж збірних фундаментів, встановлення свай, монтаж сталевих і залізобетонних опор, вимоги безпеки при встановленні опор різними способами (краном, з застосуванням передаючої стріли, методом нарощування), верхолазні роботи на опорах ізоляційних підвісах, проводах і грозозахисних тросах; роботи на опресовочних агрегатах.

6. Забезпечення безпеки при виконанні спеціальних робіт: вибухових, легкозаймистих, електрозварювальних; з'єднання проводів і тросів за допомогою енергії вибуху і термічного зварювання, перетин ліній електропередач, що

будуються, інженерних спорудах (ліній електропередач, залізниць, ліній зв'язку і т.п.).

7. Роботи в охоронних зонах діючих повітряних ліній електропередач, захист від дії електричного поля напруженістю 5 кВ/м вище; від струму наведеного на проводи і троси, що монтуються.

8. Основні травматичні фактори та причини травматизму при експлуатації будівельних машин і механізмів; порядок допуску до роботи по управлінню машиною, обслуговування бетономішалок, бульдозерів, екскаваторів, вантажівок і т.п.

9. Технічне обслуговування машин і механізмів, які мають приводи (електричний, гідравлічний, пневматичний); забезпечення електричної безпеки при роботах з машинами, які мають електропривід, безпечне використання паливо-змащувальними матеріалами.

10. Правила безпеки використання стропальниками основних робочих операцій по підйому і переміщенню вантажів; порядок зберігання і безпечної експлуатації вантажопідйомних засобів, безпечні засоби обв'язування і строповки вантажів, в тому числі при підвішуванні вантажів на траверси і крюки кранів; вимоги безпеки при знаходженні стропальника в особливих умовах; умови безпечного переміщення крупно габаритних вантажів.

11. Електробезпека при виконанні робіт стропальниками: засобами індивідуального захисту, сигнальний спецодяг.

12. Протипожежні заходи: дії стропальника при ліквідації пожежі.

При спорудженні повітряної лінії 110/35 кВ нерідко використовують пересувні дільниці, ремонтні майстерні ПУР №1 для ремонтів і технологічного обслуговування будівельних машин. В цих майстернях здійснюється чистка і миття машин, механічна обробка деталей, електро- і газозварювання, ремонтне і технічне обслуговування паливної системи дизельних двигунів і т.п., тобто існує підвищений рівень запиленості і загазованості повітря робочої зони [22].

Фізичні фактори:

- ручні механізми і машини, що рухаються;
- ручні витрати;
- рухомі елементи виробничих засобів: застосування різноманітних вантажопідйомних засобів (крани, лебідки і т.п.);
- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухомість повітря;
- розташування робочого місця на значній висоті;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони.

Хімічні фактори, що впливають на організм людини:

- загально-токсичні (ацетилен, метан, бутан, ацетон);
- канцерогенні (бензин, гас).

Психофізичні:

- нервово-психічні навантаження (емоційні, пов'язані з необхідністю виконання робіт в обмежених умовах та на висоті);
- фізичні навантаження (динамічні).

При побудові повітряної лінії електропередач використовується 3-и фазна електромережа із захисним заземленням. Величина напруги якої 35 кВ і особливо небезпечна категорія умов по небезпеці електротравматизму.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму залежить від наявності факторів підвищеної або особливої небезпеки. Факторами підвищеної небезпеки є підвищена температура повітря - можливість одночасного контакту обслуговуючого персоналу з корпусом споживача електроенергії та з металоконструкціями, що мають контакт із землею.

До технічних рішень із запобігання електротравм від контакту з нормально струмовідними елементами електроустаткування належать: опір ізоляції нового устаткування не менше 1 кОм на 1В напруги; розміщення неізольованих струмовидних елементів в недосяжних місцях, тобто в окремих приміщеннях з обмеженим доступом та огороження їх металевими сітками;

використання захисних електричних блокувань в електричних апаратах і устаткуванні, що забезпечує вимкнення напруги при попаданні персоналу в небезпечну зону; використання засобів орієнтації в електроустаткуванні запобігає помилковим діям при обслуговуванні та експлуатації електроустаткування (написи, таблички, попереджувальні знаки, сигналізація та розведення електромережі в приміщеннях у каналах стін та стелі).

Технічним рішенням щодо запобігання електротравмам при переході напруги на нормально неструмовідні елементи електроустаткування є захисне заземлення [22].

В електроустаткуванні, що живиться від ізолюваної від землі мережі, а також від неізолюваної від землі мережі при нарузі більше 1000В, для запобігання електротравм, пов'язаних з пошкодженням ізоляції та переходом напруги на нормально неструмовідні елементи, використовується захисне заземлення - навмисне електричне з'єднання нормально неструмовідних частин електрообладнання із "землею" чи її еквівалентом, а також – природних заземлювачів [22]. Природними заземлювачами є арматура залізобетонних конструкцій.

Під час обслуговування електроустановок застосовуються засоби захисту від ураження електричним струмом, а також засоби індивідуального захисту (ЗІЗ). До основних електрозахисних засобів напругою понад 1000 В належать ізолювальні штанги всіх видів, ізолювальні кліщі, електровимірювальні кліщі, покажчики напруги для фазування і т.п. Додаткові електрозахисні засоби – це діелектричні рукавички, діелектричне взуття, діелектричні килими, ізолювальні підставки, сигналізатори напруги та інші засоби захисту. Крім вище наведених засобів захисту в електроустановках повинні застосовуватись такі ЗІЗ як захисні каски, захисні окуляри і щитки, рукавиці, запобіжні пояси та страхувальні канати. У разі застосування основних ізолювальних електрозахисних засобів достатньо використовувати один додатковий засіб.

Як приклад, розглянемо призначення та вимоги до показчиків напруги. В електроустановках до і понад 1000 В для визначення наявності або відсутності напруги застосовуються показчики напруги контактного та безконтактного типів. Загальні технічні вимоги до показчиків напруги контактного типу, що застосовуються в електроустановках змінного струму напругою понад 1000 В повинні відповідати ГОСТ 20493. Показчики напруги показують режими “напруга наявна” або “напруга відсутня” змінюванням сигнального режиму. У цьому разі режим “напруга наявна” забезпечується візуальною індикацією або (і) звуковою сигналізацією. Режим “напруга відсутня” забезпечується відсутністю індикації та сигналізації.

9.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

При організації будівництва ліній електропередач існує потреба в побутових приміщеннях для розміщення монтажних і прорабських дільниць, контор, складів, гаражів, стоянок, житлових приміщень для розміщення технічного персоналу, а також комунальних приміщень для їдалень, душових, бань і т.п.

В умовах поточно-шкідливого будівництва повітряних ліній, а також спорудження ліній в малообжитих районах використовують установки пересувного типу на автопричепі і контейнерного типу [22].

Велике розповсюдження в будівництві отримали пересувні установки, які представляють собою утеплені вагончики.

Всі вагони мають однакові зовнішні розміри: довжина 8,5 м, ширина 3,1 м, висота 2,73 м. Товщина стінок вагона 65 мм. Площа полу по габаритам 24,96 м². вага вагону разом з постійним інвентарем не перевищує 6 т. Опалення вагонів водяне від котла КТ-40, який працює на твердому паливі. Освітлення електричне від стороннього джерела струму, пересувної електростанції. Вентиляція

здійснюється поточними вентиляторами природної витяжки і верхніми кватирками вікон.

Під час проектування з метою покращення умов праці монтажників та електромонтерів, зниження її важкості і напруженості, профілактики втоми і перенапруження, підвищення працездатності та продуктивності праці, зниження загальної та професійної захворюваності необхідно, в першу чергу, удосконалити й раціоналізувати робочі місця будівельників з врахуванням ергономічних і гігієнічних вимог.

При цьому слід керуватися ГОСТ 22269-76, в якому викладені вимоги до взаємо розташування елементів робочого місця, ГОСТ 12.2.032-78, 12.2.033-78, в яких викладено вимоги до параметрів робочого місця при виконанні робіт стоячи і сидячи.

Під час організації робочого місця слід враховувати, що найбільш зручною для роботи є зона в межах 950-1650 мм від підлоги. Планування робочого місця повинно забезпечувати зручну робочу позу і виключати роботу в зігнутому положенні, навпочіпки або в напружено-витагнутому положенні.

Під час виконання робіт на висоті повинні дотримуватися правила техніки безпеки – спорудження обмежувальних перил, безпечних риштувань, переходів, наявність захисних поясів, касок та інше. Треба суворо дотримуватись граничних норм перенесення вантажів.

Запобіганню перегрівання сприяє встановлення сонцезахисних тентів, виконання робіт у світлому робочому одязі з лляних та бавовняних тканин і головних уборів білого кольору. Рекомендується виконання сонцезахисних окулярів. В спекотний час дуже важливо суворо дотримуватися правил особистої гігієни. Заспокійливо діють на нервову систему, освіжають та знімають втому водні процедури.

Особливо несприятливі умови створюються в холодний період року. Монтажникам та електромонтажникам, які працюють в холодний період року

просто неба, необхідно влаштовувати короткочасні перерви, під час яких вони можуть зігрітися у спеціально обладнаних приміщеннях.

Довготривалий вплив на людину несприятливих метеорологічних умов різко погіршують самопочуття, знижують працездатність і часто призводять до різноманітних захворювань. Тому для запобігання цих явищ необхідно проводити нормування таких факторів як мікроклімат; склад повітря робочої зони; виробниче, природне та штучне освітлення; виробничий шум, вібрації та випромінювання [16].

9.2.1 Мікроклімат

Для забезпечення нормального мікроклімату в робочій зоні "Санітарні норми мікроклімату промислових приміщень" 1986 р. і ГОСТ 12.12005-88 встановлюють оптимальні і допустимі температури ($t^{\circ}\text{C}$) і відносна вологість повітря (W , %), швидкість його переміщення (м/с), потужність теплових випромінювань ($\text{Вт}/\text{м}^2$). в залежності від періоду року і категорії робіт.

Вологість повітря значно впливає на терморегуляцію організму людини. Підвищена вологість повітря є несприятливим фактором не тільки в умовах спеки, але й при знижені температури. В залежності від пори року, категорії робіт встановлюються допустимими нормами метеорологічних умов [16].

Роботи, що виконуються при спорудженні повітряної лінії 110/35 кВ відносяться до III категорії робіт ти робіт середньої важкості II б.

Оптимальні (допустимі) параметри мікроклімату для умов, що розглядаються (категорія робіт та період року) наведені в таблиці 10.1.

Таблиця 9.1 – Параметри мікроклімату

Пора року	Категорія робіт.	Температура °С		Відносна вологість	Швидкість руху повітря, м/с
		Допустима на робочих місцях			
		постійних	непостійних	допустима	допустима
1	2	3	4	5	6
Холодна	Середньої тяжкості Пб	15 – 21	13 – 23	75	не більше 0,4
	Тяжка ІІІ	13 – 19	12 – 20	75	не більше 0,5
Тепла	Середньої тяжкості Пб	16 - 27	15 – 29	70 при 25°С	0,2 - 0,5
	Тяжка ІІІ	15 – 26	13 – 28	75 при 24°С і нижче	0,2 – 0,6

Підтримання даних параметрів мікроклімату здійснюється опаленням і вентиляцією, виконаними у відповідності з вимогами СНиП 2.04.05-86.

Опалювальні прилади в приміщеннях цеху слід застосовувати з гладких сталевих труб, допускаючих легке очищення. В якості теплоносія використовувати воду температурою до 150°С.

9.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично-допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [23].

В умовах, що розглядаються в проекті, можливими забруднювачами повітря можуть бути ацетилен, бутан, ацетон, бензин, мідь, цемент, що відносяться до ІV класу небезпеки.

Їх ГДК відповідно до [23] дорівнюють 0,15 мг/м³, 200 мг/м³, 0,35 мг/м³, 0,02 мг/м³, 0,3 мг/м³.

9.2.3 Виробниче освітлення. Природне освітлення

Відповідно до [17,24] природне освітлення нормується коефіцієнтом природного освітлення - (КПО) або e .

$$e = E_{\text{вн}}/E_{\text{зов}} * 100\%$$

де $E_{\text{вн}}$ - внутрішня природна освітленість у приміщенні в місці, що розглядається, лк; $E_{\text{зов}}$ - зовнішня природна освітленість дифузним світлом всього небосхилу, замірена одночасно з $E_{\text{вн}}$, лк.

Для умов, що розглядаються в проекті (розряд робіт – V, система природнього освітлення – бокова, нормативне значення коефіцієнта $e_{\text{min}}^{\text{III}}$ - для бокового), для III-го поясу світлового клімату дорівнює 1% [17,24]. Для світлових поясів IV, V.

$$e^{\text{IV,V}} = e^{\text{III}} \cdot m \cdot c,$$

де $m=0,9$ і $c=0,75$ - відповідно коефіцієнти світлового та сонячного клімату, значення яких наводяться в [17,24].

В нашому випадку, КЕО для верхнього або верхнього і бокового природнього освітлення має значення:

$$e^{\text{IV}} = 3 * 0,9 * 0,75 = 2 \%$$

Для бокового природнього освітлення:

$$e^{\text{IV}} = 1 * 0,9 * 0,75 = 0,7 \%$$

Отже, значення величин освітленості не задовольняє даним вимогам, адже перевищують значення при сумісному освітлені, тому в нашому випадку потрібно додатково застосувати лампи розжарювання чи люмінесцентні лампи в приміщеннях з недостатньою освітленістю.

Штучне освітлення нормується величина освітленості E в люксах [17,24].

Для умов, що розглядаються в проекті (розряд робіт – V, підрозряд робіт – б, система освітлення – загальна, тип джерела освітлення - лампи накалювання, нормативне значення освітленості 150 лк.

Для забезпечення евакуації працюючих в темний час доби при аварійному вимкненні робочого штучного освітлення в приміщенні передбачається евакуаційне освітлення, яке по основних проходах на рівні підлоги забезпечує освітленість не менше 0,3 лк.

Для забезпечення нормативного значення e_{min} передбачено:

1. Світильники та інші освітлювальні пристрої у всіх приміщеннях повинні бути встановлені і розміщені так, щоб забезпечувалася можливість безпечного обслуговування їх за допомогою звичайних технічних засобів. Якщо такої можливості не має, то повинні бути передбачені спеціальні пристрої (розсувні вишки, ходові містки і т.д.).

2. Вимикачі рекомендується встановлювати на стінах біля дверей зі сторони дверної ручки. Висота встановлення вимикачів на стіні повинна прийматися рівною 1,5 м. Над кожним основним виходом в приміщенні повинні бути встановлені світильники.

3. В приміщеннях для приготування і споживання їжі світильники з лампами розжарення встановлюються над робочими місцями (плитами, столами і т.п.) повинні мати знизу захисне скло. Для світильників з люмінесцентними лампами достатньо наявності сіток або решіток.

4. В ванних кімнатах, душових і санвузлах світильники з лампами розжарення і патрони повинні бути виконані з ізолюючого матеріалу.

9.2.4 Виробничий шум

Відповідно до [18,19,25,26] нормуються допустимі рівні звукового тиску $L=20\lg(P_1/P_0)$, дБ (P_1 - середньоквадратичне значення звукового тиску, Па за період часу, що розглядається, і P_0 - значення звукового тиску на нижньому порозі чутності в октавній смузі зі середньгеометричною частотою 1000 Гц) залежно від частоти, характеру робіт і характеру шуму (нормування за граничними спектрами - ГС), або допустимі рівні звуку $L_A=20\lg(P_A/P_0)$, Дба (P_A -

середньоквадратичне значення звукового тиску з урахуванням корекції А шумоміра) залежно від характеру робіт і характеру шуму.

Для умов, що розглядаються в проекті, чи умов виконання роботи в приміщеннях щитових кабін керування, спостереження тощо допустимі рівні звукового тиску повинні відповідати ГС 103 дБ, 91 дБ, 83 дБ, 77 дБ, 73 дБ, 70 дБ, 68 дБ, 66 дБ та 64 дБ, а рівні звуку L_A не повинні перевищувати 75 дБА (таблицю 9.2).

Таблиця 9.2 – Допустимі рівні звукового тиску і рівні звуку для постійного (непостійного) широкополосного (тонального) шуму

Характер робіт	Допустимі рівні звукового тиску (дБ) в стандартизованих октавних смугах зі середньгеометричними частинами (Гц)									Допустимий рівень звуку, дБА
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Основні виробничі приміщення	96	83	74	68	63	60	57	55	54	65
Приміщення щитових кабін керування, спостереження тощо	103	91	83	77	73	70	68	66	64	75

Для тонального і непостійного шуму допустимі значення L та L_A на 5 одиниць менші.

Джерелами шуму в умовах, що розглядаються в проекті (роботі), є шум машин та механізмів.

Для боротьби з шумом використовують методи і засоби згідно з вимогами СНіП II-12-77:

- редуктори приводів і електродвигуни розташовані в захисних кожухах;
- кожухи повинні повністю закривати обладнання, бути з'ємними або розбірними, з оглядовими вікнами, з дверцятами, що відкриваються, а також проймами для вводу різних комунікацій, повинні бути виготовлені з листових

незгоряємих або важкозгоряємих матеріалів; на внутрішніх поверхнях стінок кожухів належить передбачати облицювання з вогнепоглинаючого матеріалу; при монтуванні кожуха до машини, для робіт де потрібна циркуляція повітря через машину, в кожусі необхідно передбачати канали для проходу повітря з глушниками;

- двигуни та інші джерела вібрації встановлюються на гумових подушках.

9.2.5 Виробничі вібрації

Відповідно [19,27] нормуються допустимі величини віброшвидкості (м/с) чи віброприскорення (м/с²), або логарифмічні рівні віброшвидкості $L=20\lg(V_1/V_0)$, дБ (V_1 – середньоквадратичне значення віброшвидкості за повний період часу, м/с, $V_0 = 5 \cdot 10^{-8}$, м/с – вихідне значення віброшвидкості) залежно від частоти коливань, їх виду (транспортні, транспортно-технологічні, технологічні, вібрації робочого інструменту чи робочих місць), напрямку (X, Y, Z) і часу дії протягом зміни.

Джерелами вібрацій в умовах, що розглядаються в проекті, є виробничі приміщення, де немає машин, що генерують вібрації.

Можливі параметри вібрацій, виходячи з вібраційних характеристик (ВХ) відповідного обладнання, знаходяться в межах 0,5/100 для частоти 2 Гц, 0,18/91 для частоти 4 Гц, 0,089/85 для частоти 8 Гц і т.д.

Для умов, що розглядаються в проекті (вібрації робочого інструменту чи робочих місць, транспортні, транспортно-технологічні, технологічні) параметри вібрацій не повинні перевищувати середньоквадратичні значення $0,079\text{м/с} \cdot 10^{-2}$ та логарифмічні рівні, 84 дБ.

Основними заходами по зменшенню шкідливої дії шумів і вібрації є:

1. дотримання правил і умов експлуатації машин і обладнання, використання тільки у відповідності з їх призначенням, передбаченим науково-технічною документацією (НТД);

2. підтримання технічного стану обладнання, параметрів техпроцесів і елементів виробничого середовища на рівні, передбаченому НТД, вчасним проведенням планового і попереднього ремонту обладнання;

3. удосконаленням режимів роботи обладнання та елементів виробничого середовища, виключенням контакту працюючих з вібруючим обладнанням.

При неможливості за допомогою конструктивних і технологічних заходів понизити шум і вібрацію до допустимих рівнів слід застосовувати індивідуальні засоби захисту (антифони, заглушки, взуття на гумовій чи войлочній підшві, віброгасячі рукавиці тощо).

9.2.6 Виробничі випромінювання

Видом виробничого випромінювання є дія електромагнітного поля та струм наведений на проводи і троси, що монтуються. Параметром, що нормує дію електричного поля є напруженість, що становить 5 кВ/м і вище.

Технічні заходи щодо попередження шкідливого впливу цього випромінювання на працюючих є застосування засобів індивідуального захисту (захисні каски, захисні окуляри і щитки, рукавиці, запобіжні пояси та страхувальні канати).

9.2.7 Пожежна безпека

Небезпеку пожежі на об'єкті становлять пожежо-небезпечні речовини, такі як ацетон, бензин А-76, масло трансформаторне, скипидар, бетон. Показники пожежонебезпечних властивостей цих речовин [28] наступні: температура спалаху ацетону становить -18°C , бензину -36°C , трансформаторного масла -150°C , скипидару -34°C , нижня концентраційна межа спалаху ацетону $38,6 \text{ г/м}^3$, бензину 137 г/м^3 , а скипидару $41,3 \text{ г/м}^3$, температура займання і самозаймання бетону відповідно 270°C і 400°C .

На основі цих вихідних даних визначаються категорії приміщень, зон з вибухопожежонебезпеки, класи приміщень і зон з вибухо- і пожежонебезпеки. Оскільки в нашому випадку є наявність легкозаймистих, горючих і важкогорючих рідин, здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним лише горіти, то відповідно маємо пожежонебезпечну категорію (В) приміщень і будівель [29]. Клас приміщення – П-ІІ за пожежонебезпечністю.

9.2.8 Технічні рішення системи запобігання пожеж

Пожежа можлива за наявності горючої речовини, окислювача, джерела запалювання; за відсутності будь-якого з цих чинників, або при обмеженні їх визначаючих параметрів безпечною величиною, пожежа не може виникнути.

Горюче середовище є обов'язковою передумовою виникнення пожежі. Пожежі або вибухи в будівлях та спорудах можуть виникати або через вибух устаткування, що в них знаходиться, або внаслідок пожежі або вибуху безпосередньо в приміщенні, де використовують горючі рідини та матеріали.

Велика кількість пожеж виникає внаслідок несправностей та порушень правил експлуатації електротехнічних, електронагрівальних приладів, пристроїв та устаткування. В більшості випадків такі пожежі виникають як результат коротких замикань в електричних ланцюгах; перегріву та займання речовин і матеріалів, розташованих у безпосередній близькості від нагрітого електроустаткування; струмових перевантажень проводів та електричних машин; великих перехідних опорів тощо.

Коротке замикання – це такий аварійний режим в електроустаткуванні, коли через досить малий опір виникає з'єднання різнополярних провідників, що перебувають під напругою.

При короткому замиканні у місцях з'єднання проводів опір практично дорівнює нулю, внаслідок чого величина струму в провідниках і струмопровідних частинах апаратів і машин досягає дуже великих значень, у багато разів більших за номінальні значення для різноманітних марок проводів, кабелів,

струмопровідних частин машин, апаратів і може досягти сотень і навіть тисяч ампер. У таких випадках можливий не тільки перегрів, але й займання ізоляції, розплавлення струмопровідних частин, жил кабелів та проводів [22].

У разі оплавлення металевих деталей електричних машин та апаратів утворюється велика кількість іскор, здатних запалити речовини й матеріали, що розташовані поряд, або бути причиною вибуху.

Електричні лампи розжарення загального призначення становлять певну небезпеку з точки зору можливості контакту горючого середовища з колбою електричної лампи розжарення, нагрітою вище температури самозаймання горючого середовища, а також в окремих випадках, з виходом назовні розплавлених крапель металу нитки розжарення. Температура нагрівання колби електричної лампи залежить від потужності лампи, її розмірів й розміщення у просторі.

Основну пожежну небезпеку при виконанні монтажних робіт становлять: несправне електрообладнання чи струмоведучі частини, спалимий утеплювач і рулонні покрівельні матеріали, легкозаймисті і горючі рідини, клеї, мастки, полімерні матеріали, зварювальні та інші види вогневих робіт, сушіння приміщень.

Місце виконання основних робіт повинно бути забезпечене засобами пожежегасіння. Засоби пожежегасіння класифікують за способом припинення пожежі, електропровідністю та токсичністю. Способи пожежегасіння такі. Охолодження зони горіння чи самих горючих речовин. Реалізується за допомогою води, вуглекислоти та інших речовин, які подаються в зону горіння і відбирають теплову енергію та витісняють окислювач (кисень, повітря).

Первинні засоби пожежегасіння застосовуються з метою недопущення розширення пожежі і ліквідації її з допомогою невеликої кількості вогнегасник засобів. Ці засоби розміщуються у пожежонебезпечних місцях згідно з діючими нормами пожежної безпеки.

9.2. 9 Технічні рішення системи протипожежного захисту

Технічні рішення системи протипожежного захисту мають за мету, на випадок виникнення пожежі, обмежити її розповсюдження, виявити пожежу, забезпечити умови для її ліквідації, захистити працюючих від небезпечних і шкідливих факторів, пов'язаних з пожежою, а матеріальні цінності - від знищення. Ступінь вогнестійкості будівельних конструкцій – IV а. Згідно СНиП 2.01.02-85 маємо мінімальні межі вогнестійкості внутрішніх ненесучих (перегородки) стін 0,25 год та максимальні межі розповсюдження полум'я – 40 см. Протипожежними перешкодами є протипожежні перегородки (тип протипожежних перешкод – 2), протипожежні вікна і двері (3) з мінімальною межею їх вогнестійкості 0,25 год. В нашому випадку допускається лише два поверхи площею не більше 2000 м² [16] з відстанню між будівлями не більше 12 м [16]. При евакуації працюючих при пожежі з відстанню більше 1 до 3 м щільність людського потоку в загальному проході не повинна бути меншою 40 чол/м² [30]. Кількість людей не повинна перевищувати 75 чоловік на 1 м ширини евакуаційних виходів (дверей)[16].

Згідно “Правил пожежної безпеки в Україні” від 22.06.95 №400 до первинних засобів пожежогасіння відносяться : вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, грубововняної тканини або повсті, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати) та пожежний інструмент (гаки, ломи, сокири тощо).

Найбільш поширені вогнегасники: хімічні пінні, вуглекислотні, вуглекисло-брометиллові, порошкові, повітряно-пінні, рідинні. Для визначення видів та кількості первинних засобів пожежогасіння слід враховувати фізико-хімічні та пожежонебезпечні властивості горючих речовин, їх взаємодію з вогнегасними речовинами, а також розміри площ виробничих приміщень, відкритих майданчиків та установок. Необхідну кількість первинних засобів пожежогасіння визначають окремо для кожного поверху та приміщення, а також для етажерок відкритих установок.

Висновок

В даній магістерській роботі ми дослідили сучасні методи розрахунку електричних навантажень (ЕН), ознайомились з улаштуванням електричних установок напругою до і вище 1000 В, засвоїли проектні методики розрахунку зовнішнього та внутрішнього електропостачання, ознайомились з оптимізаційними розрахунками прийняття рішень в ЕПС; визначили основні положення розрахунку компенсації реактивної потужності.

Також виконано електричний та тепловий розрахунки кабельної лінії, особливу увагу надано її експлуатації, а саме задачам та змісту технічного нагляду при спорудженні кабельної лінії, прийому та введенню кабельної лінії в експлуатацію, контролю за навантаженням і напругою в кабельній лінії, розглянуто блукаючі струми, їх вимірювання та способи захисту металевих оболонок КЛ від корозії, а також економічне обґрунтування магістерської роботи та питання охорони праці.

Список літератури

1. Матвійчук В.А., Стадник М.І., Рубаненко О.О., Методичні вказівки по оформленню дипломних робіт магістра для студентів ОКР «Магістр» спеціальності 8.10010101 «Енергетика сільськогосподарського виробництва» та студентів ОС «Магістр» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка і електромеханіка». – Вінниця: ВНАУ, 2016. - 64 с.

2. Гребенкин С.С., Павлыш В.Н., Рябичев В.Д., Стадник Н.И. и др. Теория и практика проектирования систем угольных шахт, процессов горных работ и забойного оборудования с применением математического моделирования. Монография. Донецк «ВИК». 2011. Стр.390.

3. Алгоритмы расчетов шахтных скребковых конвейеров. МОНОГРАФИЯ. С.В.Корнеев, И.В.Косарев, М.В.Плетнев, Н.И.Стадник, Л.Н.Ширин. Луганск, «Книжковий світ» Серія «Научно-техническая литература» 94стр. 2006г. 100 экз.

4. В. Косарев, М.І. Стадник С.С.Гребенкин, И.В.Косарев, В.А.Мизин, Г.В.Андреев, В.С.Пальчик, А.В.Мезников, Е.В.Приседский, «Украинская техника для угольных шахт». ЧП «Астро», Донецк, 2008г. 321с. Гребенкин С.С., Топчий С.Е., Зензеров В.И., Перепелица Б.А., Косарев В.В., Стадник Н.И., Стеблин В.В., Поповский В.Н. МОНОГРАФИЯ «Основы создания и эффективной эксплуатации систем жизнеобеспечения очисного оборудования для угольных шахт». Г.Донецк-2009г. Стр.372.

5. «Решение научно-технических проблем при создании и внедрении современного горно-шахтного оборудования» Сборник научных трудов под общей редакцией академика АГН Украины, лауреата Государственной премии Украины, кандидата технических наук В.В.Косарева и члена-корреспондента АГН Украины, доктора технических наук Н.И.Стадника. Донецк-2008г.

6. Г.Г. Півняк, С.М. Проценко, Н.И. Стадник, В.В. Ткачов Децентралізоване керування. Дніпропетровськ, Національний гірничий університет, 2007. 107

7. Правила устройства электроустановок.М., “Энергоатомиздат”, 1985 г.

8. Баранов Б.М. и др. "Сооружение и эксплуатация кабельных линий." "Энергия", 1974, 632 с. с ил.
9. Андреев В.А. "Релейная защита и автоматика систем электроснабжения", М., Высшая школа, 1991, 496 с., ил. М., "Энергоатомиздат", 1982 г.
10. Справочник по электрическим установкам высокого напряжения. Под ред. Баумштейна И.А. М., Энергоатомиздат, 1989, 608 с. с ил.
11. Блок В.М. и др. Пособие к курсовому и дипломному проектированию для энергетических специальностей вузов. М., "В.Ш." 1990 г.
12. И.Б.Рязанов, П.И.Кранихфельд. "Теория, расчет и конструирование кабелей и проводов". М., "Высшая школа", 1972 г.
13. Приверзенцев В.А. Ларина Э.Т. «Силовые кабели и высоковольтные кабельные линии.» М., "Энергия", 1970 г.
14. Инструкция по эксплуатации силовых кабельных линий. Часть первая. М., Служба передового опыта и информации Союзтехэнерго. 1980 г.
12. Бачелис Д.С. «Электрические кабели, провода и шнуры.(справочник)» Изд 3-е. М., Энергия, 1971 г.
13. Л.П.Смирнов и др. «Сооружение и эксплуатация кабельных линий.» Изд.2-е.М., "Энергия", 1974г.
14. «Электрическая часть электростанций и подстанций». Справочник. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. М., 1989, 608 с, с ил.
15. «Электрическая часть электростанций и подстанций». Под редакцией Васильева А.А. М., Энергоатомиздат, 1989, 578 с. с ил.
16. Боровиков В.А. и др. « Электрические сети энергетических систем». Л. «Энергия», 1977.
17. «Правила безпечної експлуатації електроустановок», К., 1998, 138 с.
18. «Справочник по охране труда на промышленном предприятии», Ткачук К.Н. и др. К., « Техніка», 1991.
19. Шалыт Г.М. "Определение мест повреждения в электрических сетях." М., "Энергоатомиздат", 1982 г

20. О.Е. Рубаненко Автоматика електроенергетичних систем. Практикум з дисципліни "Релейний захист та системна автоматика", Вінниця, ВДГУ, 1999, 68 с
21. Макиенко Г.П., Попов Л.В. Сооружение и эксплуатация кабельных линий высокого напряжения. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 304 с., ил.
22. Справочник по проектированию электроснабжения / [под ред. Ю. Г. Барыбина и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
23. Электрические нагрузки промышленных предприятий / С. Д. Волобринский, Г. М. Каялов, П. И. Клейн, Б. С. Мешель. – Л. : Энергия, 1971. – 264 с.
24. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию / [под ред. А. А. Федорова]. – М. : Энергоатомиздат, 1986.– Т.1 – 580 с., 1987.– Т.2 – 591с. 4. Указания по расчету электрических нагрузок (РТМ 36.18.32.4- 92). – М. : ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992.
25. Правила устройства электроустановок. – Харків : Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.
26. Поспелов Г. Е. Потери мощности и энергии в электрических сетях / Г. Е. Поспелов, Н. М. Сыч. – М. : Энергоиздат, 1981. – 216 с.
27. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0,38 – 150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних втрат електроенергії. (ГНД 34. 09. 104 – 2003). – К. : Міністерство палива та енергетики України, 2004. – 115 с.
28. Бурбело М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах : монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2008. – 110 с.
29. Держський В. Г. Розрахунок втрат електроенергії в розподільних мережах 0,38 кВ / В. Г. Держський // Енергетика и электрификация. – 2005. – № 9. – С. 32–40.
30. Методика определения экономической эффективности капитальных вложений в энергетику. – Киев : Минэнерго Украины, 1999. (ГКД – 340000002).

31. Анчарова Т. В. Выбор мощности трансформаторов в системах промышленного электроснабжения / Т. В. Анчарова, Ю. М. Тюханов, В. Н. Усихин // Промышленная энергетика. – 1989. – № 4. – С. 33–34.
32. Зорин В. В. Системы электроснабжения общего назначения : учебник для студентов вузов / В. В. Зорин, В. В. Тисленко. – Чернигов : ЧГТУ, 2005. – 341 с.
33. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Проектирование и расчет / А. С. Овчаренко и др. – Киев : Техніка, 1987. – 185 с.
34. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования / [под ред. Ю. Г. Барыбина и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 464 с.
35. Рожкова Л. Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л. Д. Рожкова, В. С. Козулин. – М. : Энергия, 1980. – 600 с.
36. Беляев А. В. Выбор аппаратуры, защит и кабелей в сетях 0,4 кВ / Беляев А. В. – Л. : Энергоатомиздат, 1988. – 176 с. 187
37. ГОСТ 28249-89. Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ.
38. Методика розрахунків плати за перетоки реактивної електроенергії між енергопостачальною організацією та її споживачами. – Київ : Міненерго України, 1999.
39. Указания по проектированию установок компенсации реактивной мощности в электрических сетях общего назначения промышленных предприятий (РТМ 38.18.32.6-92) // Инструктивные и информационные материалы по проектированию электроустановок. – М. : Тяжпромэлектропроект, 1993. – № 2. – С. 22–55.
40. Железко Ю. С. Компенсация реактивной мощности в сложных электрических системах / Железко Ю. С. – М. : Энергоиздат, 1981. – 200 с.

41. Сиуда И. И. Алгоритм расчета мощности компенсирующих устройств в сетях электроэнергетических систем / И. И. Сиуда, В. И. Свешников // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. – 1978. – № 2. – С. 148–152.

42. Ковалев И. Н. Выбор компенсирующих устройств при проектировании электрических сетей / Ковалев И. Н. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 200 с.

43. Рогальський Б. С. Компенсація реактивної потужності. Методи розрахунку, способи та технічні засоби управління / Рогальський Б. С. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 236 с.

44. ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – Введ. с 01. 01. 99.

45. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / Жежеленко И. В. – М. : Энергоатомиздат, 2000. – 331 с.

46. Шидловский А. К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. – К. : Наукова думка, 1987. – 268 с.

47. Бурбело М. Й. Квазірівноважені вимірювальні канали для симетрувальних установок : монографія / М. Й. Бурбело, О. В. Бабенко. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2009. – 96 с.

48. Матур Р. М. Статические компенсаторы для регулирования реактивной мощности / Матур Р. М. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 155 с.

49. Бурбело М. Й. Динамічна компенсація реактивної потужності в пускових режимах електроприводів : монографія / М. Й. Бурбело, А. В. Гадай. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 104 с.

Додатки

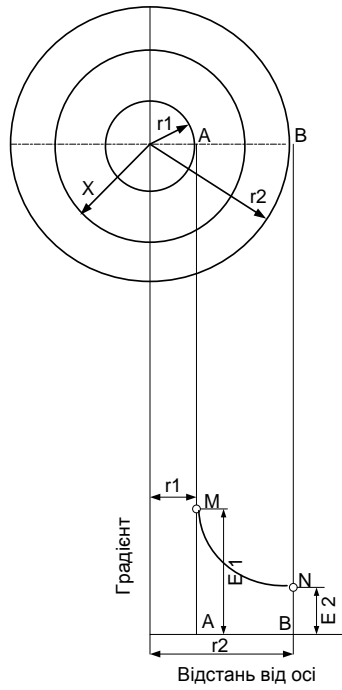


Рис.1 Електричне поле одножильного кабеля

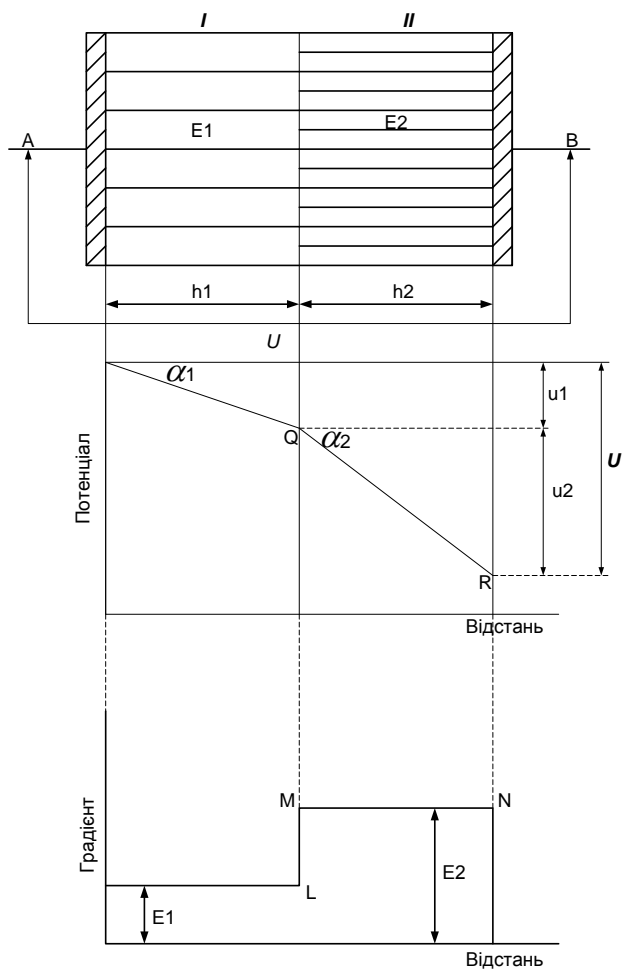


Рис. 2 Електричне поле плоского двохарового конденсатора

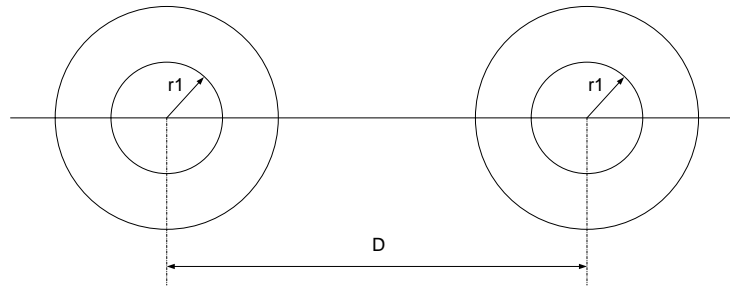


Рис. 3. Схема з двох одножильних кабелів.

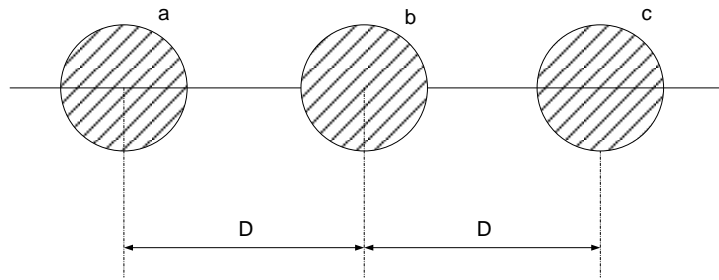


Рис. 4. Схема розташування одножильних кабелів в одній площині

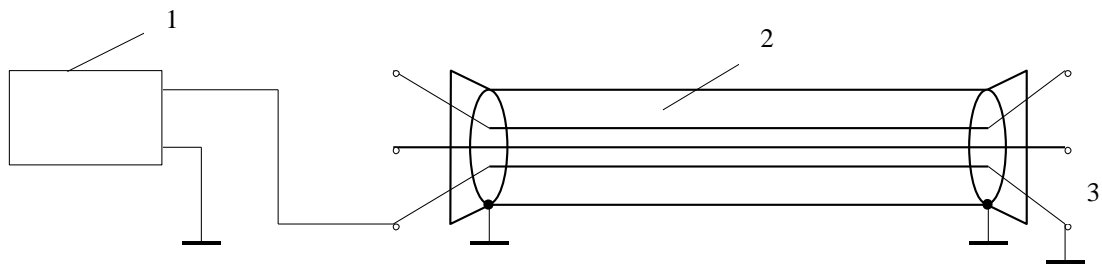


Рис. 5) схема визначення траси кабельної лінії на частоті 1000 Гц

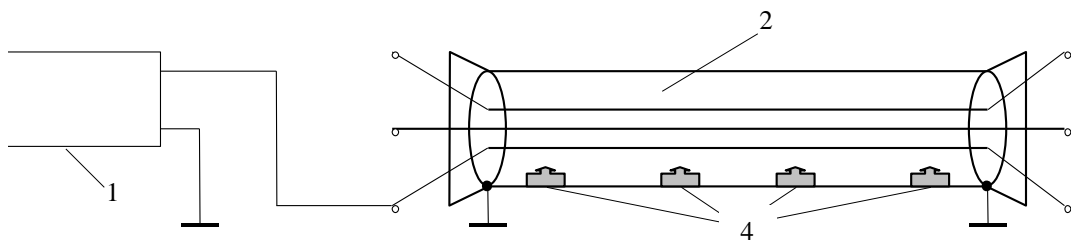


Рис. 6) схема визначення траси кабельної лінії на частоті 10000 Гц

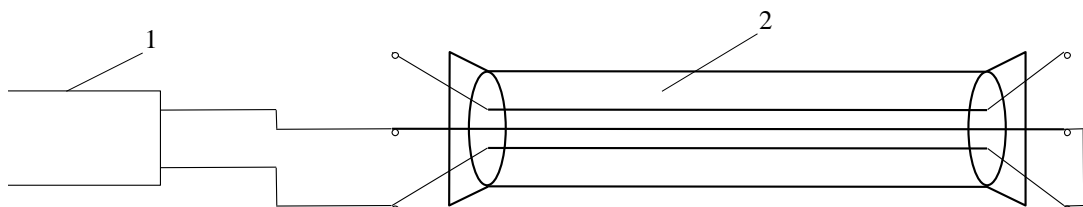
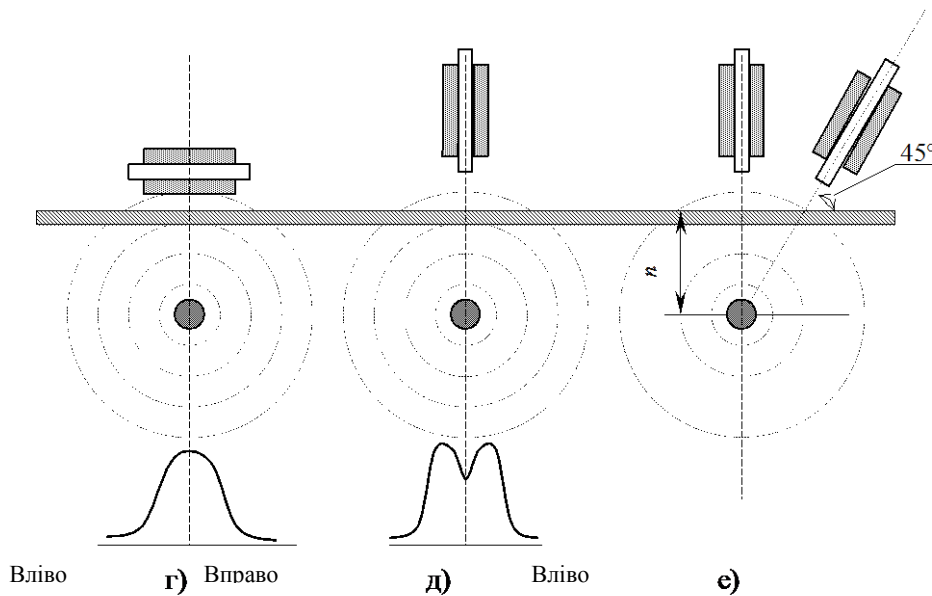


Рис. 7) схема визначення траси кабельної лінії при вмиканні генератора на частоту 1000 Гц або 10000 Гц між двома жилами кабелю



г) ЕРС, що наводиться в горизонтально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його праворуч або ліворуч від вісі кабелю; д) ЕРС, що наводиться в вертикально розташованому індукційному перетворювачі при переміщенні його праворуч або ліворуч від вісі кабелю; е) розташування перетворювача при визначенні глибини залягання кабелю

Рис. 8 Схема підключення генератора при визначенні траси та глибини прокладання КЛ: 1 – генератор; 2 – кабельна лінія; 3 – закоротка; 4 – розподілена ємність кабелю

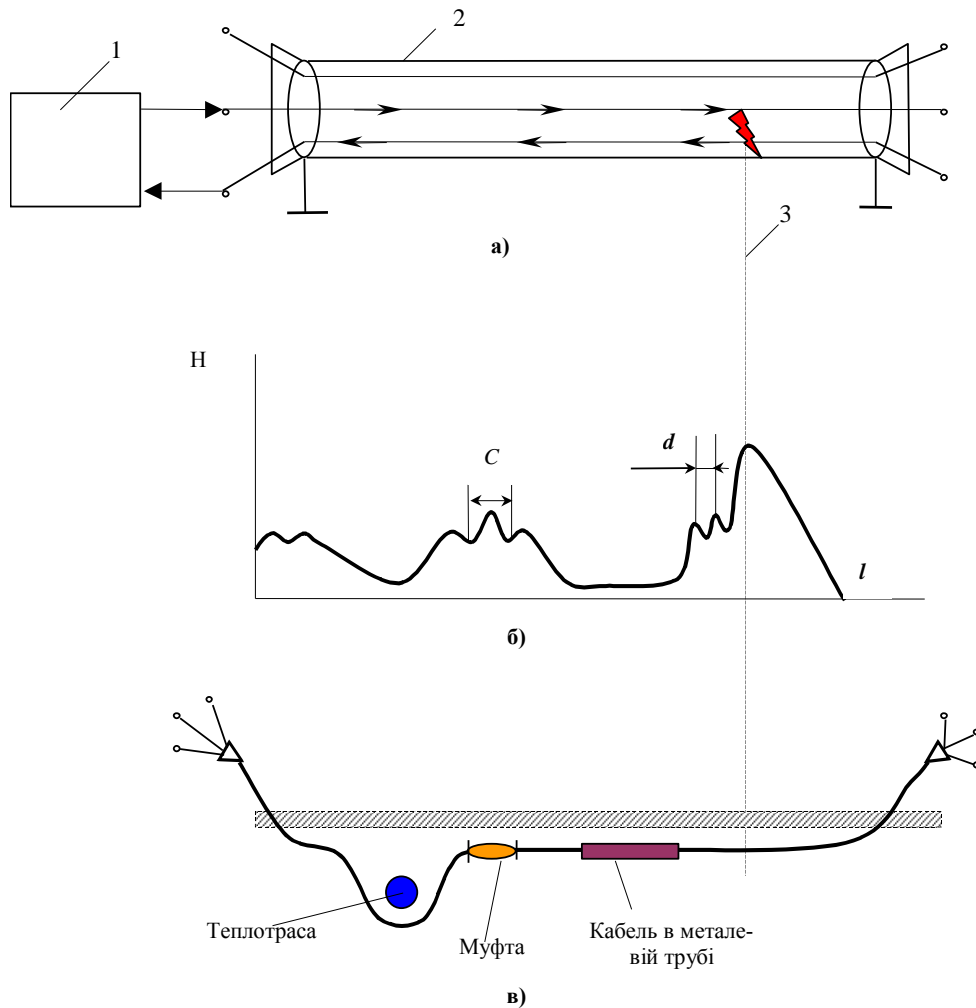


Рис. 9 Визначення місця міжфазного пошкодження індукційним методом

а) схема приєднання генератора звукової частоти: 1 – генератор звукової частоти; 2 – пошкоджений кабель; 3 – місце міжфазного пошкодження кабелю;

б) крива зміни напруженості електромагнітного поля по трасі кабелю з міжфазним замиканням жил (остаточний опір в місці пошкодження); d – крок скрутки жил кабелю; $d \neq c$ на ділянці розташування муфт;

в) траса закладання пошкодженого кабелю

Після під'єднання генератора і узгодження навантажень можна виконувати роботи по пошуку місця пошкодження на трасі кабельної лінії.

Таблиця 1

Порівняння капітальних вкладень та експлуатаційних витрат

Співвідношення між варіантами		Формули для розрахунку економічних показників	Висновки щодо економічної ефективності нової розробки
по капітальним вкладенням K	по експлуатаційних витратах E		
$K_1 > K_2$	$E_1 = E_2$	Абсолютний ефект на капітальних вкладеннях: $K_{\text{еф}} = K_1 - K_2$ (грн.)	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 < K_2$	$E_1 = E_2$	Додаткові капітальні вкладення: $K_{\text{д}} = K_2 - K_1$ (грн.)	Кращим буде аналог (1)
$K_1 = K_2$	$E_1 > E_2$	Абсолютний ефект на експлуатаційних витратах: $E_{\text{еф}} = E_1 - E_2$ (грн./рік)	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 = K_2$	$E_1 < E_2$	Додаткові експлуатаційні витрати: $E_{\text{д}} = E_2 - E_1$ (грн./рік)	Кращим буде аналог (1)
$K_1 > K_2$	$E_1 > E_2$	Абсолютний ефект на капітальних вкладеннях і на експлуатаційних витратах: $K_{\text{еф}} = K_1 - K_2$; $E_{\text{еф}} = E_1 - E_2$	Кращою буде нова розробка (2)
$K_1 < K_2$	$E_1 < E_2$	Додаткові капітальні вкладення та додаткові експлуатаційні витрати $K_{\text{д}} = K_2 - K_1$; $E_{\text{д}} = E_2 - E_1$	Кращим буде аналог (1)

Співвідношення між варіантами		Формули для розрахунку економічних показників	Висновки щодо економічної ефективності нової розробки
по капітальним вкладенням К	по експлуатаційних витратах Е		
$K_1 < K_2$	$E_1 > E_2$	Термін окупності додаткових капітальних вкладень: $T_{ок2/1} = \frac{K_2 - K_1}{E_1 - E_2}$	Якщо термін окупності не перевищує 4-5 років, то кращим вважається запропонований варіант (2) . Якщо ж термін окупності більше 4-5 років, то кращим слід вважати аналог (1)
$K_1 > K_2$	$E_1 < E_2$	Термін поглинання економії капітальних вкладень додатковими експлуатаційними витратами: $T_{п} = \frac{K_1 - K_2}{E_2 - E_1}$	Якщо термін поглинання більше 4-5 років, то оптимальним слід вважати запропонований варіант (2) . Якщо термін поглинання не перевищує 4-5 років, то кращим вважається аналог (1).

Аналогом в даному випадку виступає кабель марки АСБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е). Це кабель з алюмінієвими жилами в свинцевій оболонці, броньований сталюними стрічками з захисним поверховим шаром.

Запропонований варіант - кабель марки ААБл 3×120 - 10 (ГОСТ 18410-73*Е). Це кабель з алюмінієвими жилами в алюмінієвій оболонці, броньований сталюними стрічками з захисним поверховим шаром.

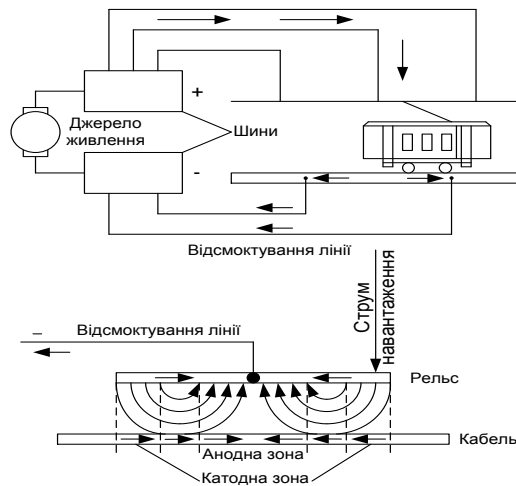


Рис. 10 Схема живлення трамвая й утворення небезпечних корозійних зон блукаючими струмами в землі.

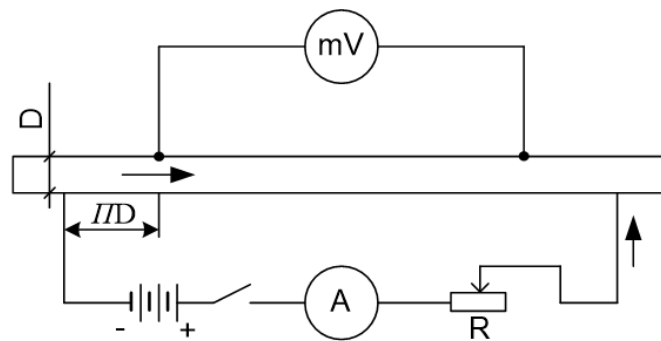


Рис.11 Схема вимірювання за методом компенсації величини струму, що протікає по оболонках кабелю.

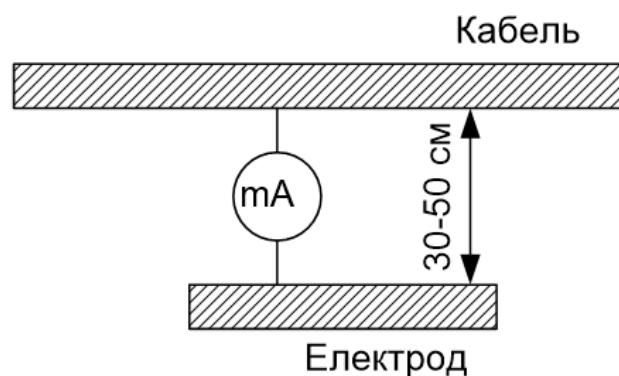


Рис. 12 Схема вимірювання щільності струму, що переходить з оболонки кабелю в землю за допомогою допоміжного електрода.