

Лекція № 7

Розрахунок і вибір проводок та пускозахисної апаратури

План:

1. Визначення розрахункових навантажень;
2. Розрахунок проводок і способи їх прокладання:
 - 2.1. Способи виконання проводок;
 - 2.2. Розрахунок внутрішніх і зовнішніх проводок;
3. Вибір пускозахисної апаратури та розподільних пристроїв;
4. Перевірка захисних апаратів на спрацювання під час короткого замикання;
5. Заходи щодо компенсації реактивної потужності;

1. Визначення розрахункових навантажень

Потужність, що споживає електроустановка здебільшого є змінною. Вибір елементів системи електропостачання (проводів, джерел живлення, розподільних пристроїв, апаратури керування та захисту тощо) проводять за тривалим постійним навантаженням. Тому *розрахункове* – це тривале постійне навантаження, яке за тепловою дією (максимальна температура нагрівання провідника і теплове зношування його ізоляції) еквівалентне змінному навантаженню, що очікують при розрахунку.

Правильний розрахунок електричного навантаження забезпечує раціональне використання провідникових матеріалів і джерел живлення. Завищення або заниження розрахункового навантаження призводить до зниження ефективності роботи сільськогосподарських підприємств.

Розрахункове навантаження може бути *активним* (P , кВт), *реактивним* (Q , квар), *повним* (S , кВ·А) або *струмовим* (I , кА).

Провідник нагрівається внаслідок дії на нього навантаження (сили струму у ньому) за певний інтервал часу. Середнє навантаження за певний інтервал часу більш точно характеризує нагрівання провідника, ніж найбільше миттєве навантаження в цьому інтервалі. Величина і положення інтервалу усереднення на графіку електричного навантаження повинні бути вибрані такими, за яких здобує при цьому усереднене навантаження було максимальним. Тривалість інтервалу усереднення не повинна бути дуже малою, бо не зможе встановитись режим нагрівання провідника. Проте вона не повинна бути й великою, оскільки в цьому разі всередині інтервалу можливий пік графіка, який спричинить значне перегрівання провідника.

Зв'язок між значеннями середнього навантаження і найбільшим перегріванням провідника в даному інтервалі буде найбільшим за таких умов:

- навантаження, яке передує даному інтервалу усереднення, не впливає суттєво на найбільше перегрівання в ньому елементів системи електропостачання;

- найбільше перегрівання досягається в кінці інтервалу усереднення.

Виходячи з цих умов, оптимальну тривалість усереднення ($T_{o.c}$) беруть рівною трьом сталим часу нагрівання провідника (T_H), тобто $T_{o.c}=3T_H$, оскільки за цей час перегрівання провідника при незмінному навантаженні досягає приблизно 95 % усталеного значення. Отже, в основу визначення розрахункового навантаження покладено принцип максимуму середнього навантаження за інтервал $T_{o.c}=3T_H$.

Провідники і кабелі найпоширеніших перерізів до 35 мм² і звичайних конструкцій мають сталу часу нагрівання близьку до 10 хв. Тому за інтервал усереднення беруть час, рівний 30 хв., а за рахункове навантаження – півгодинний максимум навантаження.

Для ділянок електричних мереж з перерізом проводів більшим за 35 мм² розрахункове навантаження слід визначати за період усереднення більший за 30 хв. Силкові трансформатори мають сталу часу нагрівання (T_H), рівну 2–3 год. Це відповідає інтервалу усереднення $T_{o.c}$, рівному 6–9 год.

Розрахункові навантаження визначаються на підставі установленної потужності електроспоживачів. До установленної потужності споживачів належать:

- для електродвигунів тривалого режиму роботи – номінальна потужність на валу;
- для електродвигунів із повторно-короткочасним режимом роботи – номінальна потужність на валу, зведена до відносної тривалості вмикання, що дорівнює одиниці:

$$P_{вст} = P_{не} \sqrt{ПВ},$$

де $P_{не}$, $ПВ$ – відповідно паспортні дані про номінальну потужність і відносну тривалість вмикання;

- для зварювальних трансформаторів:

$$P_{вст} = S_{ном} \sqrt{ПВ} \cdot \cos\phi_{ном},$$

де $S_{ном}$, $ПВ$ – відповідно паспортні значення повної потужності та повторності вмикання; $\cos\phi_{ном}$ – коефіцієнт потужності, який відповідає номінальному тривалому режиму роботи;

- для теплових установок – паспортна потужність;
- для газорозрядних ламп – сумарна номінальна потужність лампи і баласту (потужність баласту беруть 20 % від потужності люмінесцентних ламп зі стартерними схемами вмикання і 30 % – при безстартерних схемах вмикання, 10 % від потужності газорозрядних ламп високого тиску).

Електроустановки бувають три- і однофазні. Однофазні споживачі необхідно рівномірно розподіляти між фазами. Якщо це зробити неможливо, то еквівалентну трифазну потужність ($P_{екв}$) визначають залежно від кількості та схеми вмикання однофазних споживачів у трифазну мережу.

У разі вмикання однофазних споживачів на фазну напругу:

$$P_{екв} = 3P_{вст.ф}, \quad (6.3)$$

де $P_{вст.ф}$ – сумарна встановлена потужність однофазних споживачів максимально завантаженої фази.

У разі вмикання однофазних споживачів на лінійну напругу:

$$P_{екв} = 3P_{вст.л}, \quad (6.4)$$

де $P_{вст.л}$ – сумарна встановлена потужність однофазних споживачів максимально завантаженої лінійної пари проводів.

Уразі вмикання однофазного споживача на лінійну напругу:

$$P_{екв} = 3P_{вст.}, \quad (6.5)$$

де $P_{вст.}$ – встановлена потужність однофазного споживача.

Розрахункові навантаження сільськогосподарських споживачів електроенергії обчислюють за такими методами: побудови графіка електричних навантажень, упорядкованих діаграм (ефективного числа електроспоживачів), коефіцієнта попиту, статистичним, коефіцієнта одночасності.

Метод побудови графіка електричних навантажень. Цей метод використовують за умови, що електроспоживачі працюють у тривалому режимі та відомий розпорядок їх роботи.

Спочатку складають технологічний графік роботи електроспоживачів за найбільш завантажену зміну (добу) у вигляді таблиці, в якій вказують: найменування технологічної операції, марку машини, установлену потужність, ККД, коефіцієнт завантаження за активною потужністю і час її використання; час роботи споживачів протягом зміни (добу).

Споживана електродвигуном потужність, кВт:

$$P_{сп} = \frac{P_{ном} K_3}{\eta},$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна; η – коефіцієнт корисної дії електродвигуна, K_3 – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за активною потужністю (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Середні значення коефіцієнтів завантаження за активною потужністю основних видів електроспоживачів тваринницьких комплексів

Електроспоживачі	K_3	Електроспоживачі	K_3
Машини для подрібнення кормів:		Змішувачі кормів	0,6
зернових	0,8	Кормороздавачі	0,5
соковитих	0,6	Доїльні установки	0,8
грубих	0,5	Вентилятори	0,6–0,8
Конвеєри:		Насоси, компресори	0,7
скребкові	0,7	Електроустановки:	
шнекові	0,4	нагрівальні	1
для прибирання гною	0,5	освітлювальні	1

За даними технологічного графіка роботи електроспоживачів будують графік електричних навантажень. У напрямі осі ординат відкладають значення споживаної потужності, а у напрямі абсцис - тривалості роботи електроспоживачів. Потужності, що збігаються у часі, нарощують одна на одну. Півгодинний максимум навантаження $P_{роз}$ визначають на ділянці, де протягом півгодини споживана потужність найбільша. Якщо максимум навантаження триває менше півгодини, то знаходять еквівалентну потужність за найбільш завантажений півгодинний інтервал:

$$P_{роз} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}},$$

де P_1, P_2, \dots, P_n , – потужності окремих ділянок півгодинного піка навантажень; t_1, t_2, \dots, t_n – час дії цих потужностей.

Для електроустановок, які потрапляють у максимум активного навантаження, визначають сумарну споживану реактивну потужність $Q_{роз}$.

У разі номінального навантаження, квар, споживана електродвигуном реактивна потужність:

$$Q_{ном} = \frac{P_{ном}}{\eta} \operatorname{tg}\varphi.$$

У разі часткового навантаження:

$$Q_4 = Q_0 + \Delta Q \beta_2, \quad (6.9)$$

де $\operatorname{tg}\varphi$ – тангенс кута, що відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності електродвигуна; Q_0 – реактивна потужність холостого ходу електродвигуна; $\beta = M/M_{ном}$ – коефіцієнт завантаження електродвигуна за моментом на валу.

Споживана асинхронним електродвигуном реактивна потужність мало залежить від його завантаження, бо при холостому ході вона становить 60–85 % $Q_{ном}$ [3]. Тому для спрощення розрахунків можна використовувати формулу (6.8).

Метод упорядкованих діаграм (ефективного числа споживачів). Цей метод широко застосовують у промисловості. Він рекомендований і для сільського господарства. Його застосовують при визначенні розрахункових навантажень на вводах у майстерні, переробні підприємства тощо.

Упорядкована діаграма – це графік електричних навантажень, що побудований за спадними ординатами.

За цим методом:

$$P_{роз} = K_{макс} P_{сер.зм}, \quad (6.10)$$

де $K_{макс}$ – коефіцієнт максимуму; $P_{сер.зм}$ – середнє навантаження за максимально завантаженою зміну.

За максимально завантаженою зміну середнє активне навантаження, кВт,

$$P_{сер.зм} = W_{зм}/T_{зм}, \quad (6.11)$$

де $W_{зм}$ – електроенергія, спожита за максимально завантажену зміну, кВт·год; $T_{зм}$ – тривалість зміни, год.

Формулу (6.10) можна подати у вигляді:

$$P_{роз} = K_{макс} K_{\epsilon} \sum_{i=1}^{i=n} P_{вст i},$$

де $\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст i}$ – сумарна встановлена потужність електроспоживачів, кВт; K_{ϵ} – коефіцієнт використання встановленої потужності; $P_{вст i}$ – встановлена потужність i -го споживача.

Коефіцієнт максимуму знаходять за його залежністю від ефективного числа електроспоживачів і коефіцієнта використання встановленої потужності:

$$k_{макс} = f(n_{еф}, k_{\epsilon}). \quad (6.13)$$

Ефективне число електроспоживачів – це таке число електроспоживачів, рівних за потужністю і однорідних за режимом роботи, які зумовлюють ту саму величину розрахункового навантаження, що й група такої ж сумарної потужності споживачів, проте різних за потужністю і режимом роботи:

$$n_{еф} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст i} \right)^2}{\sum_{i=1}^{i=n} P_{вст i}^2}.$$

Якщо всі споживачі однакові за потужністю, то їх ефективне число дорівнюватиме реальному числу:

$$n_{еф} = \frac{n^2 P_{вст i}^2}{n \cdot P_{вст i}^2} = n.$$

У таблиці 6.2 наведено значення коефіцієнта $K_{макс}$ залежно від ефективного числа електроспоживачів $n_{еф}$ та коефіцієнта використання встановлювальної потужності K_{ϵ} . Якщо кількість споживачів менша за чотири, то цей метод не застосовують.

Таблиця 6.2 – Визначення $K_{макс}$ за $n_{еф}$ і K_{ϵ}

$n_{еф}$	Значення $K_{макс}$ при K_{ϵ} ,								
	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
4	3,43	3,11	2,64	2,14	1,87	1,65	1,46	1,29	1,14
5	3,23	2,87	2,42	2,00	1,76	1,57	1,41	1,26	1,12
6	3,04	2,64	2,24	1,88	1,66	1,51	1,37	1,23	1,10
7	2,88	2,48	2,10	1,80	1,58	1,45	1,33	1,21	1,09
8	2,72	2,31	1,99	1,72	1,52	1,40	1,30	1,20	1,08
9	2,56	2,20	1,90	1,65	1,47	1,37	1,28	1,18	1,08

10	2,42	2,10	1,84	1,60	1,43	1,34	1,26	1,16	1,07
12	2,24	1,96	1,75	1,52	1,36	1,28	1,23	1,15	1,07
14	2,10	1,85	1,67	1,45	1,32	1,25	1,20	1,13	1,07
16	1,99	1,77	1,61	1,41	1,28	1,23	1,18	1,12	1,07
18	1,91	1,70	1,55	1,37	1,26	1,21	1,16	1,11	1,06
20	1,84	1,65	1,50	1,34	1,24	1,20	1,15	1,11	1,06
25	1,71	1,55	1,40	1,28	1,21	1,17	1,14	1,10	1,06
30	1,62	1,46	1,34	1,24	1,19	1,16	1,13	1,10	1,05
35	1,56	1,41	1,30	1,21	1,17	1,15	1,12	1,09	1,05
40	1,50	1,37	1,27	1,19	1,15	1,13	1,12	1,09	1,05
45	1,45	1,33	1,25	1,17	1,14	1,12	1,11	1,08	1,04
50	1,40	1,30	1,23	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,04
60	1,32	1,25	1,19	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,03
70	1,27	1,22	1,17	1,12	1,10	1,10	1,09	1,06	1,03
80	1,25	1,20	1,15	1,11	1,10	1,10	1,08	1,06	1,03
90	1,23	1,18	1,13	1,10	1,09	1,09	1,08	1,05	1,02
100	1,21	1,17	1,12	1,10	1,08	1,08	1,07	1,05	1,02
120	1,19	1,16	1,12	1,09	1,07	1,07	1,07	1,05	1,02
140	1,17	1,15	1,11	1,08	1,06	1,06	1,06	1,05	1,02
160	1,16	1,13	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,02
180	1,16	1,12	1,10	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01
200	1,15	1,12	1,09	1,07	1,05	1,05	1,05	1,04	1,01

Для ділянок електричних мереж, виконаних проводами перерізом понад 35 мм², розрахункові навантаження слід визначати не за тридцяти хвилинним максимумом, а за максимумом більшої тривалості. У таких випадках проводять перерахунок коефіцієнта максимуму на більшу тривалість $t = 3T_H$ (хв):

$$k_{\max t} = 1 + \frac{k_{\max} - 1}{\sqrt{\alpha}},$$

де $\alpha = t/30$.

Значення сталої часу нагрівання T_0 для проводів і кабелів різних перерізів наведено в довідковій літературі. Під час прокладання на ізоляторах ізольованих проводів з перерізом 35; 50; 70; 95; 120; 150 мм² сталі часу нагрівання відповідно становлять 12; 15; 18,4; 21,4; 24,3; 27,5 хв.; а під час прокладання трьох таких проводів у сталевій трубі – 19,5; 23,5; 27,5; 32; 35,8; 41 хв.

Статистичний метод. Суть цього методу полягає в тому, що на діючих підприємствах протягом кількох діб у періоди максимальних навантажень дослідним шляхом знаходять тридцяти хвилинні максимуми. Потім здобувають генеральну середню (математичне сподівання) навантаження:

$$\bar{P} = P_{\text{сеп}} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n},$$

та середньозважене відхилення:

$$\bar{\sigma} = \sigma_{n.сер} = \sqrt{\frac{(P_1 - \bar{P})^2 + (P_2 - \bar{P})^2 + \dots + (P_n - \bar{P})^2}{n}},$$

де $P_1 + P_2 + \dots + P_n$ – сума тридцяти хвилинних максимумів, визначених дослідним шляхом.

Розрахункове навантаження, кВт:

$$P_{роз} = P_{сер} + \beta \sigma n_{сер},$$

де β – коефіцієнт надійності (беруть рівним 2,5).

Дані досліджень ($P_{роз}$) використовують при проектуванні електрифікації підприємств, що аналогічні досліджуваним.

Метод коефіцієнта одночасності. Його використовують для визначення розрахункових навантажень електричних ліній 0,38 кВ та трансформаторних підстанцій 6-35/0,4 кВ [17].

Розрахункові денні P_d і вечірні P_v максимуми навантаження здобувають за формулами:

$$P_d = \sum_{i=1}^{i=n} P_{di} K_o,$$

$$P_v = \sum_{i=1}^{i=n} P_{vi} K_o,$$

де P_{di} , P_{vi} – відповідно денне і вечірнє розрахункове навантаження 2-ої ділянки лінії чи на вводі i -ого споживача; K_o – коефіцієнт одночасності (відношення суміщеного максимуму навантаження до суми максимумів навантаження окремих споживачів чи їх груп).

За розрахункове навантаження $P_{роз}$ беруть більше з P_d і P_v . Розрахункові навантаження однорідних споживачів, які за потужністю різняться не більш ніж у чотири рази, підсумовують, враховуючи такі коефіцієнти одночасності, що наведені в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Значення коефіцієнта одночасності від кількості споживачів

Кількість споживачів	2	3	4...5	6...7	8...10	11...15	16...20	21...40	41...70	71...150	Понад 150
K_o	0,85	0,8	0,75	0,7	0,65	0,6	0,55	0,5	0,45	0,4	0,36

Розрахункові навантаження на вводах у виробничі, громадські та комунальні підприємства і приміщення наведено у довідковій літературі [17]. Рекомендується також їх визначати методом побудови графіка електричних навантажень або за формулою:

$$P_{роз} = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{встn} K_3}{\eta} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{P_{встm} m t K_3}{0,5\eta},$$

де $P_{встn}$ – встановлена потужність кожного з n електроспоживачів, що беруть участь у формуванні максимального навантаження і працюють під час максимуму

навантаження більше, ніж 0,5 год., кВт; K_z – середній коефіцієнт завантаження кожного електроспоживача за активною потужністю; η – ККД кожного електроспоживача; $P_{встм}$ – встановлена потужність кожного з m електроспоживачів, що беруть участь у формуванні максимального навантаження і працюють під час максимуму навантаження менше ніж 0,5 год., кВт; t – тривалість безперервної роботи кожного з електроспоживачів з потужністю – $P_{встм}$, год ($< 0,5$ год).

Електроспоживачів, що беруть участь у створенні максимуму електричного навантаження, визначають, детально аналізуючи технологічний процес з урахуванням організації робіт і послідовності виконання всіх операцій.

Повну розрахункову потужність, кВт·А, дістають за формулою:

$$S_{роз} = P_{роз} / \cos\phi. \quad (6.21)$$

Значення коефіцієнтів потужності з максимумом навантаження на вводах окремих споживачів (без урахування компенсації) подано в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Значення коефіцієнтів потужності на вводах споживачів

Споживачі	Коефіцієнт потужності	
	денний	вечірній
Тваринницькі і птахівницькі приміщення	0,75	0,85
Те саме з електрообігріванням	0,92	0,96
Кормоцех	0,75	0,85
Майстерні	0,65	0,70
Зерноочисний тік	0,70	0,75
Млин, олійниця	0,85	0,86
Зрошувальна система	0,80	0,80
Електротеплові установки	1,00	1,00
Громадські та комунальні підприємства	0,92	0,95
Житлові будинки	0,96	0,98

Навантаження вуличного освітлення в сільських населених пунктах визначають за нормами, поданими у табл. 6.5. Навантаження зовнішнього освітлення території господарських центрів беруть у розрахунку 150 В·А на одне приміщення.

Розрахункові навантаження майстерень та інших виробничих споруд з електрообладнанням, що аналогічні за складом і режимами роботи промисловим установкам, можна дістати методом упорядкованих діаграм.

Розрахункове навантаження споживчої трансформаторної підстанції здобувають, підсумовуючи навантаження ліній, які від неї відходять, за допомогою таблиці, поданої в [17].

Величину $\cos\phi$ для визначення повної потужності вибирають залежно від співвідношення між сумою встановлених потужностей електродвигунів $P_{вст.дв.}$ і сумарною потужністю всіх електроспоживачів $P_{заг}$ (табл. 6.6).

Таблиця 6.5 – Норми вуличного освітлення сільських населених пунктів

Характеристика вулиці	Розрахункове навантаження, В·А	
	на 1 пог. м довжини вулиці	на 1 будинок
Центральні вулиці завширшки понад 20 м з багатоповерховою забудовою	5,0	200
Центральні вулиці завширшки понад 20 м з одноповерховою забудовою і проїзною частиною завширшки близько 10 м	3,5	140
Інші вулиці	2,0	80

Таблиця 6.6 – Значення величини $\cos\varphi$ від співвідношення між сумою $P_{вст.дв.}$ та сумарною $P_{заг.}$

$P_{вст.дв.}/P_{заг.}$	$\cos\varphi$	$P_{вст.дв.}/P_{заг.}$	$\cos\varphi$
0,98	0,73	0,73	0,81
0,93	0,75	0,68	0,83
0,88	0,77	0,63	0,84
0,83	0,79	0,58	0,85
0,78	0,80	0,53	0,86

Якщо понад 60 % встановленої потужності припадає на електронагрівальні прилади, то $\cos\varphi$ визначають залежно від співвідношення між сумою встановлених потужностей нагрівальних установок $P_{наг}$ та сумарною встановленою потужністю всіх електроспоживачів $P_{заг}$ (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Значення величини $\cos\varphi$ від співвідношення між сумою $P_{наг}$ та сумарною $P_{заг}$

$P_{наг}/P_{заг}$	$\cos\varphi$	$P_{наг}/P_{заг}$	$\cos\varphi$
0,63	0,93	0,78	0,87
0,68	0,94	0,85	0,98
0,73	0,96	0,95	0,99

Кількість і тип трансформаторів і трансформаторних підстанцій вибирають на підставі техніко-економічного порівняння різних варіантів. Радіус охоплення електроспоживачів однією підстанцією рекомендується брати не більшим за 400 м, а переріз проводів повітряних ліній: мінімальний – 16 мм², максимальний – 120 мм².

Для визначення центра ваги електричних навантажень на план ділянки зони дії трансформаторної підстанції довільно наносять осі x і y . Координати центра ваги знаходять за формулами:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{poz i} x_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} S_{poz i}}; \quad y = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (S_{poz i} y_i)}{\sum_{i=1}^{i=n} S_{poz i}};$$

де x_i, y_i – координати центрів ваги окремих споживачів; потужності на вводі споживачів, $S_{poz i}$ – розрахункові потужності на вводі споживачів.

2. Розрахунок проводок і способи їх прокладання

2.1. Способи виконання проводок

Електропроводка – це сукупність проводів і кабелів з усіма належними до них кріпленнями та підтримуючими захисними конструкціями.

Електричні проводки поділяють на внутрішні, зовнішні та вводи від повітряних ліній.

Внутрішньою називають електропроводку, яка прокладена всередині будівлі.

Зовнішньою називають електропроводку, яка прокладена по зовнішніх стінах будівель і споруд, під навісом, а також між будівлями на опорах (не більше чотирьох прогонів завдовжки до 25 м кожний) поза вулицями і дорогами.

Вводом від повітряної лінії називають електропроводку від ізоляторів, установлених на стіні або покрівлі споруди, до ввідного пристрою.

Залежно від способу виконання електропроводки бувають відкриті та сховані.

Відкрита електропроводка прокладається на поверхні стін і стелі, будівельних конструкцій тощо. Вона може бути стаціонарною, переносною або пересувною.

За способом прокладання проводів відкриті стаціонарні електропроводки поділяють електропроводки на ізоляційних опорах (роliках, ізоляторах, клицях), електропроводки у сталевих або ізоляційних трубах, тросові проводки тощо.

Схована електропроводка прокладається у стінах, перегородках і стелях (під штукатуркою), підлозі та інших конструктивних елементах будівель і споруд.

Внутрішні проводки повинні відповідати умовам навколишнього середовища і архітектурним особливостям приміщень, в яких їх прокладають. При цьому беруть до уваги такі чинники: безпеку людей і тварин, пожежо- і вибухобезпеку, надійність, зручність експлуатації та економічність.

Для сільськогосподарських приміщень рекомендовано такі способи виконання електропроводок:

- відкрито проводом – безпосередньо на стінах, на роliках (ізоляторах, клицях), у трубах (сталевих або вінілплатових), тросовим проводом;

- сховані – під штукатуркою безпосередньо та у трубах, у замкнених каналах будівельних конструкцій;

- кабелем – безпосередньо на стінах, на тросах.

Проводи напругою вище як 42 В, у нормальних приміщеннях без підвищеної небезпеки прокладають відкрито на висоті 2 м від рівня підлоги чи площадки обслуговування, а нижче 2 м – захищають.

У приміщеннях з підвищеною небезпекою і особливо небезпечних проводки, напругою вище як 42 В, прокладають на висоті 2,5 м від рівня підлоги чи площадки обслуговування. Спуски до пускової апаратури мають бути захищені до висоти 1,5 м.

Зовнішні проводки прокладають на висоті не менш як 2,5 м від поверхні землі.

Електричні проводки при паралельному прокладанні з трубопроводами повинні мати відстань від них не менше: для трубопроводів з гарячою та легкозаймистою рідиною – 40 см, для інших – 10 см. У разі пересічення їх з трубопроводами відстань від них має бути не менше: для трубопроводів з гарячою та легкозаймистою рідиною – 10 см, для інших – 5 см.

Відстань від проводів перед вводом у споруду і проводів вводу до поверхні землі повинна бути не меншою за 2,75 м.

Перерізи струмопровідних жил проводів і кабелів електропроводок мають бути не менші від указаних у табл. 6.8. Для виконання схованих проводок у тваринницьких приміщеннях використовують проводи марок АПВ та АППВ, для відкритих – кабелі АВВГ, АВРГ, тросові проводи АВТВ, АВТВУ, АВТ, АРТ та проводи марок АПВ та АППВ, підвішені на тросах. Для виконання електропроводок у вибухонебезпечних зонах використовують проводи та кабелі з мідними жилами – проводи марки ПВ, кабелі – марок ВВГ і НРГ.

Рекомендовані марки проводів та кабелів для різних способів прокладання у сільськогосподарських приміщеннях наведені у довідковій літературі [4, 11].

Відповідно до правил техніки безпеки у тваринницьких приміщеннях внутрішню проводку виконують трифазною чотири-провідною з використанням триполюсних рубильників і автоматичних вимикачів. Однополюсні вимикачі допускаються для груп потужністю 0,6 кВт з фазною напругою і 1,3 кВт з лінійною напругою. Однополюсні вимикачі встановлюють у розсічення фазного, а не нульового проводу. Штепсельні розетки в електричних мережах 380/220 В використовують без запобіжників.

Таблиця 6.8 – Найменші допустимі перерізи струмопровідних жил, проводів і кабелів

Провідники	Найменший переріз жил, мм ²	
	мідних	алюмінієвих
1	2	3

Шнури для приєднання побутових електроспоживачів	0,35	-
Кабелі для приєднання переносних і пересувних електроприймачів у промислових установках	0,75	-
Скручені двожильні проводи з багатодротовими жилами для стаціонарної проводки на роликах	1	-
Незахищені ізолювані проводи для стаціонарної проводки всередині приміщень: безпосередньо на основах, на роликах, клицях і тросах;	1	2,5
для жил, приєднаних до гвинтових затискачів	1	2
Незахищені ізолювані проводи в зовнішніх електроустановках:		
по стінах, конструкціях або опорах на ізоляторах;	2,5	4
під навісом на роликах	1,5	2,5
Ізолювані проводи і кабелі в трубах, металевих рукавах та глухих коробах	1	2
Кабелі і захищені ізолювані проводи для стаціонарної електропроводки (без труб, рукавів і глухих коробів): для жил, які приєднують до гвинтових затискачів	1	2
Захищені і незахищені проводи і кабелі, які прокладають у замкнених каналах і замонолічено (в будівельних конструкціях або під штукатуркою)	1	2

2.2. Розрахунок внутрішніх і зовнішніх проводок

Для стаціонарних електропроводок застосовують переважно проводи і кабелі з алюмінієвими жилами (проводи АПВ, АППВ, АВТУ, АВТВ; кабелі АВВГ, АПВГ). Для приєднання до електротехнічних пристроїв, встановлених безпосередньо на віброізолюючих опорах, а також внутрішнього монтажу щитових пристроїв, зарядки освітлювальної арматури та в електропроводках вибухонебезпечних зон застосовують проводи та кабелі з мідними жилами. Для живлення переносних і пересувних електроспоживачів застосовують шнури та гнучкі кабелі з мідними жилами.

Внутрішні проводки повинні мати мінімальну протяжність, тому важливе значення надають вибору схеми проводки.

Переріз струмопровідної жили проводу, шнура або кабелю вибирають, виходячи з умов гранично допустимого його нагрівання та достатньої механічної міцності. Під час визначення кількості проводів, які прокладають в одній трубі (або жил багатожильного провідника), нульовий робочий провід чотири-провідної системи трифазного струму (або заземлюючу жилу) не враховують.

Площу поперечного перерізу жил проводів, шнурів і кабелів вибирають за тривало допустимим струмом:

$$I_{тр.доп} \geq I_{роз}, \quad (6.23)$$

де $I_{роз}$ – розрахунковий струм ділянки електричної мережі, А.

Таблиці тривало допустимих струмів для різних проводів і кабелів залежно від їх поперечного перерізу і способу прокладання наведено в ПВЕ [14], з алюмінієвими і мідними жилами значення тривало допустимої сили струму наведені в табл. 6.9 і 6.10.

Для відгалужень до окремих електроспоживачів за максимальні тривалі робочі струми беруть їх номінальні струми, які визначають за формулами:

а) для однофазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 P_{ном}}{U_{ном} \cos \varphi_{ном}},$$

б) для трифазних споживачів:

$$I_{ном} = \frac{10^3 P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \cos \varphi_{ном}},$$

в) для трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором:

$$I_{ном} = \frac{10^3 P_{ном}}{\sqrt{3} U_{ном} \eta_{ном} \cos \varphi_{ном}}.$$

Розрахунковий струм магістралей, від яких живиться кілька споживачів, здобувають за формулою:

$$I_{м.роз} = K_o \sum I_{ном(роз)},$$

де K_o – коефіцієнт одночасності роботи споживачів електроенергії; $\sum I_{ном(роз)}$ – сума номінальних (розрахункових) сил струму всіх, А.

Всі електричні мережі повинні мати захист від струмів короткого замикання. Від перевантажень мають бути захищені:

- мережі всередині приміщень, прокладені відкрито і виконані провідниками з горючою зовнішньою оболонкою або ізоляцією;
- освітлювальні електромережі в житлових і громадських будинках, службово-побутових приміщеннях промислових підприємств, зокрема електромережі для побутових і переносних електроприймачів;

Таблиця 6.9 – Тривало допустимі сили струму для проводів і шнурів з гумовою та полівінілхлоридною ізоляцією

Площі поперечного перерізу струмопровідних жил, мм ²	Сила струму, А, для проводів у трубі										
	одножильних	двох	одножильних	трьох	одножильних	чотирьох	одножильних	одного	двожильного	одного	трижильного
з мідними жилами											

0,5	11	-	-	-	-	-
0,75	15	-	-	-	-	-
1	17	16	15	14	15	14
1,2	20	18	16	15	16	14,5
1,5	23	19	17	16	18	15
2	26	24	22	20	23	19
2,5	30	27	25	25	25	21
3	34	32	28	26	28	24
4	41	38	35	30	32	27
5	46	42	39	34	37	31
6	50	46	42	40	40	34
8	62	54	51	46	48	43
10	80	70	60	50	55	50
16	100	85	80	75	80	70
25	140	115	100	90	100	85
35	170	135	125	115	125	100
50	215	185	170	150	160	135
70	270	225	210	185	195	175
95	330	275	225	225	245	215
120	385	315	290	260	295	250
з алюмінієвими жилами						
2	21	19	18	15	17	14
2,5	24	20	19	19	19	16
3	27	24	22	21	22	18
4	32	28	28	23	25	21
5	36	32	30	27	28	24
6	39	36	32	30	31	26
8	46	43	40	37	38	32
10	60	50	47	39	42	38-
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135
95	255	215	200	175	190	165
120	295	245	220	200	230	190

Таблиця 6.10 – Тривало допустимі сили струму для проводів і шнурів* та різних видів кабелів**

Площі поперечного перерізу струмоведучих жил, мм ²	Сили струму, А, для проводів і кабелів				
	одножильних	двожильних		трижильних	
	при прокладанні				
	відкрито	відкрито	в землі	відкрито	в землі
з мідними жилами					
1,5	23	19	33	19	27

2,5	30	27	44	25	38
4	41	38	55	35	49
6	50	50	70	42	60
10	80	70	105	55	90
16	100	90	135	75	115
25	140	115	175	95	150
35	170	140	210	120	180
50	215	175	265	145	225
70	270	215	320	180	275
95	325	260	385	220	330
120	385	300	445	260	385
з алюмінієвими жилами					
2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
4	4	4	4	4	4
6	6	6	6	6	6
10	10	10	10	10	10
16	16	16	16	16	16
25	25	25	25	25	25
35	35	35	35	35	35
50	50	50	50	50	50
70	70	70	70	70	70
95	95	95	95	95	95
120	120	120	120	120	120
150	150	150	150	150	150
185	185	185	185	185	185

*з мідними жилами і гумовою ізоляцією в свинцевій, полівінілхлоридній, нейритовій або гумовій оболонці, броньованих і неброньованих.

**з алюмінієвими жилами і гумовою або пластмасовою ізоляцією в свинцевій, полівінілхлоридній та гумовій оболонках, броньованих і неброньованих.

- освітлювальні мережі в пожежонебезпечних зонах;
- електромережі всіх видів у вибухонебезпечних зонах;
- силові мережі – лише в тих випадках, коли за умовами технологічного процесу чи режиму роботи в них можуть виникати тривалі перевантаження провідників.

В електромережах, які захищають від струмів перевантажень щодо тривало допустимих струмів проводів захисні апарати повинні мати кратність не більшу:

- 80 % для номінального струму плавкої вставки або струму вставки автоматичного вимикача, що має лише максимальний миттєво-діючий розчеплювач (відсічку), а для провідників з полівінілхлоридною, гумовою і аналогічною за тепловими характеристиками ізоляцією та для провідників, які

прокладаються у вибухобезпечних виробничих приміщеннях промислових підприємств, допускається 100 %;

- 100 % для номінального струму плавкої вставки чи струму вставки автоматичного вимикача лише з максимальним миттєводіючим розчеплювачем (відсічкою) та для кабелів з паперовою ізоляцією;

- 100 % для номінального струму розчеплювача автоматичного вимикача з нерегульованою обернено залежною від струму характеристикою, незалежно від наявності або відсутності відсічки, – для провідників усіх марок;

- 100 % для струму зрушення розчеплювача автоматичного вимикача з нерегульованою обернено залежною від струму характеристикою – для провідників з полівінілхлоридною, гумовою та аналогічною за тепловими характеристиками ізоляцією;

- 125 % для струму зрушення розчеплювача автоматичного вимикача з нерегульованою обернено залежною від струму характеристикою – для кабелів з паперовою ізоляцією та ізоляцією з вулканізованого поліетилену.

Тривало допустиме навантаження струмом провідників відгалужень до асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором має бути не менше: номінальної сили струму електродвигуна у вибухобезпечних зонах і 1,25 номінальної сили струму електродвигуна у вибухонебезпечних зонах.

Для проведення робіт з монтажу проводок у трубах готують таку проектну документацію:

- креслення прокладання труб з нанесенням відміток глибини закладання труб та кутів вигину;

- трубнозаготівельні відомості;

- креслення кріплення труб і кріпильних конструкцій;

- специфікації матеріалів, виробів та електрообладнання;

- схеми з'єднання, на яких вказують марки і поперечні перерізи проводів.

Проводи одного електричного кола, в тому числі і нульовий провід, прокладають в одній трубі.

Для визначення внутрішнього діаметра труби використовують спеціальні таблиці [4]. Наближено внутрішній діаметр труби можна дістати за формулою:

$$d_{mp} = d_{np} \sqrt{\frac{n}{K_{зан}}},$$

де d_{np} – діаметр проводу з ізоляцією; n – кількість проводів; $K_{зан}$ – коефіцієнт заповнення (беруть рівним 0,45–0,55).

Для внутрішніх проводок, виконаних без застосування сталевих труб, індуктивним опором лінії можна знехтувати. Тоді втрати напруги в лінії в загальному вигляді можна здобути за формулою:

$$\Delta U_n = IR, \quad (6.29)$$

де I – розрахунковий струм лінії, А; R – активний опір лінії, Ом.

У практичних розрахунках втрату напруги, %, в лінії визначають за формулами:

а) для всієї лінії:

$$\Delta U_{\pi} = \frac{\sum (P_{роз} l)}{CS};$$

б) для однієї ділянки лінії:

$$\Delta U_{\pi} = \frac{P_{роз} l}{CS},$$

де $P_{роз}$ – розрахункова потужність ділянки електричного кола, кВт; l – довжина ділянки, м; S – поперечний переріз проводу, мм²; C – коефіцієнт, значення якого залежить від напруги, числа фаз і матеріалу проводу.

Коефіцієнт C розраховують за такими формулами:

а) для трифазної лінії змінного струму:

$$C = \frac{\gamma U_{\pi}^2}{10^5};$$

б) для двофазної лінії змінного струму з нульовим проводом:

$$C = \frac{\gamma U_{\pi}^2}{2,25 \cdot 10^5};$$

в) для двопровідної лінії змінного чи постійного струму:

$$C = \frac{\gamma U^2}{2 \cdot 10^5},$$

де γ – питома провідність, м/(Ом·мм²); U_{π} – номінальна лінійна напруга, В; U – напруга двопровідної лінії, В.

Детальну характеристику внутрішніх проводок наводять на планах приміщень з нанесенням силових і освітлювальних мереж. Якщо цю характеристику проводки вказати на плані проводки немає можливості, то поруч розміщують схему (табл. 6.11).

Таблиця 6.11 – Розрахункова схема розподільної мережі

Ввід		Розподільний пристрій				Ділянка мережі 1	Провід, кабель	
марка, кількість, переріз (мм ²) і спосіб прокладки проводів	довжина, м	апарат на ввіді	тип	номер групи	апарат захисту лінії		марка, кількість і спосіб прокладки	довжина, м

Продовження таблиці 6.11

Пристрій керування		Ділянка мережі 2	Провід, кабель		Електроспоживач			Робоча машина
тип	пускова та захисна апаратура		марка, кількість і спосіб прокладки	довжина, м	номер на плані	тип	$P_{ном}$, кВт	

3. Вибір пускозахисної апаратури та розподільних пристроїв

Електричні апарати пуску, керування та захисту – це електротехнічні пристрої та механізми, що призначені для вмикання і вимикання, забезпечення певного режиму роботи і для захисту електроспоживачів і електричних кіл. Апарат може виконувати одну або кілька з вказаних функцій.

Для вмикання і вимикання електроспоживачів та електричних кіл і керування ними призначені рубильники, пакетні вимикачі, кнопки керування, пакетно-кулачкові перемикачі, контактори, електромагнітні пускачі та автоматичні вимикачі. Автоматичні вимикачі та електромагнітні пускачі за наявності в них теплових реле виконують також функції захисту електроустановок і електричних кіл. Апаратами захисту є також запобіжники (див. додаток 2).

Електричні апарати вибирають за родом струму, напругою, потужністю, числом полюсів, вимогами до електричного захисту від ненормальних режимів роботи електроспоживачів і електричних кіл та за виконання залежно від умов навколишнього середовища.

Всі електроустановки повинні мати захист від струмів короткого замикання (к.з.). Апарати захисту мають практично миттєво вимикати струми к.з. і не спрацьовувати під час пускового струму нормальної тривалості. Електродвигуни потребують також захисту від струмів перевантаження, надмірного спаду напруги та довільного спрацювання.

Струмом перевантаження називають усякий струм, що більший від номінального. Відомо, що певне перевантаження електричних кіл і електродвигунів допустиме і чим менше перевантаження, тим більше може бути його тривалість. Тому для захисту від перевантаження слід використовувати апарати, які мають обернено залежну від струму характеристику, тобто час спрацювання яких зменшуватиметься у разі збільшення перевантаження. Ці умови задовольняють автоматичні вимикачі з тепловими розчеплювачами та теплові реле електромагнітних пускачів. Плавкі запобіжники використовують здебільшого для захисту електричних кіл, теплових і освітлювальних електроустановок. Від струмів к. з. електродвигуни захищають автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами.

Електричні кола захищають від струмів к. з. і перевантаження, крім силових кіл, в яких за умовами технологічного процесу і за режимом роботи не виникають тривалі перевантаження проводів, які у вибухобезпечних зонах можна не захищати від струмів перевантаження.

Захищають електричні кола автоматичними вимикачами або запобіжниками. Автоматичні вимикачі з тепловими розчеплювачами можуть захищати від струмів к.з. і струмів перевантаження.

Рубильники і перемикачі встановлюють на вертикальній площині з горизонтальним розміщенням вала. Вони призначені для нечастих (не більше 6 на 1 год.) неавтоматичних вмикань і вимикань електричних кіл постійного струму з напругою до 440 В і змінного струму з частотою 50 Гц і напругою до 600 В. Рубильники і перемикачі із центральною рукояткою використовують лише для роз'єднання електричних кіл без струму.

Максимальний струм, який може розмикати рубильник чи перемикач з бічною рукояткою, з бічним або центральним важільним проводом без дугогасних камер становить $0,3 I_{ном}$ апарата, з дугогасною камерою – $I_{ном}$ при напрузі 380 В змінного струму, в колах постійного струму відповідно $0,2 I_{ном}$ і $I_{ном}$ при напрузі 220 В.

Пакетні вимикачі та перемикачі призначені для нечастих вмикань і вимикань електричних кіл з напругою 380 В змінного і 220 В постійного струму і використовуються для керування силовими та освітлювальними установками невеликої потужності, вмикання і вимикання кіл керування, сигналізації та вимірювальних. Максимальна комутаційна здатність пакетних вимикачів і перемикачів дорівнює їх номінальному струму.

Пакетно-кулачкові вимикачі та перемикачі використовують для ручного керування асинхронними електродвигунами з короткозамкненим ротором та для комутації кіл керування, вимірювальних і сигналізації змінного струму напругою 380 В і частотою 50; 60 і 100 Гц. Вибирають їх за номінальним струмом, гранична ж комутаційна здатність їх залежить від типу і становить у межах $(3,5-9) I_{ном}$.

Електромагнітні пускачі є основними апаратами автоматизованого та автоматичного керування електроустановками. Вони призначені для дистанційного пуску безпосереднім вмиканням у мережу, зупинки і реверсування трифазних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. За наявності теплового реле пускачі також захищають електродвигуни від перевантажень. Для сільського господарства рекомендовані електромагнітні пускачі серій ПМЛ і ПМА (див. додаток 3).

Електромагнітні пускачі вибирають за напругою ($U_n > U_m$), за струмом ($I_{ном.п} \geq I_{ном.ел.дв}$), за струмом теплового реле ($I_{ном.т.р.} \geq I_{ном.ел.дв}$), за струмом неспрацювання теплового реле ($I_{неспр.} \geq I_{ном.ел.д}$) з подальшим регулюванням струму неспрацювання на $I_{ном.ел.дв}$, за напругою котушки, за конструкцією і виконанням. Технічні характеристики теплових реле серії РТЛ наведено в додатку 4.

Кнопки керування (серії КЕ) та *кнопкові пости* (серії ПКЕ) призначені для комутації електричних кіл керування з напругою змінного струму до 500 В і частотою 50 Гц та постійного струму до 220 В.

Плавкі запобіжники – це найбільш дешеві та прості апарати захисту електричних мереж і електроустановок від струмів к.з. і надмірних струмів перевантаження. У сільськогосподарському виробництві рекомендується

використовувати плавкі запобіжники з наповнювачем таких типів: різьбові ПРС, не-різьбові НПН і розбірні ПН-2 (додаток 2).

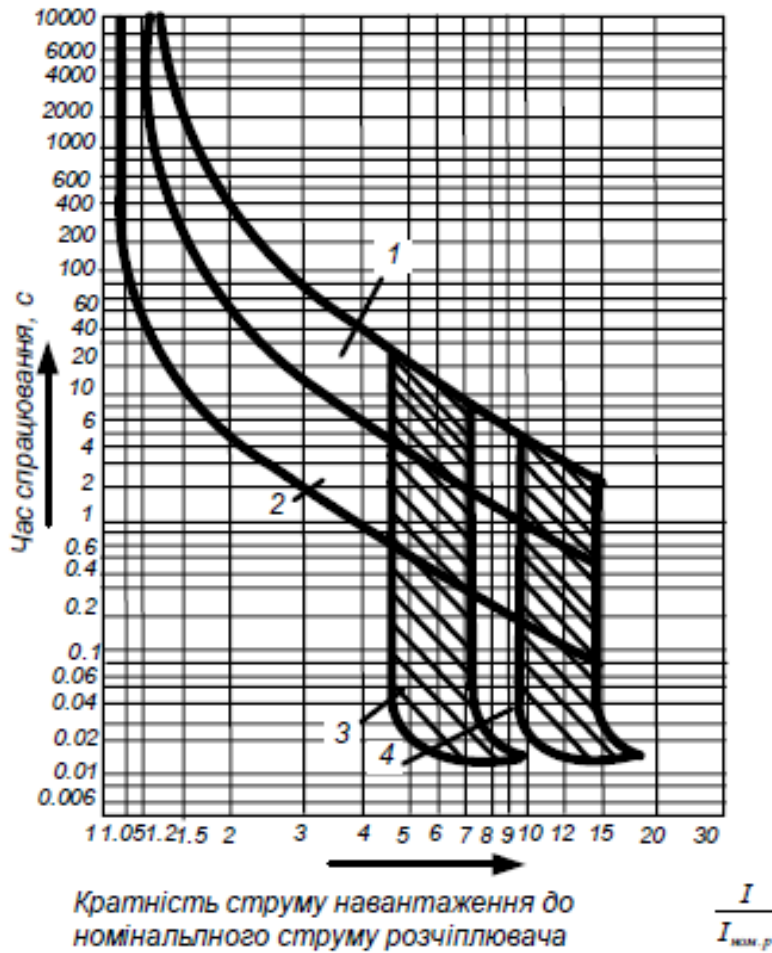
Автоматичні вимикачі призначені для захисту електричних установок від струмів перевантаження і к. з., а також для нечастих оперативних вмикань і вимикань електричних кіл. Під час проектування сільськогосподарських підприємств рекомендується використовувати автоматичні вимикачі серій ВА51 та ВА52 (додаток 5).

Кожний захисний апарат має свою захисну характеристику, яка є залежністю часу спрацювання від струму навантаження. Ця характеристика є основою для вибору захисного апарата. На рис. 6.1 наведено захисну характеристику автоматичного вимикача ВА51-35. Всі струми нормальної роботи електроустановки мають перебувати в зоні ліворуч від захисної характеристики, струми к.з. – у зоні праворуч від характеристики.

Вибираючи автоматичний вимикач для захисту електродвигуна, слід дотримуватися таких умов:

- номінальна напруга автоматичного вимикача має дорівнювати напрузі електричної мережі або перевищувати її ($U_{ав} \geq U_{м}$);
- номінальний струм автоматичного вимикача має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його ($I_{ном.ав} \geq I_{ном.ел.дв}$);
- номінальний струм теплового й електромагнітного розчеплювачів має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його ($I_{ном.розч.} \geq I_{ном.ел.дв}$) з подальшим регулюванням струму не-спрацювання теплового розчеплювача на номінальний струм електродвигуна;
- струм відсічки електромагнітного розчеплювача має становити не менш як 1,5–1,6 від пускового струму електродвигуна ($I_{від.розч.} \geq (1,5-1,6) I_{пус.}$);
- гранична вимикаюча здатність автоматичного вимикача має бути більшою або дорівнювати струму трифазного к.з. безпосередньо за місцем установки автоматичного вимикача ($I_{гр.вим.ав.} \geq I_{к.з.}$).

Автоматичні вимикачі вибирають також за виконанням і наявністю додаткових розчеплювачів.



1 – захисна характеристика, знята з холодного стану; 2 – захисна характеристика, знята з нагрітого стану; 3 – зона роботи електромагнітного розчеплювача струму під час постійного струму; 4 – зона роботи електромагнітного розчеплювача струму під час змінного струму

Рис. 6.1. Захисна часо-струмова характеристика автоматичного вимикача BA51-35:

Вибираючи автоматичний вимикач для захисту електричної лінії, яка живить декілька електродвигунів, номінальний струм автоматичного вимикача і номінальний струм розчеплювача мають дорівнювати сумі номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів або трохи перевищувати її. У даному випадку струм відсічки електромагнітного розчеплювача:

$$I_{\text{від.роз.}} \geq 1,8 \cdot \left(\sum_{i=1}^{i=n-1} I_{\text{ном } i} + I_{\text{пуск.найб.}} \right)$$

де $I_{\text{ном } i}$ – номінальний струм i -го електродвигуна, А; $I_{\text{пуск.найб.}}$ – пусковий струм найбільшого за пусковим струмом електродвигуна, А.

Від перевантаження кожен електродвигун необхідно захищати окремо.

Для електричних мереж, які живлять електронагрівальні установки, струми плавких вставок запобіжників і номінальні струми теплових розчеплювачів

вибирають за розрахунковим струмом з урахуванням коефіцієнта запасу, що становить 1,1–1,2.

Електричні двигуни, як правило, захищають автоматичними вимикачами і тепловим реле електромагнітних пускачів. Вибираючи запобіжники для захисту електродвигуна від струмів к.з., дотримуються таких умов:

- номінальний струм запобіжника має дорівнювати номінальному струму електродвигуна або трохи перевищувати його ($I_{ном.з} \geq I_{ном.ел.дв}$);
- номінальна напруга запобіжника має дорівнювати або бути вищою за напругу мережі ($U_z \geq U_m$);
- гранична вимикаюча здатність запобіжника повинна бути рівною або вищою за струм трифазного короткого замикання безпосередньо за запобіжником ($I_{гр.вим.} \geq I_{к.з}$);
- струм плавкої вставки:

$$I_{пл.вст} = \frac{I_{пуск}}{\alpha} = \frac{I_{номі} K_i}{\alpha},$$

де $I_{пл.вст}$ – струм плавкої вставки, А; $I_{пуск}$, $I_{номі}$ – відповідно пусковий і номінальний струми електродвигуна, А; α – коефіцієнт, значення якого залежить від умов роботи електродвигуна (нечасті пуски з тривалістю 5–10 с, $\alpha = 2,5$; часті пуски з тривалістю 10–40 с, $\alpha = 1,6$ –2).

Номінальний струм запобіжника для захисту групи електродвигунів має дорівнювати сумі номінальних струмів електродвигунів або перевищувати її. Струм плавкої вставки визначають за формулою:

$$I_{пл.вст} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n-1} I_{номі} + I_{пуск.найб.}}{\alpha},$$

де $\sum_{i=1}^{i=n-1} I_{номі}$ – сума номінальних струмів одночасно працюючих електродвигунів без струму двигуна з найбільшим пусковим струмом, А; $I_{пуск.найб.}$ – пусковий струм електродвигуна з найбільшим пусковим струмом, А.

Якщо кількість електродвигунів становить більше ніж п'ять, то струм плавкої вставки:

$$I_{пл.вст} = \sum_{i=1}^{i=n-1} I_{номі} + \frac{I_{пуск.найб.}}{\alpha}. \quad (6.38)$$

Стандартну плавку вставку вибирають рівною або трохи більшою за струм, визначений за наведеними вище формулами.

Плавкі вставки запобіжників та теплові розчеплювачі автоматичних вимикачів для захисту освітлювальних мереж, які живлять лампи розжарювання та люмінесцентні лампи, вибирають за розрахунковим струмом. Для захисту мереж, які живлять газорозрядні лампи високого тиску під час вибору запобіжників розрахунковий струм множать на коефіцієнт запасу, що становить

1,2, а під час вибору розчеплювача теплових реле – на коефіцієнт запасу, що становить 1,4.

Деякі апарати керування електроприводами здатні виконувати лише окремі функції керування і захисту. У сучасному електроприводі сільськогосподарських машин і агрегатів широко використовуються комплектні пристрої керування – блоки, шафи, ящики, пульти, станції тощо. Для потреб промисловості й сільського господарства випускається велика номенклатура комплектних пристроїв керування, які відрізняються між собою за видом керованого електродвигуна, функціями, кількістю двигунів, призначенням, ступенем автоматизації та іншими ознаками.

Для розподілу електроенергії всередині приміщення використовують розподільні пристрої серій ПР8501 та ПР8701 (див. додаток 6) або серії ПР11. Це шафи з ізолюваними від корпусу шино-проводами і з'єднаною з корпусом шафи нульовою шиною і лінійними та ввідним (або без нього) автоматичними вимикачами (рис. 6.2).

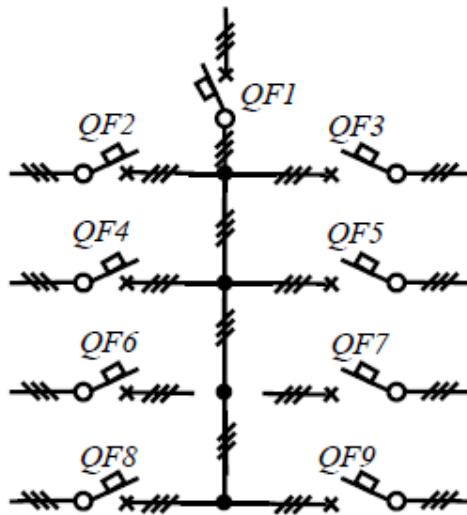


Рис. 6.2. Принципова електрична схема розподільної шафи ПР8501-091:
 $QF1, QF2, \dots, QF9$ – автоматичні вимикачі

Вибирають розподільні пристрої за напругою ($U_{ш} \geq U_M$); струмом ($I_{ном.ш} \geq I_{розр}$), конструкцією та схемою.

Шафи серії ПР8501 використовують для розподілу електроенергії з напругою до 660 В змінного струму частотою 50 і 60 Гц, а шафи серії ПР 8701 – до 220 В постійного струму та захисту електричних мереж від струмів к.з. і перевантаження.

Шафи ПР8501 і ПР8701 укомплектовані однополюсними лінійними не струмообмежувальними вимикачами ВА51-29 з розчеплювачами на струми 6,3...63 А і триполюсними ВА51-31 та ВА51-35 з розчеплювачами на струми 6,3...100 А і 100...250 А відповідно (додаток 6).

Живлення сільськогосподарських споживачів здійснюється здебільшого від трансформаторних підстанцій через автоматичні вимикачі або запобіжники, повітряну лінію, розподільний пристрій, внутрішню електропроводку, комплектний пристрій керування з апаратами захисту та керування.

Для перевірки ефективності роботи захисних апаратів будують в одній системі координат їхні захисні характеристики, наведені до нижчого ступеня напруги. Селективність роботи захисних апаратів забезпечується, якщо час спрацювання кожного наступного апарата в напрямі від споживача до джерела живлення більше ніж у попереднього на всьому можливому діапазоні струмів їхньої спільної роботи.

4. Перевірка захисних апаратів на спрацювання під час короткого замикання

Коротке замикання – безпосереднє з'єднання між будь-якими точками різних фаз, фази і нульового проводу або фази із землею, яке не передбачене нормальними умовами роботи електроустановки.

Електричні мережі з напругою 0,38 кВ виконують з глухо-заземленою нейтраллю, тому в них можуть виникати три-, дво- і однофазні к.з.

Під час трифазного к.з. усі три фази замикаються між собою. Під час двофазного к.з. відбувається замикання двох фаз між собою. При цьому струм к.з.:

$$I_{\text{к.з.}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{\text{к.з.}}^{(3)} \approx 0,87 I_{\text{к.з.}}^{(3)}. \quad (6.39)$$

Під час однофазного к.з. відбувається замикання одної фази на нульовий провід або землю.

Аварійний режим, що виникає під час струмів к.з., може нанести виробництву значні збитки, а також може призвести до ураження людей і тварин. Тому захисні апарати повинні надійно і швидко вимикати струми к.з.

Вибираючи захисні апарати звичайно обмежуються розглядом три- і однофазних к.з., оскільки ці випадки відповідають найбільшому та найменшому струмам к.з. у мережах 0,38 кВ з короткозамкненою нейтраллю.

Перевірка захисних апаратів на спрацювання під час однофазного к.з. Мета перевірки – забезпечити надійне вимикання аварійної ділянки за найменшого значення струму к.з. Точка к.з. береться найбільш віддаленою в зоні дії захисного апарата, який перевіряють.

В електромережах до 1 кВ з глухо-заземленою нейтраллю, згідно з ПУЕ, з метою забезпечення автоматичного вимикання аварійної ділянки провідність фазних і нульових провідників має бути такою, щоб під час замикання на корпус або на нульовий провідник струм однофазного к.з. перевищував не менше, ніж:

- у три рази номінальний струм плавкого елемента найближчого запобіжника;

- у три рази номінальний струм нерегульованого розчеплювача автоматичного вимикача з обернено залежною від струму характеристикою.

У разі захисту електричних мереж автоматичними вимикачами, що мають лише електромагнітний розчеплювач (відсічку) провідність вищевказаних провідників повинна забезпечувати струм не менший від струму відсічки, помноженому на коефіцієнт розкиду струмів спрацювання електромагнітного розчеплювача K_p (за заводськими даними) і на коефіцієнт запасу 1,1:

$$I_{к.з.}^{(1)} \geq I_{від.роз.} K_p K_z. \quad (6.40)$$

Коли немає заводських даних, то K_p беруть для автоматичних вимикачів з номінальним струмом до 100 А рівним 1,4, для автоматичних вимикачів з номінальним струмом більшим за 100 А – не менше 1,25. Повна провідність нульового провідника в усіх випадках має бути не менш як 50 % провідності фазного провідника.

З метою забезпечення вищенаведених вимог нульовий провідник рекомендують прокладати разом з фазними.

Струм однофазного к.з. можна визначити за наближеною формулою:

$$I_{к.з.}^{(1)} = \frac{U_\phi}{Z_{mo} + Z_n}, \quad (6.41)$$

де U_ϕ – фазна напруга, В; Z_{mo} – опір трансформатора струму замикання на корпус, Ом; Z_n – повний опір петлі фазний провід – нульовий провід, Ом.

Опір трансформатора струму замикання на корпус залежить від конструкції трансформатора та насичення осердя і може бути найбільш точно визначений лише дослідним шляхом. З достатньою для практичних розрахунків точністю він може бути обчислений для трансформаторів з'єднанням обмоток Y/Y_0 за формулою:

$$Z_{mo} = 26/S, \quad (6.42)$$

де S – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

Опір петлі, Ом, фазний провід – нульовий провід дістають за формулою:

$$Z_n = \sqrt{\left(\sum R_n\right)^2 + \left(\sum X_n + X_n\right)^2}, \quad (6.43)$$

де $\sum R_n$ – сума активних опорів окремих елементів петлі фаза-нуль, Ом; $\sum X_n$ – сума реактивних опорів окремих елементів петлі фаза-нуль, Ом; X_c – реактивний опір системи, Ом.

Опір трансформатора враховують, якщо потужність більша або дорівнює 630 кВ·А та є з'єднання $0 Y/Y$.

Сума активних опорів окремих елементів петлі фаза-нуль:

$$\sum R_n = R_\phi + R_n + R_{кон} + R_{кот}, \quad (6.44)$$

де R_ϕ , R_n , $R_{кон}$ і $R_{кот}$ – відповідно активні опори фазного і нульового проводів, контактів і котушок комутаційних і захисних апаратів, Ом.

Опір котушок і контактів беруть з довідників або з ГОСТ 28249-93 “Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку в електроустановках змінного струму напругою до 1 кВ”.

Наприклад, для автоматичного вимикача з номінальним струмом 50 А опір контактів $R_{кон} = 1,3$ мОм і опір котушок $R_{кот} = 7$ мОм.

Якщо даних про $R_{кон}$ і $R_{кот}$ немає, то можна враховувати наближено лише опори контактів, приймаючи їх рівними: для підстанцій – 0,01 Ом, для цехових розподільних пристроїв – 0,015 Ом і для апаратів у споживача – 0,03 Ом.

При визначенні суми реактивних опорів окремих елементів петлі фаза-нуль враховують лише зовнішні індуктивні опори фазного і нульового проводів повітряної лінії $2X'_{\phi-n}$, зумовлені взаємоіндукцією між фазними і нульовим проводами, та внутрішні індуктивні опори фазного і нульового проводів X_ϕ'' і X_n'' , які залежать від ступеня поверхневого ефекту:

$$\sum X_n 2X'_{\phi-i} + X''_{\phi} + X''_i \quad (6.45)$$

Значення індуктивного опору системи, Ом, згідно з ГОСТ 28249-93 визначається за формулою:

$$X_c = \frac{U_{ср.н.н}^2}{\sqrt{3} I_{вим.ном} U_{ср.в.н.}}, \quad (6.46)$$

де $U_{ср.н.н}$ – середня номінальна напруга мережі, приєднана до обмотки низької напруги трансформатора, В; $U_{ср.в.н}$ – середнє номінальне значення напруги мережі, до якої приєднана обмотка вищої напруги трансформатора, В; $I_{вим.ном}$ – номінальний струм вимикання вимикача, встановленого в електричній мережі, до якої приєднано знижувальний трансформатор, А.

Активний опір, Ом, проводів для внутрішніх проводок при температурі 20°C дістають за формулою:

$$R_{20} = \rho \frac{l}{S}, \quad (6.47)$$

де ρ – питомий опір металу при постійному струмі і температурі 20°C (беруть рівним 17,8 Ом·мм²/км для міді і 29,94 Ом·мм²/км для алюмінію); l – довжина проводу, км; S – поперечний переріз проводу, мм².

Активні опори проводів внутрішніх проводок до розрахункової (максимально допустимої для проводів) температури знаходять за формулою:

$$R_t = R_{20} K_t = R_{20} \left[1 + \frac{\alpha}{\rho} (t - t_{20}) \right], \quad (6.48)$$

де α – температурний коефіцієнт електричного опору (приймають рівним 0,004 для міді та алюмінію, 0,005...0,006 – для сталі); ρ – коефіцієнт, який враховує залежність між проявленням поверхневого ефекту і температурою (приймають

рівним 2 для масивних сталевих провідників і 1 – для провідників із кольорових металів); t – розрахункова температура металу, °C (беруть рівною 65 °C для проводів з гумовою і пластмасовою ізоляцією і 40 °C – для сталевих труб, в яких прокладені проводи); t_{20} – початкова температура (20°C).

Визначаючи опір сталевих проводів за розрахунковий беруть трикратний струм апарата, бо опір сталевих провідників залежить від струму, що по них протікає.

Зовнішні та внутрішні індуктивні опори, Ом/км, одинарного проводу можна наближено здобути за формулами:

$$X'_{\phi-n} = 0,145 \lg l_{\phi-n}; \quad (6.49)$$

$$X''_{\phi-n} = \pi f \mu 10^{-4}, \quad (6.50)$$

де $l_{\phi-n}$ – відстань між фазним і нульовим проводами, мм; μ – магнітна проникність металу, Гн/км (для кольорових металів можна прийняти $\mu = 1$, тоді, якщо частота змінного струму $f = 50$ Гц, то $X'' = 0,0157$ Ом/км).

Внаслідок несталості магнітної проникності сталі визначити X'' для сталевих провідників за формулою (6.50) складно. У наближених розрахунках беруть:

$$X'' = 0,6R_{20}. \quad (6.51)$$

Опір петлі фаза-нуль визначають за формулами:

- для чотири-провідної повітряної лінії і відкритих шино-проводів із алюмінію і міді:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (2X'_{\phi-n})^2}; \quad (6.52)$$

- для чотири-провідних повітряних ліній із сталевими проводами:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_n)^2 + (2X'_{\phi-n} + X''_{\phi} + X''_n)^2}; \quad (6.53)$$

- для чотири-провідних кабельних ліній із алюмінієвими або мідними жилами:

$$Z_n = R_{\phi} + R_n; \quad (6.54)$$

- для три-провідних ліній, прокладених у сталевій трубі:

$$Z_n = \sqrt{(R_{\phi} + R_m)^2 + (X''_m)^2}, \quad (6.55)$$

де R_x і X''_m – відповідно активний і внутрішній індуктивний опір труби;

- для чотири-провідних проводок у сталевій трубі:

$$R_n = \sqrt{R_{\phi}^2 + \left(\frac{R_n R_m}{R_n + R_m} \right)^2} + (X''_m)^2. \quad (6.55)$$

Захисні апарати в мережах 0,38 кВ перевіряють за гранично вимикаючою здатністю:

$$I_{гр.вим} \geq I_{к.з}^{(3)} \quad (6.57)$$

де $I_{гр.вим}$ – гранично вимикаюча здатність апарата, А (у каталогах наводять його ефективне або амплітудне значення); $I_{к.з.}$ – струм трифазного електричного к.з. безпосередньо за апаратом, А (напругу у точці к.з. беруть рівною нулю).

Струм трифазного к.з.:

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} \sqrt{(\sum R_{к})^2 + (\sum X_{к})^2}}, \quad (6.58)$$

де $U_{л}$ – лінійна напруга (у розрахунках беруть рівною 400 В); $\sum R_{к}$, $\sum X_{к}$ – відповідно суми активних і реактивних складових повного опору трифазного к.з., Ом. У загальному вигляді маємо:

$$\sum R_{к} = R_m + R_{\phi}; \quad (6.59)$$

$$\sum X_{к} = X_m + X_{\phi}, \quad (6.60)$$

де R_m , X_m – відповідно активна і реактивна складові повного опору Z_m трансформатора під час симетричного трифазного к.з., Ом; R_{ϕ} , X_{ϕ} – відповідно активний і реактивний опори фазного проводу до точки к.з., Ом.

Значення параметрів Z_m , R_m , X_m дістають за формулами:

$$Z_m = \frac{U_{к.з.} U_{л}^2}{100 S_{ном}} = \frac{U_{к.з.} U_{л}}{100 \sqrt{3} I_{ном}}; \quad (6.61)$$

$$R_m = \frac{\Delta P_m U_{л}^2}{S_{ном}^2}; \quad (6.62)$$

$$X_m = \sqrt{Z_m^2 + R_m^2}, \quad (6.63)$$

де $S_{ном}$, $I_{ном}$ – відповідно номінальні потужність і номінальний струм трансформатора; $U_{к.}$ – напруги к.з. трансформатора; ΔP_m – втрати к.з. трансформатора.

Струм к.з. на шинах 0,4 кВ трансформатора:

$$I_{к.з.}^{(3)} = \frac{U_{л}}{\sqrt{3} Z_m} = \frac{100}{U_{к.}} I_{ном}. \quad (6.64)$$

Ударний струм трифазного к.з. беруть рівним його амплітудному значенню I_a (у мережах 0,38/0,22 кВ ударний коефіцієнт $K_{уд} = 1$):

$$i_{уд} = I_a = \sqrt{2} I_{к.з.}^{(3)}. \quad (6.65)$$

Якщо умови перевірки на спрацювання захисних апаратів під час однофазного к. з. не виконуються, то беруть нульовий провід з більшим поперечним перерізом. Якщо не виконуються умови перевірки за струмом трифазного к. з., то вибирають захисний апарат з більшою вимикаючою здатністю.

5. Заходи щодо компенсації реактивної потужності

У сільській місцевості на споживаючих трансформаторних підстанціях з переважно виробничим навантаженням значення коефіцієнта потужності в

денний максимум становлять 0,73–0,79, ввечері – 0,78–0,86. Споживаючі трансформаторні підстанції з переважно комунально-побутовим навантаженням (до 80 %) мають коефіцієнт потужності в денний максимум 0,89–0,97, ввечері – 0,94–0,98. На тваринницьких фермах значення коефіцієнта потужності становить: вдень – 0,65–0,8, ввечері – 0,75–0,85.

Сільські розподільні мережі мають велику протяжність і дуже розгалужені. Тому для них, як правило, економічно вигідна повна компенсація реактивної потужності. Проектування електроустановок із компенсації реактивної потужності ведуть згідно з ПВЕ і “Інструкцією з системного розрахунку компенсації реактивної потужності електричних мереж” [6].

Проектуючи електроустановки, слід вибирати варіанти з мінімальним споживанням реактивної потужності. Для цього на стадії проектування електрифікації сільськогосподарських підприємств впроваджують заходи щодо зниження споживання реактивної потужності. Це такі заходи:

- правильний вибір електродвигунів і трансформаторів за потужністю і типом:
- вдосконалення технології виробництва з метою підвищення завантаження електродвигунів (не менш як 70 % їхньої номінальної потужності) і повного використання обладнання;
- використання синхронних електродвигунів для нерегульованих електроприводів із постійним режимом роботи там, де це можливо;
- обмеження холостих режимів роботи електродвигунів і електрозварювальних установок;
- раціоналізація графіків роботи трансформаторних підстанцій і перетворювачів.

Впровадження цих та інших заходів веде лише до зниження споживання реактивної потужності.

Джерелами реактивної потужності є повітряні і кабельні лінії електричних мереж, генератори електростанцій, синхронні двигуни і компенсатори, батареї конденсаторів поперечного вмикання, вентильні установки з спеціальним регулюванням тощо.

Реактивну потужність, яку генерують повітряні лінії, струмо-проводи та кабельні лінії, квар, визначають за формулою:

$$Q = 2\pi fCU^2 = \omega CU^2, \quad (6.66)$$

де C – ємність лінії, Ф; U – напруга лінії, кВ; ω – кутова частота, с^{-1} .

Рекомендується враховувати реактивну потужність, яку генерують повітряні і кабельні лінії з номінальною напругою вище 20 кВ, а для кабельних значної протяжності – також і лініями 6–20 кВ.

Максимальне значення реактивної потужності, квар, яку генерує синхронний двигун, дістають за формулою:

$$Q_{\text{дв}} = \frac{a_{\text{макс}} P_{\text{ном}} \operatorname{tg} \alpha}{\eta}, \quad (6.67)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність, кВт; $\operatorname{tg} \varphi$ – тангенс кута φ , який відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності; η – номінальний ККД електродвигуна; $a_{\text{макс}}$ – найбільше допустиме перевантаження синхронного електродвигуна за реактивною потужністю, яке залежить від типу двигуна, відносної напруги і коефіцієнта завантаження за активною потужністю (табл. 6.12).

Таблиця 6.12 – Середнє значення $a_{\text{макс}}$ для синхронних електродвигунів серій СД і СДЗ під час напруги 380 В для всіх частот обертання

Відносна напруга на затискачах	Значення $a_{\text{макс}}$ при коефіцієнті завантаження за активною потужністю		
	0,9	0,8	0,7
0,95	1,16	1,26	1,36
1,0	1,15	1,24	1,32
1,05	1,1	1,18	1,25
1,1	0,9	1,06	1,15

Реактивну потужність, яку генерують конденсатори, знаходять за формулами:

- для одного конденсатора

$$Q = U^2 \omega C 10^{-3}; \quad (6.68)$$

- для з'єднання в трикутник

$$\Delta Q = 3U^2 \omega C 10^{-3}; \quad (6.69)$$

- для з'єднання в зірку

$$Q_Y = 3 \left(\frac{U}{\sqrt{3}} \right)^2 \omega C 10^{-3} = U^2 \omega C 10^{-3}. \quad (6.70)$$

Найефективнішими компенсувальними пристроями в сільсько-господарських установках є статичні конденсатори, технічні дані яких наведено в додатку 7.

Компенсація може бути індивідуальною (конденсатори встановлюють безпосередньо біля споживача), груповою (конденсатори встановлюють біля розподільних щитів або на трансформаторних підстанціях) і змішаною. В мережах до 1000 В конденсатори рекомендується розміщувати біля групових розподільних пунктів.

Якщо маємо рівномірний графік споживання реактивної потужності, то потужність компенсувального пристрою:

$$Q_K = P(\operatorname{tg} \phi_1 - \operatorname{tg} \phi_2), \quad (6.71)$$

де P – середнє значення споживаної активної потужності, кВт; $\operatorname{tg} \phi_1$ – тангенс кута зсуву фаз, що відповідає середньозваженому значенню коефіцієнта потужності за

найбільш завантажену добу; $tg\varphi_2$ – те саме, планове нормативне розрахункове значення.

Якщо маємо змінний графік реактивних навантажень, то компенсувальний пристрій можна вибрати за півгодинним максимумом на графіку навантажень за найбільш завантажену добу. Для побудови цього графіка споживану реактивну потужність, кВар, електродвигунами, повітряними лініями і трансформаторами визначають за формулами:

$$Q_{\partial} = \frac{P_{ном}}{\eta} tg\varphi; \quad (6.72)$$

$$Q_{л} = 3I^2 \frac{X_{л}}{1000}; \quad (6.73)$$

$$Q_{л} = \frac{S_{ном}}{1000} (I_x + \beta^2 U_p), \quad (6.74)$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність електродвигуна, кВт; $tg\varphi$ – тангенс кута φ , що відповідає номінальному значенню коефіцієнта потужності електродвигуна; I – струм в лінії, А; $X_{л}$ – індуктивний опір лінії, Ом; $S_{ном}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А; I_x – струм холостого ходу щодо номінального, %.

Активну (U_a , %) і реактивну (U_p , %) складові напруги к.з. трансформатора ($U_{к.з}$, %) і коефіцієнт завантаження трансформатора за струмом (β) визначають за формулами:

$$U_p = \sqrt{(U_{\hat{e}})^2 - (U_a)^2}; \quad (6.75)$$

$$U_a = \frac{\Delta P_m}{S_{ном}} 100; \quad (6.76)$$

$$\beta = \frac{I_{сер}}{I_{ном}} = \frac{\sqrt{W_a^2 + W_p^2}}{S_{ном} T_p}, \quad (6.77)$$

де ΔP_m – втрати к.з. трансформатора, кВт; $I_{сер}$ – середнє значення струму завантаження трансформатора за час T_p , А; W_a , W_p – відповідно спожита активна (кВт·год) і реактивна (квар·год) електроенергія за час T_p , год., роботи трансформатора, А.

Згідно з [6] для споживачів із загальноустановленою потужністю $S < 750$ кВ·А економічну потужність конденсаторної установки рекомендують здобувати за формулою:

$$Q_{р.ек} = (0,2 + 0,5d)S, \quad (6.78)$$

де S – приєднана потужність, кВ·А; d – частка встановленої потужності асинхронних електродвигунів і зварювальних трансформаторів у загальній встановленій потужності споживачів, приєднаних до шин низької напруги трансформатора.

Значення потужності Q , яку енергопостачальна організація доводить споживачам, визначається за даними, що наведені в табл. 6.13.

Таблиця 6.13 – Значення потужності, яку енергопостачальна організація доводить споживачам

$Q_{p.ек}$, квар	до 50	50–120	120–190	190–260	260–380	380 і більше
Q , квар	0	75	150	225	300	450

Потужність конденсаторної установки необхідно регулювати згідно з графіком споживання реактивної потужності. Найефективнішим є автоматичне регулювання за допомогою регулятора реактивного навантаження, який складається із задавальної, підсилювальної і виконавчої ланок. Задавальна ланка має реагувати на споживану реактивну потужність або реактивну складову струму. Підсилювальна ланка приймає сигнал і з певною витримкою часу подає команду виконавчій ланці, яка вмикає чи вимикає окремі секції конденсаторної батареї.

Приміщення, де встановлюють конденсаторні установки, відносяться до вибухонебезпечних.

Під час вмикання конденсаторної батареї на її затискачах довго зберігається напруга. Щоб не допустити вмикання заряджених конденсаторів та забезпечити безпечне обслуговування конденсаторних батарей, потрібно застосовувати розрядні резистори. При напрузі до 1000 В замість резисторів використовують лампи розжарення, які вмикають на затискачі конденсаторної батареї.

Потужність компенсувальних пристроїв вибирають у такій послідовності:

- будують графік споживання реактивної потужності або визначають споживану реактивну потужність іншим способом;
- вибирають спосіб компенсації і місце встановлення компенсувального пристрою на підставі техніко-економічного порівняння кількох варіантів;
- визначають потужність компенсуючого пристрою;
- складають проект компенсувальної установки.

Приклад. Приєднана до трансформаторної підстанції потужність споживачів $S = 200$ кВ·А, $d = 0,6$.

Якщо $Q_{p.ек} = (0,2 + 0,5 \cdot 0,6) \cdot 200 = 100$ квар., то $Q = 75$ квар. Вибираємо три конденсатори серії КМ2-0,38 (див. додаток 7).

Запитання для самоперевірки

1. За яких умов використовують метод побудови графіка електричних навантажень?

2. Чому у промисловості широко застосовують метод упорядкованих діаграм (ефективного числа споживачів)?
3. У чому полягає суть статистичного методу?
4. Метод коефіцієнта одночасності.
5. Призначення електропроводки?
6. Які способи виконання електропроводок рекомендовано для сільськогосподарських приміщень?
7. Дайте визначення терміну “Струм перевантаження”?
8. Дайте визначення терміну “Коротке замикання”?
9. Призначення електричних апаратів пуску, керування та захисту?
10. Як здійснюється вибір пускозахисної апаратури та розподільних пристроїв?
11. Мета перевірки захисних апаратів на спрацювання під час однофазного к. з.?
12. Які існують заходи щодо компенсації реактивної потужності?