

Міністерство освіти і науки України  
Чернігівський промислово-економічний коледж  
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Заступник директора з НР  
\_\_\_\_\_ С.В. Бондаренко  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_

Методичні рекомендації  
для виконання курсового проекту  
з дисципліни «Електроустаткування підприємств і цивільних споруд»  
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація  
електроустаткування підприємств і цивільних споруд»

Рецензенти:

І.К. Решетник, викладач спеціальних електротехнічних дисциплін ЧПЕК  
КНУТД

В.В.Олійник, голова ЦК спеціальних електротехнічних дисциплін, викладач  
вищої категорії ЧПЕК КНУТД

Укладач: Т.В. Ліх

Методичні рекомендації для виконання курсового проекту з дисципліни  
«Електроуstattкування підприємств і цивільних споруд» спеціальності 5.05070104  
“Монтаж і експлуатація електроуstattкування підприємств і цивільних споруд”–  
Чернігів, Чернігівський промислово-економічний коледж Київського національного  
університету технологій та дизайну, 2016р.

В основу рекомендацій покладені основні питання вивчення спеціальних  
електротехнічних дисциплін

Методичні рекомендації для виконання курсового проекту розраховані на  
студентів випускного курсу.

Розглянуто та схвалено  
на засіданні циклової комісії  
спеціальних електротехнічних дисциплін

Протокол № \_\_\_\_\_  
від \_\_\_\_\_

Голова циклової комісії

В.В.Олійник

## Зміст

Загальні відомості про курсове проектування	4
Вступ	5
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА	
1.1 Призначення і коротка характеристика підприємства	5
1.2 Технічна характеристика технологічного обладнання	5
1.3 Відомість споживачів електроенергії	6
2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	
2.1 Розрахунок освітлення	7
2.1.1 Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання світлового потоку	8
2.1.2 Перевірка освітленості точковим методом	9
2.1.3 Розрахунок місцевого освітлення	10
2.1.4 Розрахунок освітлення в допоміжних приміщеннях	11
2.1.5 Розрахунок і вибір схем мереж освітлення	11
2.2 Розрахунок електроустаткування технологічної машини, верстату, установки	14
2.2.1 Технічна характеристика верстату, машини, установки	14
2.2.2 Вибір електроприводу машини, верстату, установки	14
2.2.3 Перевірка вибраного електричного двигуна за умовами пуску	23
2.2.4 Побудова природної механічної характеристики двигуна	26
2.2.5 Вибір електричних апаратів і елементів схеми управління	28
2.2.6 Розрахунок параметрів і вибір апаратів захисту	32
2.2.7 Принципіальна схема управління машиною, верстатом, установкою і порядок їх роботи	42
2.2.8 Розрахунок і вибір проводів і кабелів, силових розподільчих шаф	42
2.3 Розрахунок потужності цеху	46
3 ОХОРОНА ПРАЦІ	47
4 ВИСНОВКИ	47
5 Вимоги до зображення електричних схем	47
Література	61

## Загальні відомості про курсове проектування

Бурхливий технічний прогрес в області електротехніки і електроніки привів до значних змін в теорії і практиці електроустаткування промислових підприємств і цивільних споруд.

Життя висуває перед нами завдання – вивести народне господарство на якісно-новий науково-технічний і організаційно-економічний рівень, добитись рішучого підйому інтенсифікації виробництва, підвищення його ефективності.

В області енергетики ці завдання передбачають високий рівень проектно-конструкторських розробок, впровадження і раціональну експлуатацію високонадійного електроустаткування, зменшення невиробничих витрат електроенергії при її передачі, розподілі та споживанні.

Розвиток і ускладнення структури систем електропостачання та електроустаткування, зростаючі вимоги до економії і надійності її роботи, в поєднанні із часто-змінною структурою і характером споживачів електроенергії, широке впровадження пристроїв управління розподілом і споживанням електроенергії ставить проблему підготовки висококваліфікованих спеціалістів.

Важливим етапом в розвитку творчої діяльності майбутніх спеціалістів є курсове проектування, в ході якого розвиваються навички самостійного вирішення виробничих проблем і практичного застосування теоретичних знань.

Пояснювальна записка включає в себе: титульний лист, завдання на проектування, зміст, вступ, розрахункову частину, розділ охорони праці та техніки безпеки, висновки, список літератури, якою користувався студент.

Проект виконують, дотримуючись вимог Єдиної Системи Конструкторської Документації (ЕСКД).

В пояснювальній записці проводиться розрахунок, дається обґрунтування прийнятих рішень, приводяться необхідні для розрахунків формули і схеми. При проведенні однотипних розрахунків, пояснення до них виконуються на одному конкретному прикладі, а для інших - результати розрахунків заносять в таблиці.

# **1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА**

## **1.1 Призначення і коротка характеристика об'єкту проектування**

В пояснювальній записці проекту необхідно дати коротку характеристику об'єкту з описом будівельної частини, технологічного процесу виробництва і улаштування електроустаткування.

Характеристика будівельної частини повинна включати відомості про габарити об'єкту, матеріали, з яких виконані підлога, стіни, стелі, несучі опорні конструкції, колони, опори і перекриття, наявність закладних деталей, габарити допоміжних приміщень.

## **1.2 Характеристика технологічного обладнання**

В даному розділі необхідно охарактеризувати технологічний процес, види і типи машин, які будуть встановлені, їх кількість, розташування. Необхідно також охарактеризувати фон, контраст об'єкта розрізнення з фоном, коефіцієнти відображення – стелі, стін, робочої поверхні, дати характеристику оточуючого середовища.

## **1.3 Відомість споживачів електроенергії**

Однією з складових вихідних даних для проектування систем електропостачання є відомість споживачів електроенергії, яка складається за даними звіту з технологічної практики і включає в себе відомість технологічного обладнання, як основного (по виробництву) для даного цеху (підприємства), так і допоміжного (вентилятори, кондиціонери та ін.).

Наприклад, в механічному цеху встановлено два токарні верстати, три фрезерні, три свердлильні, два шліфувальні, п'ять заточних, дві печі опору, два вентилятори, освітлення.

Таблиця 1.1 - Відомість споживачів електроенергії

Номер за планом	Назва механізму	Номінальна потужність, кВт	Кількість верстатів, шт.	$\cos \varphi$	$K_n$	Загальна потужність, кВт
1	Токарний верстат	7,5	2	0,4 - 06	0,12 - 0,14	19,6
		1,5				
2		0,6				
3	Фрезерний верстат	11	3	0,4 - 06	0,12 - 0,14	5,48
4		3				
5		1,1				
		0,75				
		0,6				
6	Радіально-свердильний верстат	5,5	3	0,4 - 06	0,12 - 0,14	8,45
7		2,2				
8		0,75				
9	Шліфувальний верстат	5,5	2	0,4 - 06	0,12 - 0,14	4,55
10		3,0				
		0,6				
11	Вентилятор	22	2	0,8	0,65	22
12		22				
13	Піч опору	35	2	0,95	0,5	35
14		35				
15	Заточні верстати	1,5	5	0,4 - 06	0,12 - 0,14	1,5
16		1,5				
17		1,5				
18		1,5				
19		1,5				

## 2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

### 2.1 Розрахунок освітлення

#### Загальні положення

Електричне освітлення - важливий фактор, від якого значною мірою залежать комфортність перебування і роботи людей.

Основні показники штучного освітлення (горизонтальна освітленість на нормованому рівні, яскравість, спектральний склад світла, пульсація світлового потоку, що засліплює дію джерел світла) повинні забезпечувати нормальні і безпечні умови праці людей, сприяти

підвищенню продуктивності праці і якості продукції. Важлива вимога до освітлювальної установки - її економічність (мінімум приведених витрат і витрат електроенергії).

Розрахунок електричного освітлення

Відповідно до вихідних даних в пояснювальній записці повинен бути виконаний світлотехнічний розрахунок виробничих і допоміжних приміщень цеху з вибором системи освітлення, норм освітленості, типів світильників і їхнім розміщенням, з розрахунком потужності ламп по приміщеннях.

Світлотехнічний розрахунок включає:

- вибір виду і систем освітлення;
- вибір типу світильників і їхнього розташування;
- вибір норм освітлення для окремих приміщень і робочих місць;
- визначення світлового потоку і потужності однієї та всіх установлених ламп.

Вид і система освітлення вибираються по ДБН і галузевих нормах. Для забезпечення нормальних умов роботи, робоче освітлення є обов'язковим у всіх приміщеннях і на відкритому просторі. Аварійне освітлення необхідне для продовження роботи при тимчасовому згасанні робочого освітлення або для безпечної евакуації персоналу виробничих приміщень. Воно передбачається в основних проходах і на сходах, у виробничих приміщеннях із числом працюючих більше 50 чоловік, а у невиробничих приміщеннях - більше 100 чоловік.

Правильний вибір типів світильників і їхнього розташування забезпечує економічність, якість, надійність роботи і безпеку обслуговування електроосвітлення. Економічність підвищується із застосуванням світильників з концентрованим і глибоким світло - розподіленням і лампами з підвищеною світловою віддачею. Якість освітлення підвищується при застосуванні світильників, що віддають частину світлового потоку у верхню частину приміщення, чим зменшується освітленість. Безпека обслуговування світильників особливо важлива при їх встановленні на висоті менш 2,5 м у приміщеннях з підвищеною небезпекою, коли доступ до лампи дозволяється тільки із застосуванням інструменту.

Припустимі за умовами середовища типи світильників з лампами розжарення, ДРЛ і з люмінісцентними лампами наведені в довідниках.

За умовами безпеки й зручності обслуговування світильники повинні встановлюватися: при обслуговуванні зі сходів і драбин - не

вище 5м над рівнем підлоги; при встановленні на стійках і обслуговуванні з технологічних площадок або мостів вище 2,5м над рівнем площадки й 2,2м над настилом містка.

Відношення відстані  $L$  між світильниками або рядами при люмінесцентних світильниках до  $h$ -висоти підвісу над робочою поверхнею - визначається кривою світлорозподілу світильника і для найпоширеніших типів світильників становить 1,4-1,8; відстань між крайніми рядами й стіною становить близько  $(0,3-0,5)L$ . Відстань між світильниками або рядами коригується умовами розташування конструкцій перекриття й розміщенням технологічного устаткування, а також необхідністю збільшення або можливості зниження освітленості в окремих точках робочої поверхні.

Нормоване освітлення визначається Будівельними нормами і правилами, наведеними в довідниках. Крім зазначених загальних норм на їхній основі складені галузеві норми штучного освітлення стосовно до окремих приміщень, робочих місць і ділянок територій окремих галузей промисловості. Варто підкреслити, що при комбінованому освітленні нормується більша освітленість, ніж при одному загальному освітленні, а також більша освітленість при застосуванні газорозрядних ламп, ніж ламп розжарення, що визначається техніко-економічними показниками зазначених видів освітлення і джерел світла.

Розрахунок освітлення зводиться до визначення світлового потоку і потужності ламп, установлених в обраних і розміщених у приміщенні світильниках.

### 2.1.1 Метод використання коефіцієнта світлового потоку

При встановленні в приміщенні площею  $S(m^2)$  кількості світильників  $N$  для загального рівномірного освітлення при нормованій мінімальній освітленості  $E(лк)$  з коефіцієнтом запасу  $k$  до світлового потоку лампи  $F$ , лм

$$F = \frac{k \cdot E \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (2.1)$$

де  $k$  приймається в залежності від періодичності очищення світильників в межах  $(1,1 - 1,5)$ ;

$z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної), приймається в межах (1,1 – 1,3);

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку; приймається по довідниковій літературі; залежить від типу світильника, коефіцієнтів  $p_c$ ,  $p_n$  відбиття стін і стелі і індексу приміщення

Індекс приміщення,  $i$

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} \quad (2.2)$$

де  $h$  - розрахункова висота, м;

$A, B$  - сторони приміщення, м.

### 2.1.2 Точковий метод

Точковий метод застосовується для розрахунку всіх систем освітлення внутрішніх приміщень, а також відкритих просторів і може використатися для перевірки освітлення в заданих контрольних точках. В світильниках з лампами розжарення і ДРЛ світловий потік лампи (лм)

$$F = \frac{\sum e \cdot \mu}{1000 \cdot k_3} \quad (2.3)$$

де  $\sum e$  - сума умовного освітлення при світловому потоці лампи 1000лм для забезпечення освітленості  $E$ (лк) і коефіцієнті запасу  $k$ ;

$\mu$ - коефіцієнт додаткової освітленості для віддалених світильників і відбитих поверхонь, прийнятий у межах (1,1-1,2).

Умовна освітленість визначається за просторовими ізолюксами

$$e = f(d, h),$$

де  $h$  - розрахункова висота, м;

$d$  - відстань від даної точки до проекції світильника на горизонтальну площину, м.

При розрахунку освітлення точковим методом для рядів світильників з люмінесцентними лампами визначається величина  $\sum \varepsilon$ , де  $\varepsilon$

- умовна освітленість для розрахункової висоти 1 м і щільності світлового потоку лампи в ряді світильників 1000 лм/м. При цьому необхідна щільність світлового потоку ряду  $F$ , мм/м:

$$F = \frac{\Sigma e \cdot \mu}{1000 \cdot h \cdot k_s} \quad (2.4)$$

Добуток величини  $F'$  і довжини ряду  $L$ , дає повний світловий потік ламп ряду  $F$ ; після ділення його на фактичний потік ламп установлених світильників, одержимо необхідну кількість світильників ряду,  $N$ .

Зведені дані по окремих приміщеннях вносяться в таблицю. При цьому рекомендується: для приміщень, розрахованих за методом використання коефіцієнта світлового потоку, перевірити освітленість у контрольних точках точковим методом; загальну встановлену потужність ламп загального освітлення  $P_{\text{осв}}$  (без місцевого освітлення) внести в загальне навантаження на трансформатор цехової підстанції.

### 2.1.3 Розрахунок місцевого освітлення

Для розрахунку місцевого освітлення необхідно перевірити освітленість точковим методом від лампи місцевого освітлення, встановленої на механізмі, верстаті або ін. Розраховується за допомогою просторових кривих рівної освітленості. Знаючи висоту установки світильника  $h$  і відстань від нього до деталі  $d$ , за вказаними кривими необхідно знайти відносну освітленість  $e$ , і по найменшій нормованій освітленості  $E_n$  визначити світловий потік  $F$  лм:

$$F = \frac{1000 \cdot E_n}{e},$$

де  $E_n$  –неохідна освітленість;

$e$  – відносна освітленість.

Вибираємо лампу необхідної потужності .

### 2.1.4 Розрахунок освітлення в допоміжних приміщеннях

Метод питомої потужності при освітленні лампами розжарення або лампами ДРЛ зводиться до того, що для приміщення площею  $S(\text{м}^2)$  спочатку потрібно намітити кількість світильників  $N$ , далі за розрахунковими таблицями необхідно знайти значення питомої

потужності так ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) і визначити потужність кожної лампи ( $\text{Вт}$ ):  $p=wS/N$ . При розрахунку освітлення, виконаного люмінесцентними лампами, потрібно намітити кількість рядів світильників  $N$  і визначити потужність всіх ламп ряду  $p$ , на підставі чого вибрати кількість і потужність ламп світильників у ряді. При спрощених розрахунках коефіцієнт питомої потужності  $p$ , приймається у межах (6 – 10)  $\text{Вт}/\text{м}^2$  при застосуванні ламп розжарення і (16 – 20)  $\text{Вт}/\text{м}^2$  при застосуванні люмінесцентних ламп.

## **2. 1.5 Розрахунок і вибір мереж освітлення**

Вибір напруги для освітлювальної установки проводиться одночасно з вибором напруги для силових споживачів, враховуючи також вимоги охорони праці.

В електричному розрахунку освітлювальної мережі повинні бути докладно розглянуті питання вибору принципової схеми живлення освітлювальної установки, марки провідникової продукції, їх прокладання, конструктивного виконання розподільної та магістральної мереж електроосвітлення, а також виконаний розрахунок мережі за струмом з вибором апаратів захисту і перевіркою мережі за допустимою втратою напруги.

Для живлення загального робочого освітлення передбачається розподільчий щит РП-0,4кВ, встановлений в цеху, який живиться від щита низької напруги підстанції. Від зазначеного щита РП через розподільчу мережу живляться групові щитки освітлення, до яких підключаються окремі групи світильників. У невеликих приміщеннях можливе об'єднання розподільчого щита із груповим щитком. Групові щитки встановлюються в зручних для обслуговування місцях з урахуванням того, що радіус дії щитків з однофазними лініями становить 20-30 м, а із трифазними лініями - 60-80 м. Граничне навантаження для групових ліній не повинно перевищувати 20 А при кількості світильників не більше 20.

Для світильників аварійного освітлення встановлюється окремий щиток, що підключається в мережу, яка не залежить від робочого освітлення. При цьому освітленість, створювана світильниками аварійного освітлення, входить у загальний баланс освітленості виробничого приміщення.

Для освітлення території підприємства і охоронного освітлення виділяють самостійні лінії, що підключаються безпосередньо до щита низької напруги підстанції.

Відповідно до наведених вказівок, роблять розрахунок мережі електричного освітлення і наносять цю мережу на окремий аркуш. Розрахунок мережі електроосвітлення зводиться до вибору перерізу проводів на допустиме нагрівання, допустиму втрату напруги, мінімум провідникового матеріалу.

Переріз проводів (кабелів) повинен забезпечити:

- достатню механічну міцність;
- проходження струму навантаження без нагріву понад допустимої температури;
- необхідний рівень напруги для джерел світла;
- спрацювання захисних апаратів.

Найменший допустимий переріз за механічною міцністю повинен бути: для мідних проводів  $1,5\text{мм}^2$ , для алюмінієвих –  $2,5\text{мм}^2$ .

Струм який викликає нагрів проводів при рівномірному навантаженні I, А

- для трифазної мережі ( з нульовим проводом чи без нього )

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_{л.\cos\varphi}}, \quad (2.5)$$

- для двофазної мережі з нульовим проводом

$$I = \frac{P}{2U_{\phi.\cos\varphi}}, \quad (2.6)$$

- для однофазної мережі

$$I = \frac{P}{U_{\phi.\cos\varphi}}, \quad (2.7)$$

де P- потужність кВт;

U<sub>л</sub> – лінійна напруга, В;

U<sub>ф</sub> – фазна напруга, В;

cosφ - коефіцієнт потужності (для мережі освітлення 0,8)

За даним струмом і за таблицями з ПУЕ (паспортні дані на кабелі та проводи) перевіряють відповідність перерізу проводу на нагрівання при проходженні тривалого струму.

Переріз проводу за допустимою втратою напруги  $S$ , мм<sup>2</sup>

$$S = \frac{M}{\Delta U \cdot C}, \quad (2.8)$$

де  $M$  – момент навантаження на дану лінію,

$\Delta U$  - допустима втрата напруги на даній ділянці, (не більше 2,5%);

$C$  – коефіцієнт, залежить від схеми живлення (трифазна з нулем, для міді – 72, для алюмінію – 44).

Момент навантаження на дану лінію  $M$ , кВт·м

$$M = P_a \cdot L, \quad (2.9)$$

$L$  – довжина лінії, м;

$P_a$  – активна потужність всіх ламп на даній лінії, кВт

При розрахунку мереж освітлення користуються формулою для визначення перерізу кабеля  $S$ , мм<sup>2</sup>

$$S = \frac{\sum M + \sum \alpha m}{\Delta U \cdot C}, \quad (2.10)$$

де  $\sum M$  - сума моментів до щитка освітлення (групових ліній);

$\sum \alpha m$  - сума моментів всіх відгалужень;

$\alpha$  - коефіцієнт приведення моментів, залежить від числа проводів на ділянці до відгалуження і після. При переході з 4х провідної на однофазну  $\alpha = 1,85$ , якщо групові лінії теж 4х провідні (кабелем) то  $\alpha = 1$ .

## 2.2 Розрахунок електроустаткування технологічної машини, верстата, установки

### 2.2.1 Технічна характеристика верстата, машини, установки

В цьому розділі студент повинен дати коротку технічну характеристику машини, верстату, установки, обраної для розробки,

коротко описати будову, призначення, принцип дії, показати кінематичні зв'язки.

### **2.2.2 Вибір електроприводу машини, верстата, установки**

Електропривод включає в себе електромеханічний пристрій, що складається з електродвигуна, передавального механізму й апаратури захисту і управління, призначеного для приведення в дію робочих органів виконуючих машин.

В залежності від призначення виконуючих механізмів, їх будови і способу передачі енергії електричні приводи діляться на три види: одиночний, груповий і багатодвигуновий. Найбільше розповсюдження має багатодвигуновий, для якого характерне дистанційне управління в поєднанні з можливою централізацією.

Електродвигуни до робочих механізмів вибираються за наступними параметрами: напруга, рід струму (постійний, змінний), частота обертання, умови оточуючого середовища, характер і величина навантаження.

Розрахунок потужності і вибір електродвигуна для приводу механізму

Для розрахунку потужності і вибору двигуна необхідно мати всі початкові дані. Правильний вибір потужності двигуна, на підставі одержаного розрахунку, має велике значення, оскільки від цього залежить продуктивність, надійність і економічність робочого механізму. Якщо вибраний двигун більшої потужності, ніж необхідно за умовами його роботи, то збільшуються капітальні витрати і знижуються ККД,  $\cos \varphi$ . Якщо потужність двигуна менше необхідної, виникає перегрів обмоток, що різко знижує термін служби двигуна.

За нагрівом двигунів розрізняють три основні режими їх роботи:

1 Тривалий: а) з постійним навантаженням, б) із змінним навантаженням;

2. Короткочасний;

3. Повторно-короткочасний.

Режими роботи двигунів найкращим чином характеризуються діаграмами навантажень, під якими розуміють графіки зміни в часі моменту  $M = f(t)$ , струму  $I = f(t)$  або потужності на валу двигуна в період його роботи.

Діаграма навантаження двигуна будується на підставі рівняння руху електроприводу

Момент, що розвивається двигуном  $M$ , Н•м,

$$M = M_c + M_{дин}, \quad (2.11)$$

де  $M_c$  - статичний момент опору, приведений до валу двигуна, Н•м;

$M_{дин}$  - динамічний момент, приведений до валу двигуна Н•м

$$M_{дин} = I \frac{dw}{dt}. \quad (2.12)$$

Як видно з рівняння, для побудови діаграми навантаження двигуна, необхідно мати графік зміни в часі приведених статичних моментів,  $M_c = f(t)$  тобто діаграму навантаження робочої машини і

графік зміни в часі динамічного моменту  $I \frac{dw}{dt} = f(t)$ , для визначення якого необхідно знати графік зміни швидкості двигуна і приведений момент інерції приводу.

Сума алгебраїчних статичних і динамічних моментів дає графік зміни сумарного моменту на валу двигуна, тобто діаграму, навантаження двигуна.

При визначенні динамічного моменту необхідно заздалегідь орієнтуватися на певну потужність двигуна, що необхідно для визначення прискорення і повного моменту інерції  $J$ , частина якого складає момент інерції ротора (якоря) двигуна. Після побудови діаграми навантаження для конкретного двигуна, останній перевіряється за умовами нагріву і перевантажувальної здатності. Тому, розрахунок потужності двигуна необхідно проводити в наступній послідовності:

- визначити початкові дані для розрахунку потужності двигуна;
- провести розрахунок статичних моментів  $M$  на підставі початкових даних;
- заздалегідь вибрати потужність двигуна на підставі набутого значення  $M$  і швидкості обертання  $W$ ;
- розрахувати і побудувати діаграму навантаження двигуна  $M = f(t)$ ; для чого розрахувати залежність  $M_c = f(t)$ ,  $w = f(t)$  та  $M_{дин} = f(t)$ .
- перевірити заздалегідь вибраний двигун за умовами нагріву і перевантажувальної здатності; на підставі перевірки зробити висновок про придатність вибраного двигуна.

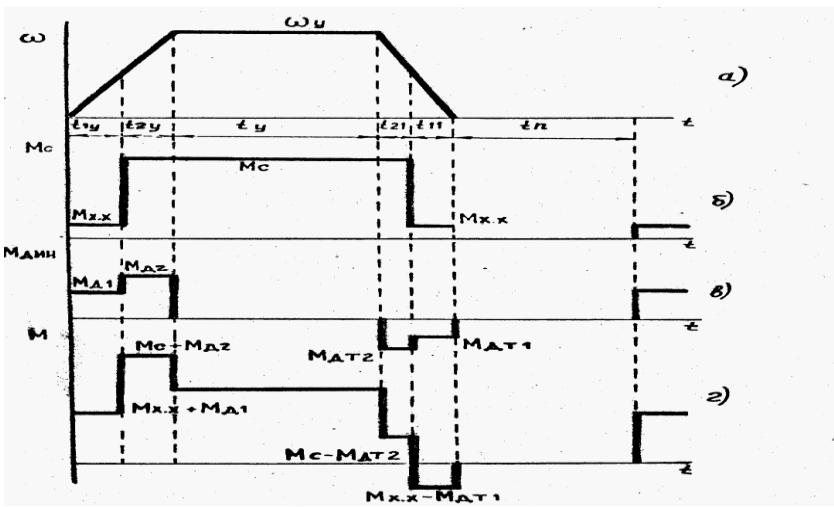


Рисунок 2.3 - Швидкісна діаграма (а), навантажувальна діаграма (б), діаграма динамічних моментів (в) і навантажувальна діаграма двигуна (г)

До початкових даних відносяться ті дані, які характеризують роботу двигуна у будь-який момент часу. Тобто, це дані технологічного процесу і технічні характеристики механізму. Ці дані для розрахунку студент повинен зібрати під час проходження технологічної практики. Тому, вже на цій стадії виконання КП, необхідно добре вивчити метод розрахунку потужності двигуна, щоб визначитися з переліком необхідних даних. Частина початкових даних необхідно взяти з паспорту механізму, де вказана його технічна характеристика, решта даних, тобто дані технологічного процесу визначаються на основі конкретних функцій механізму в технологічному процесі.

#### Розрахунок статичних моментів

Якщо заздалегідь значення статичних моментів опору не задані, то їх слід розрахувати за даними технологічного процесу і технічними характеристиками механізму, тобто за початковими даними.

Отже, перш ніж приступити до розрахунку, необхідно чітко уявляти конструкцію механізму, його кінематику, функції механізму в технологічному процесі, режим роботи і мати початкові дані.

Слід визначитися, з яких складових складається сумарний момент опору.

$$M_c = M_{np} + M_{mp} + M_{x,x}, \quad (2.13)$$

де  $M_{np}$  – момент, потрібний для подолання сил опору машини;

$M_{тр}$ - момент додаткових сил тертя в підшипниках робочих валів і в передавальних механізмах (муфтах, редукторах, ремінних передачах і т.д.);

$M_{хх}$ - момент холостого ходу.

Розраховані за початковими даними складові статичного моменту повинні бути приведені до валу двигуна.

Загальна формула приведення має наступний вигляд

$$M_c = \frac{M_{c.b}}{i \cdot \eta}, \quad (2.14)$$

де  $M_c$  - статичний момент, приведений до валу двигуна;

$M_{cm}$ - статичний момент на валу робочої машини.

$i$  – передавальне число;

$\eta$  - Ккд машини.

Під  $M_{cm}$  мається на увазі будь-який момент опору, тобто  $M_{cm}$  це може бути:

- загальний Ккд;

- загальне передавальне число між двигуном і механізмом.

За наявності в механізмі поступально-рухомих елементів приведення сил опору до валу двигуна проводиться аналогічно, тобто

$$M_c = \frac{F_{c.m} \cdot V}{\omega \cdot \eta}, \quad (2.15)$$

де  $F_{c.m}$  - зусилля робочого органу механізму, Н;

$V$  – лінійна швидкість, м/с

$\omega$  - кутова швидкість на валу двигуна, рад/с.

Відомо, що

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = 0,105n, \text{ рад/с}, \quad (2.16)$$

де  $n$  - швидкість обертання двигуна, об/хв;

Ці рівняння справедливі лише для двигунового режиму. Для гальмівних режимів (двигун працює генератором) приведення статичних моментів слід проводити за наступними формулами

$$M_c = \frac{M_{cm} \cdot \eta}{i}; \quad (2.17)$$

$$M_c = \frac{F_{c.m} \cdot V \cdot \eta}{\omega}. \quad (2.18)$$

На закінчення, слід вивести формулу залежності з часу,  $M_c = f(t)$ , якщо така залежність не задана.

Попередній вибір двигуна

Важливим завданням є вибір потужності приводного двигуна.

Відразу вирішити це завдання неможливо, оскільки у величину приведенного моменту інерції  $J$  входить і момент інерції двигуна,  $J_{дв}$ , який ще не вибраний. А  $J_{дв}$  складає у ряді випадків 70% від сумарного  $J$ .

Окрім потужності двигуна необхідно знати:

- тип виконання двигуна, вибір якого залежить від умов навколишнього середовища;
- режим роботи двигуна (тривалий, короткочасний, повторно короткочасний);
- номінальна напруга двигуна;
- швидкість обертання в радіанах або об/хв;
- тип збудження (для двигуна постійного струму).

При виборі потужності двигуна враховується і наступне:

- величина середнього статичного  $M_{с.ср}$  моменту може бути першим орієнтиром при визначенні номінальної потужності  $P_H$ , кВт

$$P_H \geq (1 \div 1,6) \cdot M_{с.ср} \cdot \omega_H \cdot \sqrt{\frac{ПВ_{фак}}{ПВ_{ст}}}, \text{ кВт}, \quad (2.19)$$

де 1-1,6 – коефіцієнт, що враховує динамічне навантаження приводу;

$ПВ_{фак}$  - фактична тривалість включення, %;

$ПВ_{ср}$  - довідникова тривалість включення, на яку розрахований двигун, %;

$\omega_H$  - номінальна швидкість двигуна рад/с.

- можна прийняти за основу найбільший момент, потрібний від двигуна,  $P_H$ , кВт. В цьому випадку

$$P_H \geq (1,2 \div 1,4) \cdot \frac{M_{с.мак}}{\lambda_{де}} \cdot \omega_H, \quad (2.20)$$

де  $M_{с.мак}$  максимальний статичний момент, приведений до валу двигуна;

1,2/ 1,4 - коефіцієнт запасу;

$\lambda_{дв}$  - перевантажувальна здатність двигуна.

- у разі тривалої роботи із змінним навантаженням потужність двигуна вибирається на 15-20% більше середньої потужності графіка, навантаження робочої машини, тобто

$$P_H \geq (1,15 \div 1,2) \cdot \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + \dots + P_n t_n}{t_y}, \quad (2.21)$$

- Можуть бути інші методи розрахунку потужності.

Розрахунок спрощеної діаграми навантаження двигуна

Побудова діаграми навантаження двигуна  $M = f(t)$ , ведеться на підставі рівняння .

Її починають з побудови графіків зміни в часі швидкості двигуна,  $\omega = f(t)$  приведених статичних моментів  $M_c = f(t)$  динамічного моменту;  $M_{дин} = f(t)$

Залежність  $\omega = f(t)$ , як правило, буває заданою. Якщо тахограми немає, то її слід розрахувати за початковими даними і потім побудувати графік .

Потім розраховують залежність  $M_c = f(t)$  якщо вона не задана, і також будують графік .

Наступним етапом визначають сумарний момент інерції приводу  $J$ , приведений до валу двигуна і потім значення  $M_{дин}$ .

Визначити  $J$  стає можливим після попереднього вибору двигуна за наступною формулою:

$$J = (1,1 \div 1,2) J_{\delta\epsilon} + J_m \cdot \frac{1}{i^2} + \frac{mV^2}{\omega^2}, \quad (2.22)$$

де  $J_{дв}$  - момент інерції двигуна, кг м

1,1-1,2 - коефіцієнт, що враховує момент інерції редуктора;

$i$  - передавальне число редуктора;

$J_m$  - момент інерції, частин механізму, що обертаються кг·м<sup>2</sup>;

$V_m$ , - лінійна швидкість м/с;

$\omega$  - кутова швидкість обертання, рад/с;

$m$  - маса, кг.

Приведеному значенню моменту інерції приводу і відповідних прискорень при розгоні й уповільненні, що визначаються за даними графіка швидкості  $\omega = f(t)$ , ведеться побудова графіку зміни динамічного моменту .

Алгебраїчна сума в кожен момент часу приведених значень статичного і динамічного моментів визначає момент, що розвивається двигуном, графік якого в часі і є діаграмою навантаження електроприводу.

При розрахунку потужності двигуна іноді потрібно задатися значеннями середніх пускових і гальмівних моментів  $M_n$  і  $M_T$ .

Суворих рекомендацій для їх вибору не існує, проте залежно від системи приводу і технологічних вимог можна рекомендувати наступні співвідношення в порівнянні з моментом номінальним  $M_n$ .

Час пуску і гальмування при цьому визначаються за формулами

- для приводу постійного струму по системі Г-Д

$$M_n=(1,6-1,8)M_n; \quad (2.23)$$

$$M_T=(1,2-1,4)M_n. \quad (2.24)$$

- для приводу постійного по системі ТП-Д:

$$M_n=M_T=(1,7-2)M_n. \quad (2.25)$$

- для вентильних асинхронних каскадів

$$M_n=(1,3-1,6)M_n; \quad (2.26)$$

$$M_T=(1-1,3)M_n. \quad (2.27)$$

Час пуску та гальмування при цьому знаходять за формулами

$$t_n = \frac{J\Delta\omega}{Mn - Mc}, \quad (2.28)$$

$$t_o = \frac{J\Delta\omega}{Mr + Mc}, \quad (2.29)$$

Спосіб остаточної перевірки заздалегідь вибраного двигуна за умовами нагріву визначається типом двигуна і режимом його роботи.

Для механізмів тривалого режиму роботи з постійним або таким, що мало змінюється навантаженням (насоси, вентилятори і т.д.), потужність двигуна вибирається безпосередньо за каталогом, відповідно до потужності з діаграми навантаження (або потужністю розрахованою за формулою). В цьому випадку повинна дотримуватися умова  $P_H \geq P_c$ .

Перевірки двигуна за нагрівом або перевантаженням тут не вимагається.

Для всієї решти режимів роботи (тривалого із змінним навантаженням, короткочасного і повторно-короткочасного) проводиться перевірка заздалегідь вибраного двигуна на нагрів методом еквівалентного струму, моменту потужності або методом середніх втрат.

На практиці, проектування електроприводів зі всіх методів перевірки двигунів на нагрів частіше використовується метод еквівалентного струму або моменту.

Значення еквівалентних величин знаходять за формулами

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (2.30)$$

$$M_e = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}}, \quad (2.31)$$

де  $I_1, I_2, \dots, I_n$  - значення струмів окремих ділянок навантаження, А;

$M_1, M_2, \dots, M_n$  - значення моментів на окремих ділянках навантаження, Н·м;

$t_1 + t_2 + \dots + t_n$  - час роботи на окремих ділянках навантаження, с.

Ці значення порівнюються з номінальними значеннями струму, моменту заздалегідь вибраного двигуна. Якщо  $M_n \geq M_e$  або  $I_n \geq I_e$  то двигун задовільняє умовам нагріву.

Необхідно пам'ятати, що при виборі потужності двигунів постійного струму незалежного збудження з регулюванням швидкості за рахунок зміни магнітного потоку, постійного струму послідовного або змішаного збудження, а також асинхронних з коротким замиканням, ротором, необхідно користуватися методом еквівалентного струму.

Наведені рівняння справедливі в тих випадках, коли умови охолодження на всіх ділянках роботи не відрізняються від розрахункових, або використовуються двигуни з примусовою вентиляцією. Для двигунів з самовентиляцією, тепловіддача яких залежить від швидкості, в даних рівняннях, необхідно вводити коригуючі коефіцієнти ( $d_1$  - коефіцієнт, що враховує погіршення умов охолодження при пуску і гальмуванні, як правило,  $d = 0,75$ ) для ділянок, де швидкість двигуна, вибраного з серії, призначеної для роботи в тривалому режимі, менше номінальної або відбувається його зупинка.

Так, наприклад, вираз еквівалентного моменту з урахуванням зміни тепловіддачі двигуна для діаграми навантаження рис.3.2, буде наступним:

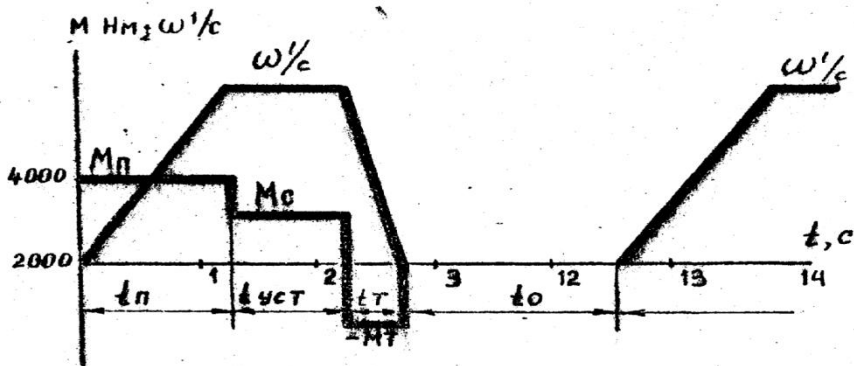


Рисунок 2.4 Діаграма навантаження

Після перевірки двигуна за умовами нагріву його перевіряють за перевантажувальною здатністю, тобто вибір потужності двигуна повинен проводитися з урахуванням як умов тривалої роботи, так і миттєвих перевантажень.

Двигун проходить за перевантаженням, якщо виконується умова:

$$M_{max} \leq \lambda M_n; \quad (2.32)$$

$$I_{max} \leq \lambda_1 I_n,$$

де  $M_{max}$  - максимальні значення моменту, (з діаграми, навантаження);

$I_{max}$  - максимальні значення струму, (з діаграми навантаження);

$\lambda$  - відповідно допустимі коефіцієнти перевантаження за моментом і струмом.

### 2.2.3 Перевірка вибраного електричного двигуна за умовами пуску

Після вибору двигуна його дані заносяться до таблиці і відповідно до них проводиться перевірка двигуна за пусковими моментами.

Наприклад:

Таблиця 2.3

Тип двигуна	$P_n$ , кВт	$I_n$ , А	$\eta$ , %	$\cos \varphi$	$I_n$ А	$M_{*п}$ Н.м	$M_{*м}$ Н.м	$n_n$ , об/хв	$j_{дв}$ , кг·м <sup>2</sup>
4AM90L4	2,2	5	80	0,83	6,5	2,0	1,6	1410	0,0056

Номинальний момент двигуна  $M_H$ , Н·м

$$M_H = \frac{P_H \cdot 10^3}{\omega_H}, \quad (2.33)$$

$$\text{де } \omega_H = \frac{n_H}{9,55} = \frac{1410}{9,55} = 147,6 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

$$M_H = \frac{2,2 \cdot 10^3}{147,6} = 14,9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Статичний момент на валу двигуна  $M_C$ , Н·м

$$M_C = \frac{P_{\text{РОЗР}} \cdot 10^3}{\omega_H}, \quad (2.34)$$

$$M_C = \frac{1,89 \cdot 10^3}{147,6} = 12,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент двигуна  $M_{\Pi}$ , Н·м

$$M_{\Pi} = M_{*\Pi} \cdot M_H, \quad (2.35)$$

$$M_{\Pi} = 2 \cdot 14,9 = 29,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент двигуна  $M_M$ , Н·м

$$M_M = M_{*M} \cdot M_H, \quad (2.36)$$

$$M_M = 1,6 \cdot 14,9 = 32,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Середньопусковий момент двигуна  $M_{\text{ср.п}}$ , Н·м

$$M_{\text{ср.п}} = 0,45 \cdot (M_{\Pi} + M_M), \quad (2.37)$$

$$M_{\text{ср.п}} = 0,45 \cdot (32,8 + 29,8) = 28,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Середнє значення моментів інерції електроприводу  $Ej$ , кг·мм<sup>2</sup>

$$\sum j = j_{\text{ДВ}} \cdot (C + 0,3), \quad (2.38)$$

де  $C = 1,2$  - коефіцієнт, який враховує момент інерції двигуна.

$$\sum j = 0,0056 \cdot (1,2 + 0,3) = 0,0084$$

Прискорення двигуна при пуску  $a$ ,  $\frac{\text{об}}{\text{хв} \cdot \text{с}}$

$$a = \frac{9,55 \cdot (M_{\text{ср.п}} - M_{\text{с}})}{\sum j} \quad (2.39)$$

$$a = \frac{9,55 \cdot (28,17 - 12,8)}{0,0084} = 17474 \frac{\text{об}}{\text{хв} \cdot \text{с}}$$

Час пуску двигуна  $t_{\text{п}}$ , с

$$t_{\text{п}} = \frac{n_0}{a} \quad (2.40)$$

$$t_{\text{п}} = \frac{1500}{17474} = 0,086 \text{ с}$$

Динамічний момент двигуна  $M_{\text{д}}$ , Н·м

$$M_{\text{д}} = \frac{\sum j \cdot M_{\text{п}}}{t_{\text{п}}} \quad (2.41)$$

$$M_{\text{д}} = \frac{0,0084 \cdot 147,6}{0,086} = 14,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Необхідний пусковий момент двигуна  $M_{\text{н.п}}$ , Н·м

$$M_{\text{н.п}} = M_{\text{с}} + M_{\text{д}} \quad (2.42)$$

$$M_{\text{н.п}} = 12,8 + 14,4 = 27,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Середньопусковий момент більший від потрібного моменту для запуску електроприводу

$$M_{\text{ср.п}} = 28,17 > M_{\text{н.п}} = 27,2$$

Тому двигун підходить за пусковим моментом

## 2.2.4 Побудова природної механічної характеристики двигуна

Механічна характеристика двигуна показує залежність початкового пускового моменту двигуна від ковзання, його розгін до сталого режиму роботи, можливість його роботи при номінальній потужності. Характеристика показує пусковий, критичний і статичний моменти і їх залежність від обертів і ковзання. Характеристика розраховується за формулою Клосса.

$$M = \frac{M_M \cdot (2 + q)}{\frac{S_k}{S} + \frac{S}{S_k} + q},$$

Наприклад:

Допоміжний коефіцієнт А

$$A = \frac{M_{*M} - 1}{\frac{M_{*M}}{M_{*\Pi}} - 1}, \quad (2.43)$$

$$A = \frac{2,2 - 1}{\frac{2,2}{2} - 1} = 12$$

Номінальне ковзання двигуна  $S_H$

$$S_H = \frac{n_o - n_H}{n_o}, \quad (2.44)$$

$$S_H = \frac{1500 - 1410}{1500} = 0,06$$

Критичне ковзання двигуна  $S_K$

$$S_k = \frac{S_H + \sqrt{S_H \cdot A}}{1 + \sqrt{S_H \cdot A}}, \quad (2.45)$$

$$S_k = \frac{0,06 + \sqrt{0,06 \cdot 12}}{1 + \sqrt{0,06 \cdot 12}} = 0,48$$

Допоміжний параметр q,

$$q = \frac{S_K + \frac{1}{S_K} - \frac{2 \cdot M_{*M}}{M_{*\Pi}}}{\frac{M_{*M}}{M_{*\Pi}} - 1}, \quad (2.46)$$

$$q = \frac{0,48 + \frac{1}{0,48} - \frac{2 \cdot 2,2}{2}}{\frac{2,2}{2} - 1} = 3,6$$

Задаючи значення ковзання  $S$  від 0 до 1 та швидкості обертання валу двигуна в межах від 1500 до 0 за формулою Клосса, визначають

момент  $M$  для побудови механічної характеристики. Результати розрахунку заносять до таблиці, 2.4

Таблиця 2.4 - Значення моменту двигуна і кутової швидкості від ковзання

$n$ об/хв	$S_H$	$\frac{S_H}{S_K}$	$\frac{S_K}{S_H}$	$\frac{S_K}{S_H} + \frac{S_H}{S_K} + q$	$M^0$
1500	0	0	0	0	0
1455	0,06	0,125	8	11,7	1,05
1350	0,1	0,208	4,8	8,6	1,43
1200	0,2	0,41	2,4	6,41	1,92
1050	0,3	0,62	1,6	5,82	2,11
900	0,4	0,83	1,2	5,63	2,18
750	0,5	1,04	0,96	5,6	2,2
600	0,6	1,25	0,8	5,65	2,18
450	0,7	1,45	0,68	5,73	2,15
300	0,8	1,66	0,6	5,86	2,1
150	0,9	1,87	0,53	6	2,05
0	1	2,08	0,48	6,16	2

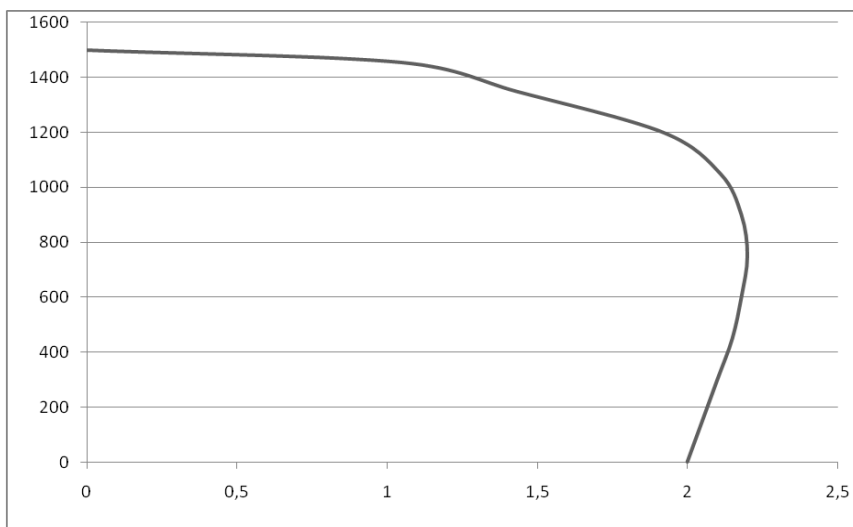


Рисунок 2.3 - Механічна характеристика двигуна

## **2.2.5 Вибір електричних апаратів і елементів схеми управління**

### **Загальні відомості**

Апарати управління призначені для вмикання, вимикання і перемикання електричних кіл(мереж) і електроспоживачів, регулювання частоти обертання і реверсування електродвигунів, регулювання параметрів силових, освітлювальних, нагрівальних і інших електроустановок.

Захисні апарати призначені для вимикання електричних кіл(мереж) при виникненні в них ненормальних режимів (короткі замикання, значні перевантаження, різкі зниження напруги та ін.). Апарати керування та захисту вибирають за рядом параметрів, основні з яких - номінальний струм і напруга. Крім того, апарати вибирають за кліматичним виконанням (ДСТ 35543-70), за ступенем захисту від впливу навколишнього середовища (ДСТ 14254-69) та інших параметрах в залежності від призначення апарату (граничний струм короткого замикання, що відключається, електродинамічна і термічна стійкість, розривна потужність, зносостійкість контактів і ін.).

Від правильного вибору пускової і захисної апаратури у великій мірі залежать надійність роботи і збереження устаткування в цілому, якісні й економічні показники виробничого процесу, електробезпека людей.

### **Рубильники і перемикачі**

Рубильники і перемикачі призначені для нечастих (не більш шести в годину) неавтоматичних відключень і переключень електричних кіл змінного струму напругою до 660 В, частотою 50 Гц і постійного струму напругою до 440 В.

Конструктивно рубильники і перемикачі розрізняють: за числом полюсів - одно-, дво- і триполюсні; за видом приводу - з центральною рукояткою, боковою рукояткою, з боковими підйомним приводом; по захищеності - відкритому і захищеному; за способом підключення струмопроводу - переднє, заднє.

Рубильники типу Р і рубильники-перемикачі типу РП випускають на напругу до 660 В змінного і 440 В постійного струму в одно-, дво- і триполюсному виконанні і на номінальні струми 100, 250, 400 і 630 А. за типом приводу їх виконують: з боковою незнімною

рукояткою (РП, РП11), з винесеною і знімною рукояткою (Р16, РП16), з передньою рукояткою (Р19, РП19) і важелем для керування штангою (Р20, РП20). Дво - і триполюсні рубильники з бічною рукояткою типу РБ випускають на номінальні струми 250, 400 і 630 А і номінальну напругу 380 і 660 В. Крім зазначених вище, застосовують й інші типи рубильників, наприклад РС зі зміщеним приводом.

Для неавтоматичної комутації і захисту від струмів перевантаження і короткого замикання (к. з.) використовують блоки запобіжник-вимикач у дво- і триполюсному виконанні типу БПВ на 100, 250 і 400 А, типу ППВ на 100, 250 А, рубильник із запобіжниками зі зміщеним приводом на 100, 250, 400 А та ін.

Рубильники і перемикачі вибирають за номінальною напругою, номінальному струмові, числу полюсів, конструктивному і кліматичному виконанню, категорії розміщення і ступеню захисту.

### **Пакетні вимикачі і перемикачі**

Пакетні вимикачі і перемикачі призначені для роботи в електричних колах напругою до 380 В змінного струму і до 220 В постійного струму. Їх застосовують як групові вимикачі на розподільних щитах, перемикання режимів роботи в електричних схемах, пускачів асинхронних двигунів малої потужності і т.ін.

### **Кнопки керування, шляхові і кінцеві вимикачі і перемикачі**

Кнопки керування використовують для дистанційного керування контакторами, пускачами й іншими електромагнітними апаратами, а також для комутації кіл сигналізації, блокувань і т.ін. Їх випускають відкритого, захищеного, водозахищеного, пиловодозахищеного і вибухозахищеного виконання. Кнопки керування, змонтовані в загальному корпусі або на панелі, називають кнопковою станцією. В промислових електроустановках застосовують кнопкові станції, головним чином захищеного, пиловодозахищеного і відкритого виконання.

Промисловість випускає кнопки керування серії КЕ тринадцяти типів, що відрізняються виконанням, видом, формою, кольором кнопок, числом контактних кіл і оперативних написів на кнопках. Номінальний струм контактів при напрузі 500 В змінного струму і 220 В постійного струму 6 А. На базі КЕ випускають 36 типів станцій керування серії ПКЕ з однією, двома і трьома кнопками.

Шляхові і кінцеві вимикачі і перемикачі – це кнопки керування, що діють автоматично (при натисканні на них деталі механізму, що рухається.). Їх широко застосовують в автоматичних схемах приводу транспортних механізмів для зміни напрямку руху керованого механізму і виключення можливості переходу його за межі допустимих положень.

## **Електромагнітні пускачі**

Електромагнітні пускачі служать для дистанційного керування асинхронними двигунами (включення, відключення, реверсу), трифазними асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором потужністю до 250 А і напругою до 500 В. Такі пускачі автоматично відключають двигуни при зниженні напруги на 50...60 % номінального і при перевантаженнях (якщо мається теплове реле).

Найбільш широке поширення отримали електромагнітні пускачі серії ПМЕ-000 і ПАЕ-100 з номінальним струмом від 3,2 до 150 А. Поступово їх заміняють більш зручними пускачами серії ПМЛ-000000 з І<sub>н</sub> від 10 до 200 А.

Структура умовних позначень пускача складається з літерного позначення серії (ПМЕ, ПАЕ, ПМЛ, ПМА) і ряду цифр після дефісу, що позначають:

- у серії ПМЕ-000 перша цифра - величина пускача (0, 1, 2);
- друга - виконання (для нульової величини 1, 4, 7- відкрите з чотирма замикаючими контактами; 2, 5, 8 - захищене з чотирма замикаючими і двома контактами, що розмикають;

- 3, 6, 9 – пило - водонепроникними з чотирма замикаючими контактами; для першої і другої величин: 1 -відкрите, 2 - захищене, 3 – пило - вологонепроникним виконання);

- третя цифра - можливість реверсу електродвигуна, наявність теплового реле і кнопок керування (1 - нереверсивний без реле, 2- нереверсивний з реле, 3- реверсивний без реле, 4 - реверсивний з реле, 5 - нереверсивний без реле з убудованими в оболонку кнопками "Пуск" і "Стоп", 6 - те ж, але з тепловим реле);

- у серії ПАЕ-000 перша цифра - величина пускача (3, 4, 5, 6); друга - виконання (1-відкрите, 2 - захищене, 3 - пилозахищене, 4 – пило- водонепроникне); третя цифра - те ж, що в ПМЕ;

- у серії ПМЛ-000000 перша цифра - величина (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7);

- друга - можливість реверсу, наявність теплових реле і блокувань (1-нереверсивний без реле, 2 - нереверсивний з реле, 5 – реверсивний без реле з механічним і електричним блокуванням, 6 - те ж, але з реле, 7 - для переключення "зірка - трикутник");

- третя - виконання за ступенем захисту і наявності кнопок (0 - IP00, 1-IP54 із кнопкою "Реле", 2 - IP54 із кнопками "Пуск" і "Стоп", 3 - IP54 із кнопками "Пуск" і "Стоп" і сигнальною лампою);

- четверта - виконання за числом і виконанням контактів допоміжного кола;

- п'ята - кліматичне виконання і категорія розміщення.

Захист від перевантажень здійснюється за допомогою вбудованих теплових реле: двополюсного типу ТРН в пусках ПМЕ і ПАЕ 0, 1, 2 і 3 величин, однополюсних типу ТРП у пусках ПАЕ 4, 5 і 6 величин і трифазних типу РТЛ у пусках ПМЛ. Діапазон регулювання струму уставки реле ТРН і ТРП - від 0,75 до 1,25 Ін. Електромагнітні пускачі вибирають в залежності від умов навколишнього середовища і схеми управління за номінальною напругою, номінальним струмом, за струмом нагрівального елемента теплового реле і за напругою втягуючої котушки. При виборі електромагнітних пускачів і теплових реле можна використовувати дані табл.2.1, або користуватись довідниковими даними.

Таблиця 2.1 - Технічні дані електромагнітних пускачів і теплових реле дані вбудованих теплових реле

Тип пускача	Величина пускача	Найбільша потужність двигуна, кВт при напрузі 380 В	Дані вбудованих теплових реле		
			Тип	Номінальний струм реле, А	Номінальний струм теплових елементів, А
ПМЕ	0	1,1	ТРН-10А	3,2	0,32;0,4;0,5;0,63;0,8;1,0;1,25;1,6;2,0;2,5;3,2
ПМЕ	1	4,0	ТРН-10	10	0,5;0,63;0,8;1,0;1,25;1,6;2,0;3,2;4,0;5,0;6,3;8;10
ПМЕ	2	10,0	ТРН-25	25	5,0;6,3;8;10;12,5;16;20;25
ПМЕ	3	17,0	ТРН-40	40	12,5;16;20;25;32;40
ПМЕ	4	30,0	ТРП-60	60	20;25;30;40;50;60
ПМЕ	5	55,0	ТРП-150	150	50;60;80;100;120
ПМЕ	6	75,0	ТРП-150	150	100;120;150
ПМЛ	1	4,0	РТЛ-1	10	1,6...10
ПМЛ	2	10,0	РТЛ-2	25	10...25
ПМЛ	3	18,5	РТЛ-3	40	30;40
ПМЛ	4	30,0	РТЛ-4	63	40...63
ПМЛ	5	45,0	РТЛ-5	80	63;80
ПМЛ	6	55,0	РТЛ-6	125	100;125
ПМЛ	7	110,0	РТЛ-7	200	125;160;200

## 2.2.6 Розрахунок параметрів і вибір апаратів захисту

### Плавкі запобіжники

Плавкі запобіжники призначені для захисту електричних установок від струмів короткого замикання і струмів перевантаження. Проста конструкція, невеликі розміри і порівняно мала вартість обумовили широке застосування плавких запобіжників у промислових електроустановках, особливо при напрузі до 1000 В. На відміну від інших видів захисних пристроїв, плавкі запобіжники об'єднують у собі функцію виявлення пошкоджень і функцію відключення пошкодженої ділянки.

Однак плавким запобіжникам властиві і серйозні недоліки, що обмежують область їхнього застосування, до яких відносяться: великий розкид спрацьовування плавкої вставки до 50 % за струмом, необхідність заміни плавкої вставки або всього запобіжника після однократного спрацьовування, можливість роботи двигуна на двох фазах при перегорянні запобіжника на одній фазі й ін.

Плавкі запобіжники вибирають за наступними параметрами:

- за номінальною напругою;

При захисті плавкими запобіжниками лінії, до якої приєднано більше одного двигуна, струм плавкої вставки визначають за умовою

$$I_{Bm} \geq \frac{I_n}{\alpha} + I_{n(n-1)} \quad (2.47)$$

де  $\alpha$  – 2,5 для двигунів з тривалим режимом роботи, (1,6 – 2) при повторно-короткочасному режимі роботи.

Запобіжники, обрані за даними умовами, захищають короткозамкнені двигуни тільки від коротких замикань;

Для вибору плавких запобіжників за умовою селективності використовується метод узгодження характеристик запобіжників. В основу цього методу покладений принцип методу порівняння перерізу плавких вставок.

При установці однотипних запобіжників напругою до 1000 В селективність буде дотримана, якщо плавкі вставки кожних двох послідовно включених запобіжників відрізняються одна від одної не менше як на одну- дві ступені за шкалою номінальних плавких вставок, а при встановленні високовольтних запобіжників з кварцевим заповнювачем – на одну ступінь.

Таблиця 2.2 - Технічні дані плавких запобіжників напругою до 1000 В.

Тип	Номінальний струм $I_{ном}$ , А	
	Запобіжника	Плавкої вставки
ПНП-60	60	6, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60
ПН2-100	100	30, 40, 50, 60, 80, 100
ПН2-250	250	80, 100, 120, 150, 200, 250
ПН2-400	400	200, 250, 300, 400
ПН2-600	600	300, 400, 500, 600
ПП17-39	1000	500, 630, 800, 1000
ПП18-33	160	50, 63, 80, 100, 125, 160
ПП18-34	250	125, 160, 200, 250
ПП18-37	400	250, 320, 400
ПП18-39	630	400, 500, 630
ПП18-41	1000	630, 800, 1000
ПР2	15	6, 10, 15
	60	15, 20, 25, 35, 45, 60
ПРС-6	6	1, 2, 4, 6
ПРС-25	25	4, 6, 10, 16, 20, 25
ПРС-63	63	20, 25, 40, 63
ПРС-100	100	40, 63, 80, 100

### Автоматичні вимикачі

Автоматичні вимикачі призначені для проведення струму у нормальному режимі і вимикання електричних кіл при коротких замиканнях, перевантаженнях та недопустимому зниженні напруги. Їх використовують для оперативних вмикань та вимикань електричних кіл напругою до 220 В постійного, 380 В змінного струму частотою 50 або 400 Гц.

Умовні позначення автоматичних вимикачів серії А3700Ф розшифровуються так:

$$\frac{A37}{1} \quad \frac{X}{2} \quad \frac{X}{3} \quad \frac{\Phi}{4} \quad \frac{УЗ}{5}$$

1 - серія;

2 - величина за номінальною силою струму вимикача: 1-160А; 2-250А; 3-630А;

3 - виконання за кількістю полюсів та наявністю розчіплювачів; 1 - двополюсні з електромагнітними розчіплювачами; 5 - двополюсні з електромагнітними та тепловими розчіплювачами; 6 - триполюсні з електромагнітними та тепловими розчіплювачами; 7 - двополюсні; 8 - триполюсні без розчіплювачів;

4 - фенопластовий корпус;

5- кліматичне виконання та категорія розміщення. За вимогою замовника вимикачі виготовляють з такими додатковими пристроями: незалежним розчіплювачем; розчіплювачем нульової напруги; електромагнітним приводом; допоміжними контактами.

Вони мають переднє, заднє і комбіноване приєднання мідних або алюмінієвих проводів. Працюють у тривалому режимі при таких умовах навколишнього середовища:

- кліматичне виконання і категорія розміщення УЗ;
- навколишнє середовище не повинно містити струмопровідного пилу, агресивних газів і пари в концентраціях, що руйнують метали та ізоляцію;
- група умов експлуатації М7 за ГОСТ 17516—72 для стаціонарного виконання і М1 - для висувного виконання;
- місце встановлення вимикачів повинно бути захищене від потрапляння води, масла, емульсії тощо, а також від безпосередньої дії сонячної радіації.

Автоматичні вимикачі мають нерегульовані вставки спрацьовування електромагнітних і теплових розчіплювачів, тому їх застосовують, в основному, для захисту від коротких замикань та перевантажень електричних мереж і окремих електроприймачів.

Вимикачі АЗ700ФУЗ при змінному і постійному струмі і одночасному проходженні струму по всіх полюсах вимикача:

- повинні не спрацьовувати при номінальній силі струму термометалевого розчіплювача;
- можуть спрацьовувати при силі струму  $1,05 I_n$  термометалевого розчіплювача за час менше 2 год з початком відліку від холодного стану вимикача.

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики автоматичних вимикачів серії АЗ700

Типи	Номінальні сили струму, А		Номінальні сили струму уставки спрацьовування електромагнітного розчіплювача, А
	вимикачів	електромагнітних розчіплювачів	
АЗ711ФУЗ	160	80	400
АЗ712ФУЗ	160	160	630, 1000, 1600
АЗ721ФУЗ	250	250	1600, 2000, 2500
АЗ722ФУЗ			
АЗ731ФУЗ	630	400	2500, 3200, 4000
АЗ732ФУЗ			
		630	4000, 5000, 6300

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики автоматичних вимикачів серії АЗ700ФУЗ з електромагнітними і термометалевими розчіплювачами

Типи	Номинальні сили струму, А			Номинальні сили струму уставок, А		Гранично допустима сила струму короткого замикання, кА
	вими-кача	електро-магнітного розчіп-лювача	тепло-вого розчіп-лювача	тепло-вого розчіп-лювача	електро-магнітного розчіп-лювача	
АЗ715ФУЗ	160	160	16	18	630	5,5
АЗ716ФУЗ			20	23		10
			25	29		15
			32	37		20
			40	46		20
			50	58		25
			63	73		25
			80	92		25
			100	115		25
			125	144		25
			160	184		25
			32	37	1600	20
			40	46		20
			50	58		25
			63	73		25
			80	92		25
			100	115		25
			125	144		25
			160	184		25
АЗ725ФУЗ	250	250	160	184	2500	35
			200	230		35
			250	288		35
		400	250	288	2500	50
			320	368	3200	50
			400	460	4000	50
		630	500	575	5000	50
			630	725	6300	50

Приклад замовлення. Вимикач стаціонарного виконання АЗ716ФУЗ на 20 А змінного струму, 50 Гц, сила струму уставки спрацьовування електромагнітного розчіплювача 600 А, без допоміжних пристроїв, з затискачами для переднього приєднаний проводів без кабельних наконечників, ТУ 16.522.028—74.

Поряд з вимикачами серії АЗ700ФУЗ виготовляють вимикачі серії АЗ700, які розраховані для роботи в мережах з напругою до 660 В змінного струму, і до 440 В постійного струму. Крім виконань, що передбачені в серії АЗ700ФУЗ, випускають вимикачі з

напівпровідниковими і електромагнітними розчіплювачами. Основне виконання передбачається з струмообмеженням (А3700Б), а також селективне виконання (А3700С).

Автоматичні вимикачі серії АЕ20М (модернізовані) застосовують у трансформаторних підстанціях потужністю до 630 кВ•А та для вбудови у комплектні пристрої. Умовні позначення вимикачів розшифровуються так:

$$\frac{\text{AE20}}{1} \quad \frac{\text{X}}{2} \quad \frac{\text{X}}{3} \quad \frac{\text{X}}{4} \quad \text{—} \quad \frac{\text{X}}{5} \quad \frac{\text{X}}{6} \quad \frac{\text{X}}{7} \quad \text{—} \quad \frac{00}{8} \quad \text{—} \quad \frac{\text{XXXX}}{9} \quad \frac{\text{X}}{10}$$

1 - серія;

2 - величина вимикача залежно від номінальної сили струму: 4 - 63 А, 5 - 100 А, 6 - 160 А;

3 - позначення кількості полюсів та максимальних розчіплювачів струму: 2- двополюсні з електромагнітними розчіплювачами; 3 — триполюсні з електромагнітними розчіплювачами; 5 - двополюсні з електромагнітними і тепловими розчіплювачами; 6 - триполюсні з електромагнітними та тепловими розчіплювачами;

4- позначення вимикача модернізованого: М — для вимикачів на 63 і 100 А, відсутність знака — на 160 А;

5- наявність вільних контактів; 1 - без вільних контактів; 2 - один замикаючий (Iз), 3 - один розмикаючий (Iр); 4 - один замикаючий і один розмикаючий (Iз + Iр);

6- позначення допоміжних розчіплювачів; 0-без допоміжних розчіплювачів; 1 - мінімальний розчіплювач напруги, 2 - незалежний розчіплювач;

7- позначення температурної компенсації і регулювання сили струму неспрацьовування: Р - наявність регулювання та температурної компенсації, 0 - без регулювання і температурної компенсації;

8- ступінь захисту - IP00;

9- кліматичне виконання і категорія розміщення за ГОСТ15150-69;

10 - клас стійкості проти спрацювання (А, Б).

Номінальні сили струму максимальних розчіплювачів струму, А, вимикачів з силою струму:

63А	0,6; 0,8; 1,0; 1,25; 1,6; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63 А
100 А	10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 А
160 А	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160 А

Межі регулювання вставки за струмом спрацьовування теплового розчіплювача становлять  $(0,9—1,15) I_n$ , а для теплових розчіплювачів, сила струму яких дорівнює номінальній силі струму вимикачів,— від  $0,9 I_n$  до номінальної.

Автоматичні вимикачі АЕ2020 та АЕ2040 призначені для захисту електричних кіл від перевантажень та струмів короткого замикання, захисту, пуску й зупинки асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором, а також для оперативних вмикань і вимикань електричних кіл (частота до 30 вмикань на годину) у колах напругою до 660 В змінного струму частотою 50 Гц, до 380 В частотою 400 Гц і до 220 В постійного струму.

Структура умовного позначення вимикачів АЕ2020 і АЕ2040 така ж, як і вимикачів серії АЕ20М, але відсутня літера М.

На відміну від вимикачів АЕ20М, які мають лише двополюсне і триполюсне виконання, АЕ2040 мають також однополюсне виконання (типу АЕ2044 з електромагнітним та тепловим розчіплювачами).

Уставка за струмом спрацьовування у зоні струмів короткого замикання кратна номінальному струму розчіплювача (струм відсікання) і становить  $12I_n$ .

**Автоматичні вимикачі серій ВА51 і ВА52** призначені для проведення струму у нормальному режимі, захисту електричних кіл від струмів короткого замикання і перевантаження, оперативних вмикань і вимикань з частотою до 30 на годину, захисту електродвигунів від струмів перевантаження та коротких замикань. Вони розраховані для роботи в мережах змінного струму напругою до 660 В з частотою 50 Гц і постійного струму напругою до 220 В. Вбудовуються у розподільчі пристрої і окремо розміщені ящики, застосовуються в усіх галузях народного господарства.

Умовні позначення цих вимикачів розшифровуються так:

<u>ВА</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X</u>	<u>X3</u>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

- 1- ВА — вимикач автоматичний;
- 2- серія (51 — неструмообмежуючі, 52 — струмообмежуючі);
- 3- дефіс або літера Г для позначення вимикачів для захисту електродвигунів;
- 4- позначення номінальної сили струму вимикача: 25-25 А; 29 - 63 А; 31 - 100 А; 33 - 160 А;

5- кількість полюсів; 1 -один полюс з розчіплювачем в одному полюсі, 2 - два полюси, 3 - три полюси, 8 - два полюси з двома розчіплювачами в триполюсному виконанні корпусу вимикача;

6 - вид розчіплювачів максимального струму: 2 - електромагнітний, 4 - електромагнітний і тепловий (комбінований);

7- наявність допоміжних розчіплювачів та вільних контактів: 00 - без допоміжних розчіплювачів і вільних контактів, 11 - є вільні контакти, 18 - незалежний розчіплювач та вільні контакти, 23 - мінімальний розчіплювач й вільні контакти;

8- вид привода та спосіб встановлення вимикача; 1 — ручний привід, стаціонарне виконання, 3 — електромагнітний привід, стаціонарне виконання;

9- наявність допоміжних механізмів: 0 — відсутні, 6 — пристрій блокування положення «Вимкнуто»;

10 - наявність регулювання струму неспрацьовування теплового розчіплювача: Р — з регулюванням, 0 — без регулювання;

11 - ступінь захисту оболонки: 30 — IP30;

12 - кліматичне виконання (УХЛ, Т) та категорія розміщення (3).

Номінальні сили струму вимикачів та розчіплювачів максимального струму наведені у таблиці

Таблиця 2.5 - Номінальні сили струму розчіплювачів максимального струму автоматичних вимикачів ВА51

Тип вимикачів	Номинальні сили струму вимикачів, А	Номинальні сили струму розчіплювачів максимального струму, А	Кількість полюсів	Сили струму відсічки в кратності від номінального
ВА51-25-84	25	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	2	10/нр
ВА51-25-34			3	10/нр
ВА51Г25-34	25	0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,8; 1,0	3	14/нр
		1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,15; 4; 5		
		6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25		
ВА51-29-14	63	6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25	1	(3, 7, 10)/нр
		31,5; 10; 50; 63		
ВА51-31-24	100	16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63	2	(3, 7, 10)/нр

## Продовження таблиці 2.5

Тип вимикачів	Номинальні сили струму вимикачів, А	Номинальні сили струму розчіплювачів максимального струму, А	Кількість полюсів	Сили струму відсічки в кратності від номінального
		80; 100		
BA51-31-34			3	(3, 7, 10)/нр
BA51Г31-34			3	14/нр
BA51-33-24	160	80; 100; 125; 160	2	10/нр
BA51-33-34			3	10/нр
BA51-31-34			3	14/нр

Таблиця 2.6 – Комутаційна здатність автоматичних вимикачів серії BA51

Тип вимикачів	Номинальні сили струму, А	Номинальні сили струму розчіплювачів, А	Гранична комунітаційна здатність, кА, при напрузі 380 В
BA51-25	25	6,3; 8	2
		10; 12,5	2,5
		16; 20; 25	3,8
BA51Г25	25	0,3-1,6	3
		2-8	1,5
		10; 12,5	2
		16; 20; 25	3
BA51-29	63	6,3-12,5	1,5
		16	3
		20; 25	4
		31,5-63	8
BA51-31	100	16	4,5
		20; 25	5
		31,5-63	7
		80; 100	10
BA51Г31	100	16-25	3,6
		31,5-63	7
		80; 100	10
BA51-33	160	80-160	12,5
BA51Г33			

Теплові розчіплювачі можуть регулювати силу струму неспрацьовування в межах  $(0,8—1) I_{нр}$ . Сила струму спрацьовування електромагнітних розчіплювачів знаходиться в межах  $(0,8—1,2)$  номінального струму уставки спрацьовування.

Мінімальні розчіплювачі напруги вимикачів ВА51 виготовляють на напруги змінного струму 110, 127, 220, 380 і 660 В, незалежні розчіплювачі — 24, 36, 110, 127, 220, 380 і 660 В змінного струму.

Вільні контакти у тривалому режимі витримують навантаження 4А при напрузі 380 і 660 В.

Приклад замовлення. Вказують тип виконання вимикача відповідно з структурою умовного позначення, номінальну напругу, номінальну силу струму максимальних розчіплювачів струму, ступінь захисту затискачів зовнішніх провідників, номер технічних умов.

Наприклад, вимикач з номінальною силою струму 25 А, триполюсний, з електромагнітним і тепловим розчіплювачем на 12,5 А, без допоміжних розчіплювачів і вільних контактів, без допоміжних механізмів, з регулюванням струму неспрацьовування теплового розчіплювача: вимикач автоматичний ВА51-25-340010Р30УХЛЗ, 380 В, 50 Гц, 12,5 А, ступінь захисту затискачів IP20, ТУ 16.522.157—83.

**Автоматичні вимикачі АП50Б** призначені для вимикання при перевантаженнях і коротких замиканнях електричних кіл з номінальною напругою постійного струму до 220 В та змінного струму з частотою 50 Гц і напругою до 500 В, оперативних вмикань з частотою до 30 на годину цих кіл (у тому числі асинхронних електродвигунів з частотою вмикань до 12 на годину).

Вимикачі серії АП50Б експлуатуються в стаціонарних установках (у шафах, ящиках, на щитах, панелях тощо). Група експлуатації М7 за .1 ГОСТ 17516—72.

Номінальні сили струму розчіплювачів: 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 50; 63 А. Вимикачі з розчіплювачем у нульовому проводі випускаються з номінальним струмом фазних розчіплювачів 16; 25; 40; 50 і 63 А. Вимикачі серії АП50Б можуть мати контакти допоміжних кіл з 1р або 2з контактами.

Струм миттєвого спрацьовування електромагнітних розчіплювачів і (струм відсічки) становить  $3,5I_n$  або  $10I_n$ .

Номінальний режим роботи вимикачів — тривалий.

Умовні позначення вимикачів АП50Б розшифровуються так:

АП50Б — XXXX X XX X X  
1                    2                    3                    4                    5                    6

1 — серія;

2 — кількість і позначення максимальних розчіплювачів струму;

МТ — комбінований максимальний розчіплювач струму (електромагнітний і тепловий); М — електромагнітний максимальний розчіплювач струму; Т — тепловий максимальний розчіплювач струму, кількість проставляють перед позначенням розчіплювача;

3 — позначення додаткового розчіплювача; Н — розчіплювач мінімальної напруги;

Д — незалежний розчіплювач; О — розчіплювач струму в нульовому проводі;

4 — кліматичне виконання: У, ХЛ, Т;

5 — категорія розміщення: 2, 3 і 5;

6 — позначення вимикача залежно від номінального струму головних і кіл; 1 — 1,6; 2,5; 4 А; 2 — 6,3; 10; 16 А; 3 — 25; 40; 50; 63 А.

Додаткові розчіплювачі типів Н, О, Д монтують замість одного електромагнітного розчіплювача, тоді кількість електромагнітних та теплових і розчіплювачів вказують окремо (наприклад, АП50Б — 2МЗТНУЗ).

Автоматичні вимикачі серії АП50Б виготовляють:

двополюсні з комбінованими розчіплювачами (АП50Б-2МТ) і тільки 1 з електромагнітними розчіплювачами (АП50Б-2М);

триполюсні (АП50Б-3МТ, АП50Б-3М);

триполюсні з дистанційним розчіплювачем (АП50Б-2МЗТД);

триполюсні з додатковим розчіплювачем мінімальної напруги (АП50Б-2МЗТН, АП50Б-2МН);

триполюсні з додатковим розчіплювачем у нульовому проводі (АП50Б-2МЗТО).

**П р и к л а д   з а м о в л е н н я .**                    Вимикач типу АП50Б триполюсний, що має три комбінованих розчіплювачі з номінальним струмом  $I_{нр} = 25$  А, струмом відсічки 10  $I_{нр}$ , з двома перемикаючими контактами допоміжного кола: автоматичний вимикач АП50Б-3МТУЗ.3, 25 Х10, 2п, ТУ 16.522.139-78

## 2.2.7 Принципіальна схема управління машиною, верстатом, установкою і порядок її роботи

Принципіальна схема управління машиною, верстатом, установкою креслиться в графічній частині курсового проекту. Опис її роботи проводиться в пояснювальній записці. При цьому вказується призначення всіх елементів схеми, порядок їх роботи і виконання технологічного завдання. Вказуються зв'язки блокування, обмеження ходів, реверсу, гальмування, сигналізація та інше.

## 2.2.8 Розрахунок і вибір проводів і кабелів, силових розподільчих шаф

Першим етапом проектування систем електропостачання є визначення електричних навантажень.

Розрізняють наступні види навантажень: активну потужність  $P$ , реактивну потужність  $Q$ , повну потужність  $S$  і струм  $I$ .

При розрахунках електричних навантажень застосовують різні коефіцієнти графіків навантаження, які характеризують режими роботи споживачів електроенергії за потужністю або в часі.

Коефіцієнт попиту – це відношення розрахункової (в умовах проектування) або спожитої (в умовах експлуатації) активної потужності до номінальної (установленої),  $K_n$

$$K_n = \frac{P_{\text{розр.}}}{P_{\text{ном.}}} \quad (2.34)$$

Для визначення розрахункової активної потужності користуються формулою  $P_{\text{розр.}}$ , кВт

$$P_{\text{розр.}} = \sum_1^n K_n \cdot P_{\text{ном.}} \quad (2.35)$$

Реактивна потужність знаходиться за формулою  $Q$ , кВар

$$Q = \sum_1^n P_{\text{роз.}} \cdot \tan \varphi \quad (2.36)$$

Повна потужність, яка споживається всіма електроустановками  $S$ , кВА

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.37)$$

Метод упорядкованих діаграм

Цей метод являється основним при визначенні розрахункових навантажень систем електропостачання.

Розрахункова потужність визначається за формулою  $P_{\text{розр}}$ , кВт

$$P_{\text{розр.}} = k_{\text{макс}} \cdot k_{\text{в}} \cdot P_{\text{н.уст.}} \quad (2.38)$$

де  $k_{\text{в}}$  – коефіцієнт використання, це відношення середньої активної потужності  $P_{\text{зм}}$  за найбільш завантажену зміну до номінальної установленної потужності;

$k_{\text{макс}}$  – коефіцієнт максимуму, це відношення розрахункового максимуму активної потужності навантаження групи струмоприймачів до середньої потужності навантаження, за найбільш завантажену зміну. Вибирається за таблицями.

Коефіцієнт максимуму  $k_{\text{макс}}$  залежить від коеф. використання  $k_{\text{в}}$  і ефективного числа струмоприймачів,  $n_{\text{ф}}$ . Ефективна кількість групи струмоприймачів, приєднаних до одного вузла (розподільча шафа підстанції, силова розподільча шафа, магістральний шинопровід) визначається в залежності від показника цього вузла  $m$ , кількості споживачів  $n$ , середнього коефіцієнту використання  $k_{\text{в}}$ . Показник  $m$  – це відношення номінальної потужності найбільшого споживача до номінальної потужності найменшого споживача. Ефективна кількість знаходиться за різними формулами в залежності від значень  $k_{\text{в}}$ ,  $m$ ,  $n$  і постійності навантаження.

При  $n \leq 5$ ,  $k_{\text{в}} \geq 0,2$  і  $m > 3$ ,  $P \neq \text{const}$

$$n_{\text{еф}} = \frac{(\sum_1^n P_{\text{ном.}})^2}{\sum_1^n P_{\text{ном.}}^2} \quad (2.39)$$

При  $n \geq 5$ ,  $\kappa_g > 0,2$  і  $m > 3$ ,  $P = \text{const}$

$$n_{\text{еф}} = n \quad (2.40)$$

При  $n > 5$ ,  $\kappa_g \geq 0,2$  і  $m < 3$ ,  $P \neq \text{const}$  ефективна кількість

$$n_{\text{еф}} = n \quad (2.41)$$

При  $n > 5$ ,  $\kappa_g < 0,2$  і  $m < 3$ ,  $P \neq \text{const}$  ефективна кількість не визначається, а максимальна активна потужність розраховується за коефіцієнтом завантаження  $\kappa_3$

$$P_{\text{мак}} = \kappa_3 \cdot \sum_1^n P_{\text{ном}} \quad (2.42)$$

де  $\kappa_3$  - коефіцієнт завантаження струмоприймачів, що працюють у повторно-короткочасному режимі

$$\kappa_{3\text{пкр}} = 0,75$$

при тривалому режимі роботи

$$\kappa_3 = 0,9$$

при автоматичному режимі роботи

$$\kappa_3 = 1,0$$

При  $n \geq 5$ ,  $\kappa_g \geq 0,2$  і  $m \geq 3$ ,  $P \neq \text{const}$

$$n_{\text{еф}} = \frac{2 \sum_1^n P_{\text{ном.}}}{P_{\text{ном(одного найбільшого двигуна)}}} \quad (2.43)$$

При  $n \geq 5$ ,  $\kappa_g < 0,2$  і  $m \geq 3$ ,  $P \neq \text{const}$

$$n_{\text{еф}} = n_{*\text{еф}} \cdot n \quad (2.44)$$

$$n_{*\text{еф}} = f(n_*; P_*)$$

$n_{*эф}$  - відносна ефективна кількість, визначається за таблицями

$$n_* = \frac{n'}{n}$$

де  $n_*$  - відносна кількість найбільших за потужністю електроприймачів;

$n'$  - кількість струмоприймачів з одиничною потужністю більше або

рівне  $\frac{P_{ном.мак.}}{2}$  (половина потужності найбільш крупного струмоприймача).

$$P_* = \frac{P_{n'}}{P_{ном.}} \quad (2.45)$$

$P_*$  - відносна потужність найбільших за потужністю електроприймачів

При  $n > 300$ ,  $\kappa_s > 0,2$  і  $m > 3$ , ефективне число  $n_{эф} = n$

При виборі проводів і кабелів напругою до 1000 В за умовами нагріву їх переріз вибирається в залежності від тривало допустимого струмового навантаження.

Переріз проводів і кабелів напругою до 1000 В вибирається за умовами нагріву в залежності від тривало-допустимого струмового навантаження. Вибір перерізу проводиться:

- за умовами нагріву тривалим розрахунковим струмом  $I_{н.доп.}$ , А

$$I_{н.доп.} \geq \frac{I_p}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}$$

- за умовами відповідності вибраному апарату максимального струмового захисту  $I_{н.доп.}$ , А

$$I_{н.доп.} \geq \frac{I_{зак.} \cdot \kappa_3}{\kappa_1 \cdot \kappa_2}$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм навантаження, А;

$I_{н.доп.}$  - тривало допустимий струм на проводи, кабелі чи шини проводи (вибирається за таблицями);

$\kappa_3$  - коефіцієнт захисту або кратність захисту;

$\kappa_1$  - поправочний коефіцієнт на умови прокладання;

$\kappa_2$  - поправочний коефіцієнт на число працюючих кабелів, що лежать поряд в землі, трубах, лотках.

Розрахунковий струм навантаження для верстатів з одним, двома чи трьома двигунами розраховується як сума номінальних струмів двигунів, якщо електроспоживачів чотири і більше розрахунковий струм знаходиться методом упорядкованих діаграм, який описаний вище.

Розподільчі шафи призначені для розподілу електроенергії, захисту електрообладнання від коротких замикань і перевантаження. Розподільчі шафи випускаються промисловістю України різноманітних модифікацій, ступенем захисту від оточуючого середовища з різними захисними апаратами. При виборі шаф перевагу необхідно віддавати новим вітчизняним видам серії ПР (з автоматичними вимикачами на фідерах і вводах), та типу ШР-11, СПМ-74, СП-62-У з запобіжниками на фідерах та рубильниками на вводах. Автоматичні вимикачі і запобіжники повинні відповідати розрахунковому струму на кабелі, який вони захищають.

### **2.3 Розрахунок потужності цеху**

Розрахунок потужності цеху проводиться теж методом упорядкованих діаграм, аналогічно розрахунку при виборі розподільчих шаф. Електропостачання від трансформаторних підстанцій до розподільчих шаф передається шинопроводами, кабелями, вибраними за розрахунковим струмом відповідних навантажень.

## **3 ОХОРОНА ПРАЦІ**

В частині заходів з охорони праці та електробезпеки передбачається поглиблене вивчення питань, зв'язаних з темою проекту. Студент повинен коротко викласти правові та організаційні питання з охорони праці, дати оцінку стану охорони праці на даному підприємстві, проаналізувати шкідливі та небезпечні виробничі чинники, розслідування та облік нещасних випадків на виробництві, заходи щодо їх запобігання.

В розділі електробезпека необхідно визначити класифікацію цеху за небезпекою електротравм, навести основні вимоги правил техніки безпеки при експлуатації вибраного електроустаткування, розглянути систему організаційних, технічних заходів, які забезпечують захист людей від небезпечної дії електричного струму, електричної дуги, електромагнітного поля, електростатичних розрядів, захист від частин, що обертаються.

В розділі розрахунок заземлення потрібно провести вибір заземлюючих пристроїв, їх конструкцію та розташування. [літ. 11, 12]

## 4 Висновки

В цій частині підводяться підсумки всієї роботи над курсовим проектом, відмічаються найбільш важливі і цікаві рішення, отримані в різних частинах проекту, вказуються можливі шляхи подальшого удосконалення технічних рішень, робиться висновок про відповідність результатів, отриманих в проекті. Обсяг 1...2 сторінки.

## 5 Вимоги до зображення і оформлення електричних схем

Схемою електричного кола називають її графічне зображення з умовними позначеннями елементів і їх з'єднань.

Правило виконання і оформлення схем регламентуються відповідними стандартами ЕСКД. Види і типи схем, загальні вимоги до їх виконання повинні відповідати ДСТУ Б А.2.4-19:2008 «Зображення умовні графічні електрообладнання та проводок на планах» ЕСКД. Схеми. Види і типи. Загальні вимоги до виконання; правила виконання всіх типів електричних схем – ГОСТ 2.702 – 75 ЕСКД. «Правила виконання електричних схем».

### Загальні вимоги до виконання схем

1 Схеми виконують без дотримання масштабу і дійсного просторового розташування складових частин пристрою.

2 На схемах, як правило, використовують стандартні умовні графічні позначення. Якщо потрібно використати не стандартизовані позначення деяких елементів, то на схемі роблять відповідні пояснення.

3 Слід домагатися найменшого числа перехрещень, поворотів ліній зв'язку, зберігати відстань між паралельними лініями не менше 3 мм.

4 На схемі допускається розміщувати різні технічні дані, які характеризують схему в цілому і окремі її елементи.

Електричну схему позначають літерою Е, а її тип цифрами: 1- структурна, 2- функціональна, 3- принципова, 4- з'єднань (монтажна), 5- підключення, 6- загальна, 7- розташування, 0- об'єднана.

Крім електричних є ще схеми: гідравлічні – Г, пневматичні – П, кінематичні – К, вакуумні – В, оптичні – Л, комбіновані – С.

**Е1** – структурна схема являє собою основні функціональні частини установки, їх призначення і взаємозв'язок за допомогою простих геометричних фігур (прямокутників) і ліній. Графічна побудова і

компонування схеми повинні забезпечити (наочне уявлення) про послідовність взаємодії функціональних частин в установці. Схему використовують для загального ознайомлення з установкою.

**Е2-** функціональна схема, процеси, що проходять в окремих функціональних частинах або в усій установці. Функціональні частини і зв'язки між ними зображають, як правило, у вигляді графічних позначень, причому окремі пристрої і функціональні групи можуть зображатись у вигляді геометричних фігур. На схемі розміщують надписи, діаграми, або таблиці, які пояснюють послідовність процесів у часі, а також указують параметри в характерних точках, величини струмів, напруг, форми і амплітуди імпульсів. Функціональні схеми використовують для вивчення принципів роботи установки, а також при налагодженні, регулюванні і ремонті.

**Е3-** принципова схема визначає повний склад елементів і зв'язку між ними, дає повну інформацію про принцип роботи установки. Нестандартні умови позначення на схемі повинні бути пояснені. Умовні позначення в елементних схемах захисту і управління, як правило, креслень для вимкненого положення, тобто без напруги на котушках апаратів і колах управління, і без механічної дії на апарати (початкове положення схеми). Для повного розуміння роботи схеми допускається вносити в неї позиційні позначення. Цифрове позиційне позначення вписують в коло або проставляють поряд з умовними позначеннями елементів. Порядкові номери присвоюють у відповідності з послідовністю розташування елементів на схемі, рахуючи, як правило, зверху вниз в напрямку зліва направо.

Дані про всі елементи зображені на схемі, записують в перелік елементів у вигляді таблиці розміщеної на першому аркуші схеми. Принципові схеми використовують для вивчення принципу роботи електроустановки, при налагодженні, контролі і ремонті, та при розробці схем з'єднань і монтажних креслень.

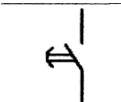
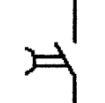
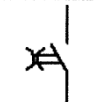
**Е4** – схема з'єднань (монтажна) показує з'єднання складових частин електроустановки і визначає проводи, джгути, кабелі або трубопроводи, якими здійснюються ці з'єднання, а також місця їх приєднання і введів (затискачі, роз'єми, і т.ін.), розташування умовних графічних позначень елементів на схемі повинно по можливості відображати їх дійсне розташування. На схемі біля умовних графічних позначень елементів вказують позначення, які присвоєні їй на принциповій схемі.




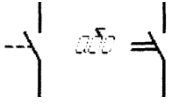
Біля умовних графічних позначень допускається вказувати номінальні величини основних параметрів (опір, ємність, потужність і т.ін.) або тип елемента.

Для спрощення зображення можна креслити окремі проводи, що ідуть в одному напрямку в вигляді загальної лінії, а при підході до контактів кожний провід зображують окремою лінією №1. Схему з'єднань можна виконувати по адресній схемі, адреси розміщують біля однієї і другої клем, а замість повного зображення ліній проводів між апаратами лінії роблять невеликої довжини, на яких зустрічними стрілками показують напрямок проводки. Біля кожної стрілки ставлять „адресу” – умовне позначення апарату чи затискача, до якого йде другий кінець проводу і номер проводу (номер вказаний на принциповій схемі). Схеми з'єднань використовують при монтажі, наладці, контролі, ремонті та експлуатації.


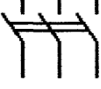

**Е5** – схема підключення, на якій показують повний об'єм і характеристики електричних і трубних проводок, що прокладаються зовні щитів та пультів. В умовних позначеннях зображають встановлені зовні шаф приводи, виконавчі механізми, сенсорні прилади (датчики), джерела живлення повітрям, електроенергією, мастилом і т.ін., з'єднувальні та прохідні коробки.


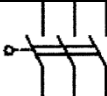


Таблиця 5.1 - Умовні графічні позначення в схемах

Позначення	Найменування
	Контакт замикаючий з уповільнювачем, що діє при спрацьовуванні
	при поверненні
	при спрацьовуванні і поверненні
	Контакт розмикаючий з уповільнювачем, що діє

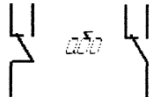
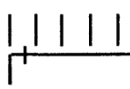

	при спрацьовуванні
	при поверненні
	при спрацьовуванні і поверненні
	Контакт з механічним зв'язком (загальне позначення)
	закриваючий
	розкриваючий

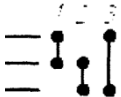
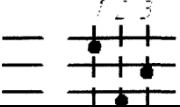
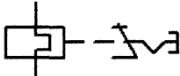


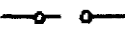
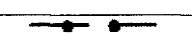


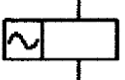
Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
	Вимикач
	однополюсний
	триполюсний
	Вимикач триполюсний з автоматичним поверненням з указанням величини, при зміні якої відбувається повернення

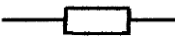
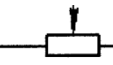
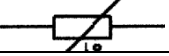

$I >$	максимального струму
$I <$	мінімального струму
$U >$	максимальної напруги
$U <$	мінімальної напруги
$T^0 >$	максимальної температури
	Вимикач шляховий
	однополюсний
	триполюсний
	Вимикач кнопковий натискний з самоповерненням
	з замикаючим контактом
	з розмикаючим контактом

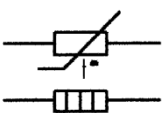








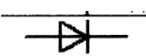
Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
	<i>Перемикач однополюсний</i>
	Перемикач однополюсний багатопозиційний
	Перемикач з складною комутацією
	перший спосіб (перемикач у вигляді умовного позначення, а на полі схеми розміщують таблицю замикання контактів)


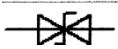


	другий спосіб
	третій спосіб (крапка показує позицію замикання відповідного контакта)
	Реле електротеплове без само повернення, з поверненням при натискуванні на кнопку
	Контакту контактного з'єднання:
	штир
	гніздо
	розбірне з'єднання
	нерозбірне з'єднання
Сприймаюча частина електромеханічних пристроїв (ГОСТ 2.756-76 )	
	Котушка електромагнітного пристрою (загальне позначення)
	Котушка електромагнітного пристрою трифазного струму
	Електромагніт змінного струму
	Сприймаюча частина електротеплового реле

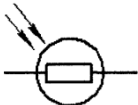


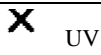






Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
Резистори, конденсатори (ГОСТ 2.728-74)	
	Резистор постійний
	Резистор змінний
	Терморезистор (термістор)
	прямого підігрівання



	непрямого підігрівання
	Конденсатор постійної ємності
	Конденсатор змінної ємності
	Конденсатор електролітичний
	полярний
	неполярний
Електричні зв'язки, проводи, кабелі і шини (ГОСТ 2.751-73)	
	Лінія електричного зв'язку (провід, кабель, шина)
	Лінія електричного зв'язку з відгалуженням
	Заземлення
	Корпус (машини, апарату, приладу)
Прилади напівпровідникові (ГОСТ 2.730-73)	
	Діод

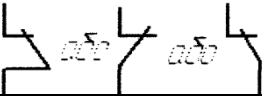




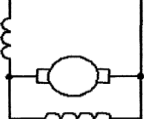

Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
	Стабілітрон
	односторонній
	двосторонній
	Транзистор типу р-п-р
	Транзистор типу п-р-п


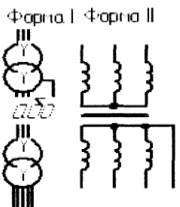
	Фоторезистор
	Фотодіод
Джерела світла (ГОСТ 2.732-68)	
	Випромінювання
	видиме
	ультрафіолетове
	інфрачервоне
	Тиск
	низький
	високий
	надвисокий
	Лампи розжарювання
	Лампа газорозрядна освітлювальна

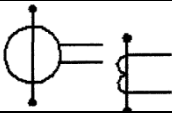










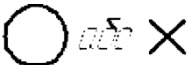
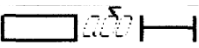
### Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
	Лампа газорозрядна низького тиску з простими електродами
Пристрої комутаційні і контактні з'єднання (ГОСТ 2.755-74)	
	Контакт комутаційного пристрою
	закриваючий


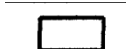


	розмикаючий
	перемикаючий
Електронагрівники, пристрої та електротермічні установки (ГОСТ 2.745-68)	
	Електропіч трифазна
	Електронагрівник однофазний
Машини електричні (ГОСТ 2.722-68)	
	Машина електрична (загальне позначення)
	Машина постійного струму змішаного збудження
	Двигун трифазний із з'єднанням обмоток на зірку

Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
Котушки індуктивності, дроселі, трансформатори (ГОСТ 2.723-68)	
	Дросель з феромагнітним осердям
	Трансформатор трифазний з феромагнітним осердям з'єднання обмоток зірка-зірка з виведеною нейтральною (середньою) точкою

	Трансформатор струму
	Лінія проводки (загальне позначення)
	Лінія заземлення, занулення
	Лінія кіл керування
	Проводка гнучка
	Щит, пульт, ящик з апаратурою
	Щит, пункт роздільний
	Щит групового робочого освітлення
	Вимикач триполюсний
	Контактор триполюсний
	Пост кнопковий на дві кнопки
	Світильник з лампами розжарювання
	Світильник з люмінесцентними лампами

Продовження таблиці 5.1

Позначення	Найменування
	Світильник з лампами ДРЛ
	Пристрій електричний (загальне позначення)
	Пристрій з електродвигуном
	Пристрій з багатодвигунним електроприладом

--	--

Таблиця 5.2 – Позначення елементів в електричних схемах

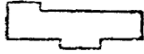


Перетворювачі неелектричних величин в електричні, або багаторозрядні перетворювачі чи датчики	Тепловий датчик Фотоелемент Датчик тиску Датчик частоти обертання Датчик швидкості	BK BL BP BR BV
Конденсатор		C
Різні елементи	Нагрівний елемент Освітлювальна лампа	EK EL
Розрядники, запобіжники, захисні пристрої	Дискретний елемент захисту за струмом миттєвої дії Те ж, інерційної дії Плавкий запобіжник Дискретний елемент захисту за напругою, розрядник	FA FP FU FV
Реле, контактори, пускачі	Реле струмове Реле вказівне Реле електротеплове Контактор, магнітний пускач Реле часу Реле напруги Проміжне реле	KA KH KK KM KT KV KL
Катушки індуктивності, дроселі	Дросель люмінесцентної лампи	LL
Двигуни		M


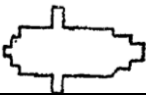



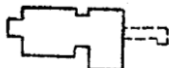


Продовження таблиці 5.2

Прилади, вимірювальне обладнання	Амперметр Лічильник імпульсів Частомір Лічильник активної енергії Лічильник реактивної енергії Омметр Реєстровий прилад Годинник Вольтметр Ватметр	PA PC PF PI PK PR PS PT PV PW
Вимикачі і роз'єднувачі в силових колах	Автоматичний вимикач Короткозамикач	QF QK



(енергопостачання, живлення обладнання)	Роз'єднувач	QS
Резистори	Терморезистор Потенціометр Шунт вимірювальний Варистор	RK RP RS
Пристрої комутаційні в колах керування, сигналізації і вимірювання	Вимикач або перемикач Кнопковий вимикач Автоматичний вимикач Вимикачі, що спрацьовують від: Рівня Тиску Положення Кутової швидкості Температури	SA SB SF  SL SP SQ SR SK
Трансформатори, автотрансформатори	Трансформатор струму Електромагнітний стабілізатор Трансформатор напруги	TA TS TV
Прилади електровакуумні і напівпровідникові	Діод стабілітрон Прилад електровакуумний Транзистор Тиристор	VD VL VT VS
Контактні з'єднання	Струмознімач, контакт ковзний Штир Гніздо З'єднання розбірне	XA XP XS XT
Пристрій механічний з електромагнітним приводом	Електромагніт Гальмо з електромагнітним приводом Муфта з електромагнітним приводом	YA YB YC







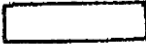
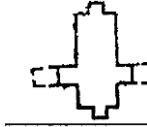
Таблиця 5.3 – Умовні позначення технологічного обладнання

Токарно-гвинторізний верстат	
Револьверний верстат	
Горизонтально-фрезерний верстат	

Універсально-фрезерний верстат	
Поперечно-стругальний верстат	
Продовжньо-стругальний верстат	
Круглошліфувальний верстат	
Плоскошліфувальний верстат	
Горизонтально-розточуючий верстат	
Координатно-розточуючий верстат	
Універсально-заточуючий верстат	

Продовження таблиці 5.3

Токарний одношпindelний автомат	
Токарно-револьверний верстат	

Вертикально-фрезерний верстат	
Зубофрезерний верстат	
Довбальний верстат	
Радіально-свердильний верстат	
Внутрішньошліфувальний верстат	
Безцентровошліфувальний верстат	
Центрувальний верстат	
Алмазно-розточувальний верстат	

## Література

- 1 Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок, М.: Энергоиздат, 1981
- 2 Зюзин А.Ф., Поконов Н.З., Антонов Н.В. Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок, М.: Высшая школа, 1985
- 3 Липкин Б.Ю. Электрооборудование промышленных предприятий и установок, М.: Высшая школа, 1978
- 4 Сибикин Ю.Д., Сибикин М.Ю., Монтаж, эксплуатация и ремонт электрооборудования промышленных предприятий и установок, М% Высшая школа, 2003
- 5 Солдаткин В.В., Дурницин Ю.В. Наладка электроустановок, М.: Высшая школа, 1990
- 6 Мазепа С.С., Марущак Я.Ю., Куцик А.С. Електрообладнання промислових підприємств. Львів, «Магнолія плюс», 2004
- 7 Кноринг Г.М. Осветительные установки. Л. Энергоатомиздат, 1981
- 8 Д'яков В.И. Типовые расчеты по электрооборудованию. М. Высшая школа. 1991
- 9 Федоров А.А., Старкова Л.Е. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования. М. Энергоатомиздат, 1987
- 10 Олійник В.С. Довідник сільського електрика. Київ. «Урожай», 1989
- 11 Правила експлуатації електроустановок