

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»  
Кафедра Електричної інженерії

**Методичні вказівки**  
до практичних занять і розрахункової роботи  
з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій. Частина 1»  
для студентів спеціальності  
141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
освітнього ступеню «бакалавр» денної та заочної форми навчання

УДК 621.311.1

М54

Методичні вказівки до практичних занять і розрахункової роботи з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій. Частина 1» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання / уклад. Г.О. Шеїна. – Покровськ : ДонНТУ, 2020. – 36 с.

Надано методичні вказівки до практичних робіт і розрахункової роботи з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій. Частина 1». Наведені теоретичні положення й практичні методи розрахунків основного електротехнічного обладнання електричних станцій. Призначені для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання.

Укладач: Шеїна Г.О. к.т.н., доц. каф. електричної інженерії

Рецензент: Тютюнник Н.Л., ст. викл. каф.ЕлІн

Відповідальний за випуск: Колларов О.Ю. доц. к.т.н., зав. каф.ЕлІн

Затверджено навчально-методичним відділом ДВНЗ «ДонНТУ»,  
протокол № 9 від 24. 03.2020 р.

Розглянуто на засіданні кафедри  
протокол № 11 від 03.03.2020 р.

©ДонНТУ, 2020

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1. Побудова графіка навантаження та вибір потужності трансформатора (автотрансформатора).....	5
Тема 2. Вибір головної електричної схеми електростанції та розрахунок кількості приєднань.....	10
Тема 3. Розрахунок струмів короткого замикання на електростанції.....	13
Тема 4. Вибір струмообмежуючих реакторів .....	17
Тема 5. Вибір комутаційного обладнання: вимикачів, роз'єднувачів.....	19
Тема 6. Вибір трансформаторів струму .....	22
Тема 7. Вибір трансформаторів напруги .....	24
Тема 8. Вибір струмопровідних частин .....	25
9. Порядок оформлення та завдання на розрахункову роботу .....	28
Список рекомендованої літератури .....	30
Додаток А.....	31
Додаток Б .....	32
Додаток В.....	33

## ВСТУП

Методичні вказівки призначені для проведення практичних занять і виконання розрахункової роботи з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій. Частина 1» для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання.

Методичні вказівки спрямовані на інженерів в галузі електроенергетики в частині процесу виробництва електроенергії на різних видах електростанцій, в тому числі на відновлюваних (сонячних, вітрових та інших) і широких фахівців в системах електропостачання різноманітних підприємств.

Методичні вказівки будуть корисні при підготовці фахівців з проектування, монтажу, наладки й експлуатації електричної частини електричних станцій, підстанцій і основного електроенергетичного устаткування підприємств.

Це визначає важливість й актуальність методичних вказівок, які орієнтовані на набуття практичних навичок та вмінь.

Вказівки містять необхідний теоретичний матеріал. Також вказівки можуть бути корисними фахівцям, що працюють в енергетичній галузі, магістрантам, аспірантам.

## ТЕМА 1. ПОБУДОВА ГРАФІКА НАВАНТАЖЕННЯ ТА ВИБІР ПОТУЖНОСТІ ТРАНСФОРМАТОРА (АВТОТРАНСФОРМАТОРА)

По заданому типовому графіку навантаження будується в іменованих одиницях графік активного  $P(t)$  і повного  $S(t)$  навантаження. Рекомендується спочатку заповнити таблицю даних для кожного інтервалу часу початкового графіка, при цьому тривалість кожного ступеня часу приймається згідно заданого початкового графіка навантаження.

Таблиця 1.1 – Результати розрахунків для вибору потужності автотрансформаторів

Розрахункові значення		Тривалість ступеня графіка				
		0-2	2-4	4-6	...	22-24
Активна потужність $P$	%					
Активна потужність $P$	МВт					
$\cos \varphi$	-					
$\operatorname{tg} \varphi$	-					
Реактивна потужність $Q$	МВАр					
Результативна реактивна потужність $Q_{рез}$	МВАр					
Повна потужність $S$	МВА					

Для кожного ступеню графіка розраховуються значення  $\cos \varphi$  за виразом:

$$\cos \phi = (\cos \phi_{\max} - 0,7) \frac{P - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}} + 0,7$$

де  $P$  – поточне значення навантаження по графіку  $P(t)$ ;  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  – максимальне і мінімальне значення навантаження згідно графіка  $P(t)$  в іменованих одиницях.

Для кожного ступеня графіка розраховується значення реактивної потужності  $Q(t)$  згідно виразу:

$$Q(t) = P(t) \cdot \operatorname{tg} \phi(t)$$

Для кожного ступеня графіка розраховується результуюче значення реактивної потужності згідно виразу:

$$Q(t)_{рез} = Q(t) - \sum Q_{ск}$$

де  $Q_{ск}$  – потужність одного синхронного компенсатора.

При цьому, якщо значення  $Q(t)_{рез}$  має від'ємне значення, то рекомендується  $Q(t)_{рез}$  приймати додатним з  $\cos \phi \approx 0,95-0,97$ .

Обчислюється повне навантаження  $S(t)$  і будується в іменованих одиницях графік повного навантаження:

$$S(t) = \sqrt{P(t)^2 + Q(t)_{рез}^2}$$

При наявності на підстанції споживачів I та II категорій потребується встановлення не менше двох автотрансформаторів.

Розрахункова потужність кожного з них визначається по співвідношенням:

$$S_{розр} = \frac{S_{\max}}{(n-1)k_{нав}}$$

$$S_{ном} \geq S_{розр}$$

де  $n$  – кількість встановлених автотрансформаторів;  $k_{нав}=4$  – коефіцієнт перевантаження у аварійному режимі;  $S_{ном}$  – каталожна номінальна потужність автотрансформатора.

За величиною  $S_{розр}$  обирається номінальна потужність автотрансформатора  $S_{ном}$ . Це рішення є попереднім і потребує додаткової перевірки, тому що перевантаження автотрансформатора у аварійному режимі допускається тільки при виконанні певних умов.

При аварійному відключенні одного з автотрансформаторів другий, який залишився у роботі, дозволяє перевантаження на 40% за час не більше ніж 6 годин, якщо коефіцієнт попереднього 10-годинного навантаження не перевищує 0,93.

Для перевірки допустимості аварійного перевантаження фактичний графік навантаження  $S(t)$  перетворюється у двоступеневий еквівалентний, для чого на ньому наноситься пряма, відповідна рівнянню:

$$S(t) = S_{ном}$$

де  $S_{ном}$  – номінальна потужність заздалегідь вибраного автотрансформатора підстанції.

Верхня частина графіка над цією прямою є зоною перевантаження автотрансформатора з тривалістю  $t_1$ .

Еквівалентне навантаження автотрансформатора на інтервалі часу  $t_1$  підраховується як середньоквадратичне значення по формулі:

$$S_{E1} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{t_1}}$$

де  $S_i$  – навантаження автотрансформатора на різних ступенях графіка за час  $t_1$ .

Коефіцієнт перевантаження  $k_1$  знаходять як:

$$k_1 = \frac{S_{E1}}{S_{ном}}$$

При знаходженні коефіцієнта попереднього 10-годинного навантаження  $k_2$  може зустрітися три варіанта:

а) початковий графік має один максимум, який перевищує лінію  $S_{ном}$ .

В цьому разі 10-годинна зона попереднього навантаження береться до початку перевантаження ( $t_2=10г$ ). Значення еквівалентного попереднього навантаження  $S_{E2}$  і коефіцієнта  $k_2$  знаходяться згідно виразів:

$$S_{E2} = \sqrt{\frac{\sum S_i^2 \cdot t_i}{t_2}}$$

$$k_2 = \frac{S_{E2}}{S_{ном}}$$

б) Початковий графік має два максимума, причому більший (за площею) слідує за меншим. За час  $t_1$  приймається продовження більшого максимуму. Менший максимум враховується у попереднім еквівалентні 10-годинному навантаженні.

в) Початковий графік має два максимума, причому менший слідує за більшим. У цьому разі час  $t_2$  відраховується після закінчення більшого максимуму, а менший максимум враховується в наступному за більшим максимумом 10-годинному навантаженні.



У разі невиконання хоча б однієї з вимог до встановлення повинен прийматися автотрансформатор більшої номінальної потужності і повторюється перевірка на перевантаження. Результати розрахунків зводяться в табл.1.2.

Таблиця 1.2 - Результати розрахунку перевантаження автотрансформатора

Розрахункові параметри	Розрахункові значення	Допустимі значення
$k_1$		1,4
$t_1$		б <sub>г</sub>
$k_2$		0,93
$t_2$		10 <sub>г</sub>

Вибраний автотрансформатор працює в комбінованому режимі передачі потужності в бік середньої напруги при видаванні реактивної потужності синхронних компенсаторів, приєднаних до обмотки нижчої напруги. Тому його потужність визначається навантаженням спільної обмотки згідно виразу:

$$S_c = \sqrt{(k_B P_B + P_H)^2 + (k_B Q_B + Q_H)^2}$$

де  $P_B$ ,  $Q_B$ ,  $P_H$ ,  $Q_H$  – активна і реактивна потужність на боці вищої та нижчої напруги у максимальному режимі; коефіцієнт вигідності:

$$k_B = \frac{U_{BH} - U_{CH}}{U_{BH}}$$

Режим, що розглядається, буде допустимим для  $n$  автотрансформаторів, якщо:

$$S_c \leq k_B \cdot S_{ном} \cdot n$$

Література: [1], [3], [5].

## ТЕМА 2. ВИБІР ГОЛОВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ТА РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ПРИЄДНАНЬ

Кількість мереж для розподільчих пристроїв (РП) з напругою 110, 220, 330 кВ, як правило, визначається потужністю, яка по ним передається:

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{EK}}$$

де  $P_{\max}$  – потужність, що передається з шин РП у максимальному режимі;  $P_{EK}$  – економічна потужність однієї мережі [7].

Значення економічної потужності для однієї мережі залежить також від кількості годин використання за рік максимальної потужності  $T_{\max}$ .

Використовуючи дані, отримані в табл. 1.1, значення  $T_{\max}$  знаходиться як:

$$T_{\max} = \frac{\sum P_i \cdot t_i}{P_{\max}} \cdot N$$

де  $N$  – кількість днів у році для заданого типового графіка навантаження

Окрім цього, для знаходження  $P_{EK}$  необхідно попередньо задати переріз мереж, що робиться свавільно, однак значення їх повинно бути не менше чим це припускається по вимогам корони.

Якщо з шин підстанції передається значна потужність, то використовують розщеплення фази мережі (приблизно кількість мереж, що відходять від шин середньої напруги підстанції повинно бути не більше 10-12).

У разі використання розщепленого на 2-3 частини дроту фази необхідно величину  $P_{EK}$ , яка знайдена за справочними даними, помножити на кількість дротів у фазі.

Значення потужності, яка передається по мережах 500 кВ, знаходиться по значенню натуральної потужності  $P_{HT}$ :

$$n = \frac{P_{\max}}{P_{HT}}$$

$$P_{HT} = \frac{U_H^2}{Z_x}$$

де  $U_H$  – номінальна напруга мережі, кВ;  $Z_x$  – хвильовий опір мережі, Ом.

Хвильовий опір мереж 500 кВ може бути прийнятим рівним 2500 Ом, мереж 750 кВ – 2000 Ом.

Так як у наслідку планових та аварійних ремонтів частина мереж може бути відключена, а потужність, що передається, у цьому разі не повинна зменшитися, то отримана кількість мереж повинна бути перевірена за вимогою граничної потужності, що передається з шин РП напругою 110, 220 кВ:

$$n - 2 \geq \frac{P_{\max}}{P_{gp}}$$

Для РП 330, 500 кВ повинна бути виконана вимога:

$$n - 1 \geq \frac{P_{\max}}{P_{gp}}$$

де  $P_{gp}$  – гранична потужність, що передається по одній мережі, знаходиться аналогічно величині  $P_{EK}$  [7].

Кількість мереж, що відходять від РП, і кількість підключених до РП автотрансформаторів у подальшому називається кількістю приєднань. Схема РП визначається згідно [3] у залежності від напруги та кількості приєднань.

Після вибору схем всіх РП складається повна схема підстанції. Рекомендації по вибору схем РП наведені в [3].

Потужність трансформатора власних потреб вибирається виходячи з навантаження власних потреб. Перевірка на допустимість аварійного перевантаження не виконується. Рекомендуються спрощені співвідношення:

$$S_{en} = (0,001 - 0,002) \cdot S_{\max}$$

$$S_{ном} = \frac{S_{en}}{(n-1) \cdot 1,4}$$

де  $n$  – кількість трансформаторів власних потреб з нижчою напругою 0,4 кВ.

Література: [1], [3], [5], [7].

### ТЕМА 3. РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ НА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Для прийнятої схеми підстанції з урахуванням замкнутого ( $U \geq 220$  кВ) чи розімкненого ( $U=110$  кВ) стану шиноз'єднувальних та секційних вимикачів складається схема заміщення і виконується розрахунок струмів трьохфазного КЗ. Розрахункові точки КЗ показані на рис. 1.1. На напрузі 6-10 кВ в колі трансформатору власних потреб необхідно встановити реактор, який обмежує струм КЗ до 20 кА, відповідно струму вимкнення вимикача ВМП-10.

При розрахунку струмів КЗ постійна часу системи приймається рівною  $T_{ac}=0,05$ с, постійна часу компенсатора у точці КЗ (рис. 1.1) приймається згідно даних каталогу, в точці К1 і К2 приймається  $T_{ack}=0,14$ с, за реактором постійна часу компенсатора може бути прийнята рівною постійної часу системи.

Розрахунок струмів КЗ повинен завершуватися зведеною табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Розрахунок струмів КЗ

Точки КЗ	Джерела струмів КЗ	Токи КЗ, кА				$T_a$	$\tau$	Тип вимикача
		$I_{no}$	$i_y$	$I_{n\tau}$	$i_{a\tau}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
к1	Система 1							
•	.....							
.	СК 1							
к4	СК 2							
	Разом							

Примітка. Колонки 5,6,8,9 заповнюються після остаточного вибору вимикача у розділі 5.

Час  $\tau$  для розрахунку струмів КЗ знаходиться індивідуально для кожного вимикача:

$$\tau = t_{CB} + 0,01 \text{ (с)}$$

де  $t_{CB}$  – власний час відключення вимикача, який знаходиться по каталожним даним.

Розрахунок струмів КЗ слід проводити у відносних одиницях. Задаються довільним значенням  $S_{\delta}$  і приймають  $U_{\delta} = U_{cp}$  ступені напруги, на якій розраховують КЗ (6,3; 10,5; 13,8; 15,75; 18; 20; 24; 37; 115; 154; 230; 340; 525; 750).

Значення струму  $I_{\delta}$  для кожної ступені розраховують згідно виразу:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot U_{\delta}}$$

Опори елементів схеми у відносних одиницях визначаються наступними залежностями:

а) система (при роздільній роботі шин,  $S''/2$ )

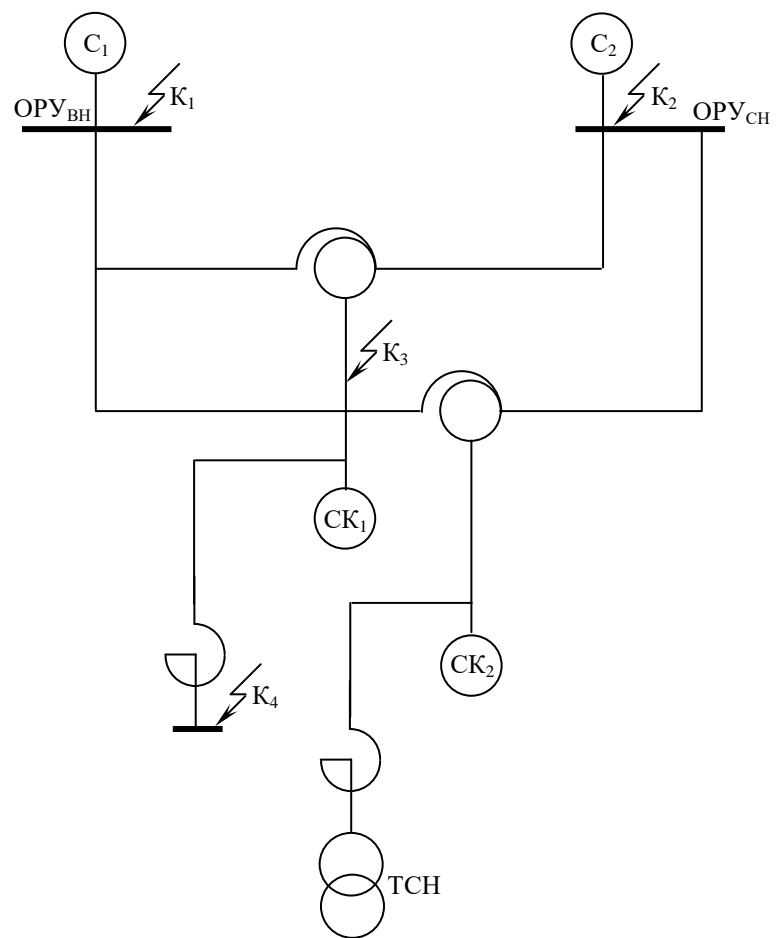
$$X_c = \frac{S_{\delta}}{S''}$$

б) трансформатор (для автотрансформатора попередньо розраховуються значення  $U_{кв}(\%)$ ,  $U_{кс}(\%)$ ,  $U_{кн}(\%)$ )

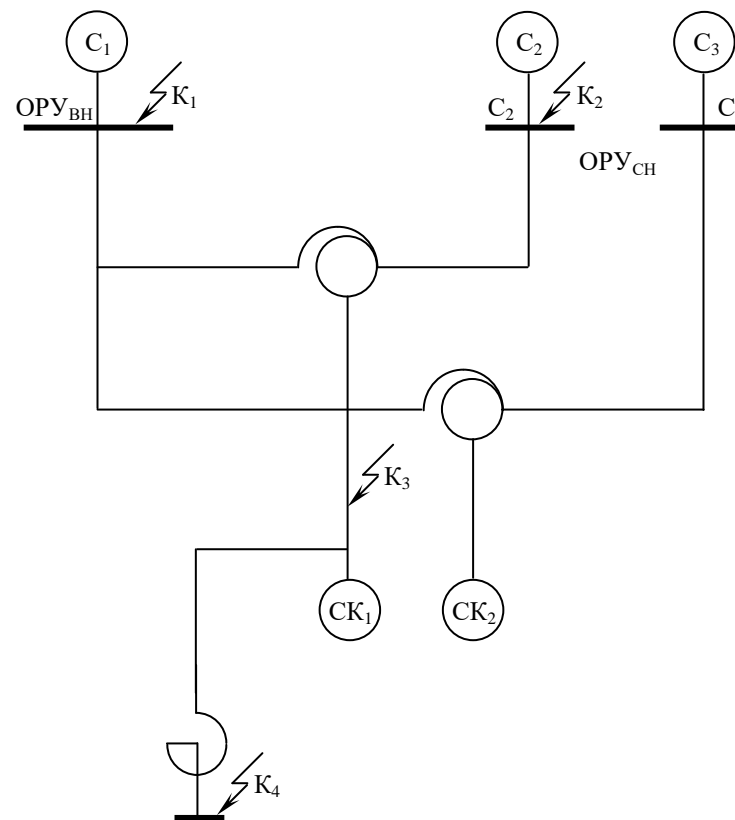
$$X_{TP} = \frac{U_k(\%)}{100} \cdot \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$$

в) синхронний компенсатор

$$X_{СК} = X_d''(в.о.) \frac{S_{\delta}}{S_{ном}}$$



a)



6)

Рисунок 3.1 – Розрахункові точки КЗ

Шляхом поступового перетворення схема заміщення приводиться до найбільш простого вигляду так, щоб джерела живлення, що характеризуються певним значенням ЕРС  $E''$  були пов'язані з точкою КЗ одним результируючим опором  $X_{рез}$  і розраховують початкове значення струму КЗ від кожного джерела:

$$I_{\Pi 0} = \frac{E''}{X_{рез}} \cdot I_{\phi}$$

де для системи  $E'' = 1$ , для СК  $E'' = 1 + X_d''$ .

Ударний струм  $i_y$ , значення ударного коефіцієнту  $\kappa_y$ , та значення аперіодичної складової струму КЗ  $i_{a\tau}$  визначають як:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot \kappa_y \cdot I_{\Pi 0}$$

$$\kappa_y = 1 + e^{\frac{-0,01}{T_a}}$$

$$i_{a\tau} = \sqrt{2} \cdot I_{\Pi 0} \cdot e^{\frac{-\tau}{T_a}}$$

Значення струмів КЗ  $I_{n\tau}$  від системи знаходять як:

$$I_{n\tau} = I_{\Pi 0}$$

Значення струмів КЗ  $I_{\Pi\tau}$  від синхронних компенсаторів знаходять по типовим кривим [7].

Література: [1], [3], [5], [7].



#### ТЕМА 4. ВИБІР СТРУМООБМЕЖУЮЧИХ РЕАКТОРІВ

Індуктивний опір реактора визначають за умовами обмеження струму КЗ до  $I_{nom}=20$  кА. Розрахунок опору реактора зручно вести в іменованих одиницях наступним чином:

а) результуючий опір кола КЗ до установки реактора, Ом

$$X_{рез} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot I_{П0}}$$

б) потрібний (с точки зору обмеження струму КЗ) опір кола КЗ, Ом

$$X_{рез,ном} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3} \cdot I_{ном}}$$

в) потрібна величина опору реактора, Ом

$$X_{р,ном} = X_{рез,ном} - X_{рез}$$

Далі за каталожними даними вибирають тип реактора з найближчим більшим індуктивним опором  $X_{р,ном}$  і визначається фактичне значення струму КЗ за реактором:

$$I_{П0,\phi} = \frac{U_{\delta}}{\sqrt{3}(X_{рез} + X_{р,ном})}$$

Втрату напруги на реакторі, яка повинна складати не більше 1,5-2 %, розраховують як:

$$\Delta U_p (\%) = \frac{\sqrt{3} \cdot X_{p,ном} \cdot I_{max}}{U_{ном}} \cdot \sin \phi \cdot 100$$

При перевірці вибраного реактора на електродинамічну стійкість величина  $i_y$  приймається з урахуванням обмеження струму КЗ за реактором.

Дані по вибору реактора зводять в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Умови вибору реактора

Параметри реактора	Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
Номінальна напруга кВ	$U_{раб} \leq U_{ном}$		
Номінальний струм кА	$I_{max} \leq I_{ном}$		
Індуктивний опір Ом	$X_{p,ном} \leq X_{p,ном}$		
Струм динамічної стійкості кА	$i_y \leq i_{дин,ном}$		
Термічна стійкість кА <sup>2</sup> с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$		
Втрата напруги %	$\Delta U_p \leq \Delta U_{ном}$		

Література: [1], [3], [5].

## ТЕМА 5. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ: ВИМИКАЧІВ, РОЗ'ЄДНУВАЧІВ

Вимикачі вибираються на всіх напругах, де вони встановлені. Так як при встановленні вимикачів наближаються до їх ідентичності, то у кожній схемі РП слід визначити вимикач, який має найбільш важкі розрахункові умови (звичайно сумарний струм КЗ). Таким, наприклад, у схемі „дві системи шин з обхідною” є обхідний вимикач, який у режимі опробування обхідної системи шин і наявності на ній КЗ вимикає сумарний струм КЗ. В схемах „півтора вимикача на приєднання”, „два вимикача на приєднання” з невеликою похибкою вимикачі також можуть вибиратися по сумарному струму КЗ через неодночасність відключення двох вимикачів при КЗ на лінії. В окремих випадках (наприклад, ланцюг синхронного компенсатора) розрахунковий струм КЗ може бути меншим ніж сумарний.

При виборі вимикачів по тривало допустимому струму необхідно враховувати вірогідність його підвищення у різноманітних аварійних чи форсованих режимах. Так, наприклад, для приєднання автотрансформатора його струм у форсованому режимі зростає у 2 рази при відключенні другого. Так як вимикач не здібний на перевантаження, то це підвищення струму слід заздалегідь запланувати.

При виборі типу вимикача слід виконувати наступні умови.

1. У закритих РП всіх напруг повинні встановлюватися повітряні, вакуумні, елегазові або малооб'ємні масляні вимикачі.
2. У РП 330 кВ і вище повинні встановлюватися повітряні або елегазові вимикачі.
3. У РП 220 кВ повинні встановлюватися:
  - а) повітряні або елегазові вимикачі, якщо на підстанції є РП 330 кВ та вище;
  - б) бакові чи малооб'ємні масляні вимикачі у інших випадках.

4. У РП 110 кВ підстанцій з вищою напругою 220 кВ повинні встановлюватися:

а) малооб'ємні масляні вимикачі в тих випадках, коли РП 220 кВ і облаштовано повітряними або елегазовими вимикачами ;

б) бакові вимикачі у всіх інших випадках.

5. У РП 110 кВ на підстанціях з вищою напругою 110 кВ повинні встановлюватися малооб'ємні масляні вимикачі.

Розрахунок вимикачів на термічну стійкість слід проводити за спрощеним виразом:

$$B_{\kappa} = (I_{\text{п0}})^2 \cdot (t_{\text{pz}} + t_{\text{ов}} + T_a).$$

Значення  $B_{\kappa}$  дає підвищену величину теплового імпульсу. Більш точний розрахунок  $B_{\kappa}$  потребується тільки в тих випадках, коли апарат, вибраний по іншим умовам, не проходить по термічній стійкості, що для умов потужних підстанцій, де час дії релейного захисту практично для всіх приєднань не перевищує 0,1с, не має місця.

Час  $t_{\text{ов}}$  вибирається за каталожними даними і представляє повний час відключення вимикача з урахуванням гасіння дуги. У якості  $T_a$  слід приймати найбільше її значення.

Вибір вимикача зводять в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Умови вибору вимикача (вказується тип)

Параметри	Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
Номінальна напруга кВ	$U_{раб} \leq U_{ном}$		
Номінальний струм кА	$I_{max} \leq I_{ном}$		
Номінальний струм відключення: - симетричний, кА - асиметричний, кА	$I_{н\tau} \leq I_{відкном}$ $\sqrt{2}I_{н\tau} + i_{a\tau} \leq I_{відкном} \cdot \sqrt{2}(1 + \beta_{но.})$		
Номінальний струм динамічної стійкості: - симетричний, кА - асиметричний, кА	$I_{п0} \leq I_{дин}$ $i_y \leq i_{дин,ном}$		
Термічна стійкість, кА <sup>2</sup> с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$		

Роз'єднувачі та відокремлювачі (при їх наявності) вибирають по тим же умовам, що і вимикачі, за винятком вимикаючої здатності, так як вони не можуть розривати ланцюг струму.

Література: [1], [3], [5].

## ТЕМА 6. ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ СТРУМУ

Трансформатори струму вибирають для всіх напруг підстанції. При цьому спочатку треба визначити тип трансформатору – вмонтований (при наявності багатооб'ємних вимикачів) чи винесений (в інших випадках).

Вибір трансформаторів струму зводять в табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Умови вибору трансформатору струму (вказується тип)

Параметри	Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
Номінальна напруга кВ	$U_{\text{раб}} \leq U_{\text{ном}}$		
Номінальний струм кА	$I_{\text{max}} \leq I_{\text{ном1}}$		
Динамічна стійкість кА	$i_y \leq \kappa_d \cdot \sqrt{2} \cdot I_{\text{ном1}}$		
Термічна стійкість кА <sup>2</sup> с	$B_k \leq I_T^2 \cdot t_T$		
Вторинне навантаження Ом	$Z_2 \leq Z_{\text{ном}}$		

Необхідно провести розрахунок вторинного навантаження тільки для одного з вибраних трансформаторів струму (за вказівкою консультанта – викладача). Для цього в залежності від призначення приєднання згідно [7] визначається перелік приборів, що підключаються до нього та схема їх підключення (повна чи неповна зірка).

Розрахунок вторинного навантаження трансформатору струму зводять в табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Вторинне навантаження трансформатору струму (вказується місце включення)

Прилад	Тип	Навантаження фази, ВА		
		А	В	С
...	...	...	...	...
Разом				

Для найбільш навантаженої фази розраховується загальний опір приладів, допустимий опір з'єднувальних проводів та їх переріз. Довжина з'єднувальних проводів може бути прийнята 100-500м в залежності від напруги РП, а їх переріз повинен бути не менше  $2,5 \text{ мм}^2$  за вимог механічної міцності.

У пояснювальній записці повинна бути приведена схема приєднання приладів і чітко вказано, для якого приєднання вибирається трансформатор струму.

Література: [1], [3], [5], [7].

## ТЕМА 7. ВИБІР ТРАНСФОРМАТОРІВ НАПРУГИ

Трансформатори напруги встановлюють в РП на кожній системі шин, на кожній секції, на затискачах синхронних компенсаторів, при напрузі  $U \geq 330$  кВ на кожній мережі.

Трансформатори напруги вибираються за номінальною напругою та класом точності. Один з трансформаторів напруги (за вказівкою консультанта – викладача) розраховується по вторинному навантаженню. У пояснювальній записці повинно бути чітко вказано місце встановлення трансформатора напруги, що вибирається. Вибір завершується таблицею 7.1.

Таблиця 7.1 – Розрахунок вторинного навантаження трансформатора напруги, який підключається до (вказується місце підключення)

Приєднання	Прилад	Тип	Потужність однієї котушки ВА	Кількість котушок	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$	Число приладів	Загальна потужність	
								$P$ Вт	$Q$ ВАр
Разом									

При відсутності даних для лічильників прийняти  $\cos \varphi = 0,38$ .

Перевірка по вторинному навантаженню зводиться до виконання вимоги:

$$S_2 \leq S_{2ном}$$

Література: [1], [3], [5].



## ТЕМА 8. ВИБІР СТРУМОПРОВІДНИХ ЧАСТИН

Вибір перерізу збірних шин виконують за максимальним робочим струмом найбільш потужного приєднання, однак він не повинен бути менше будь-якого підключеного до збірних шин відгалуження.

Проводи мереж напругою більше 35 кВ, проводи з'єднань блочних трансформаторів з відкритим розподільчим пристроєм, струмопроводи генераторів та синхронних компенсаторів вибирають за економічною щільністю струму.

Якщо збірні шини виконуються гнучким проводом, таким як і мережі, то окрім вибору їх за тривалим струмом, вони перевіряються за короною, на термічну стійкість і на динамічну дію струмів КЗ. Остання перевірка потребується тільки в тих випадках, якщо сумарний струм КЗ перевищує 20 кА.

Вибір збірних шин РП завершується табл. 8.1.

Таблиця 8.1 – Умови вибору гнучких шин

Параметри	Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
Тривалий струм кА	$I_{\max} \leq I_{\text{доп}}$		
Термічна стійкість мм <sup>2</sup>	$S_T = \frac{\sqrt{B_{\kappa}}}{C_T} \leq S$		
Умови коронування кВт/км	$1,07 E \leq 0,9 E_0$		
Електродинамічна стійкість	$\sigma \leq \sigma_{\text{доп}}$		

Напруженість електричного поля  $E$  визначається для нерозщепленого проводу як:

$$E = \frac{0,354U}{r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_0}}$$

де  $U$  – лінійна напруга, кВ;  $D_{cp}$  – середня геометрична відстань між проводами, см;  $r_0$  – радіус проводу, см.

При горизонтальному розташуванні фаз:

$$D_{cp} = 1,26D$$

де  $D$  – відстань між середніми фазами, см. Для збірних шин прийняті наступні відстані  $D$ : 110 кВ – 3м; 220 кВ – 4м; 330 кВ – 4,5м; 500 кВ – 6м; 750 кВ – 10м.

Напруженість для розщепленого проводу:

$$E = k_{розц} \cdot \frac{0,354U}{n \cdot r_0 \cdot \lg \frac{D_{cp}}{r_e}}$$

де  $n$  – кількість проводів у фазі;  $r_e$  – еквівалентний радіус проводу;  $k_{розц}$  – коефіцієнт (див. табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Значення  $k$  і  $r_e$

Кількість проводів у фазі	2	3	4
$k_{розц}$	$1 + 2 \frac{r_0}{a}$	$1 + 2 \frac{\sqrt{3} \cdot r_0}{a}$	$1 + 3 \frac{\sqrt{2} \cdot r_0}{a}$
$r_e$	$\sqrt{r_0 \cdot a}$	$\sqrt[3]{r_0 \cdot a^2}$	$\sqrt[4]{\sqrt{2} \cdot r_0 \cdot a^3}$

Відстань  $a$  між проводами у розщепленій фазі приймається при  $U \leq 220$  кВ – 20 ÷ 30 см; при  $U \geq 330$  кВ – 40 см.

Критична напруженість електричного поля:

$$E_0 = 30,3 \cdot m \cdot \left(1 + \frac{0,299}{\sqrt{r_0}}\right)$$

де  $m$  - коефіцієнт шорсткості проводу ( $m=0,82$ ).

Електродинамічна дія струму КЗ на гнучкі шини полягає в тому, що внаслідок дії струму КЗ проводи відкидаються і відстань  $\sigma$  між ними може стати менше допустимої  $\sigma_{дон}$ .

Зв'язок синхронного компенсатора з автотрансформатором виконується, як правило, жорсткими шинами. В цьому разі розрахунок їх на динамічну стійкість виконують методом допустимих напруг:

$$\sigma_{розр} \leq \sigma_{дон}$$

Вибір шинопроводу зв'язку синхронного компенсатора з автотрансформатором завершується таблицею 8.3.

Таблиця 8.3 – Умови вибору шинопроводу

Параметри	Умови вибору	Розрахункові параметри	Каталожні дані
Економічна щільність мм <sup>2</sup>	$S_e = \frac{I_{раб}}{j_e}$		
Тривалий струм кА	$I_{max} \leq I_{дон}$		
Термічна стійкість мм <sup>2</sup>	$S_T = \frac{\sqrt{B_\kappa}}{C_T} \leq S$		
Динамічна стійкість МПа	$\sigma_{розр} \leq \sigma_{дон}$		

Література: [1], [3], [5].

## 9. ПОРЯДОК ОФОРМЛЕННЯ ТА ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВУ РОБОТУ

Тематика розрахункової роботи стосується розрахунку електричної частини електростанції, вибору основного електротехнічного обладнання.

Стандартна назва розрахункової роботи «Проект електричної схеми електростанції» (див. бланк титульної сторінки проекту в додатку А).

Завдання до виконання розрахункової роботи (див. додаток Б) заповнюється відповідно з номером варіанту (номер у журналі групи) і затверджується керівником проекту (вказується дата видачі завдання).

У завданні вказується (Додаток А):

- номінальна вища  $U_{BH}$  та середня напруга  $U_{CH}$  вузлової підстанції;
- потужність КЗ  $S''_{BH}$  від системи вищої напруги та сумарна потужність КЗ  $S''_{CH\Sigma}$  від системи середньої напруги;

- максимум активного навантаження  $P_{max}$  графіка, номер якого вибирається згідно завдання;

- коефіцієнт потужності  $\cos \varphi_{max}$ , визначений для  $P_{max}$ ;
- реактивна потужність синхронного компенсатора  $Q_{СК}$ ;
- кількість синхронних компенсаторів;
- номер графіка навантаження;
- кількість мереж вищої напруги.

Текст розрахункової роботи набирають на комп'ютері:

- тип шрифту - Times New Roman;
- розмір шрифту - 14;
- міжрядковий інтервал - 1,5;
- поля: зліва, зверху і знизу - 20 мм, справа - 10 мм;

- абзацний відступ повинен бути однаковим упродовж усього тексту і дорівнювати —1,25 см.

Розрахункова робота друкується на аркушах формату А4 з одного боку.

Виконана розрахункова робота у встановлений регламентом термін реєструється на кафедрі і передається науковому керівнику для перевірки.

Викладач оцінює дотримання вимог щодо змісту та оформлення роботи.

Розрахункова робота «Проект електричної схеми електростанції» оцінюється за наступними критеріями:

- 20 б, якщо розрахункова робота виконана у повному обсязі;
- 10 б, якщо розрахункова робота виконана у повному обсязі із зауваженнями;
- 0 б, якщо розрахункова робота виконана не у повному обсязі, є серйозні помилки.

Отримані бали враховуються при оцінці семестрової роботи під час екзамену.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

### Базова:

1. Бардик Є. І. Електрична частина електростанцій та підстанцій. Основне електрообладнання: навч. посіб. / Є. І. Бардик, М. П. Лукаш; - К., 2011. - 217 с.
2. Сегеда М. С. Проектування структурних схем електростанцій та підстанцій: навч. посіб. / М.С. Сегеда, В.Г. Гапанович, В.П. Олійник, К.Б. Покровський. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 144 с.
3. Бахор З. М. Проєктування підстанцій електричних мереж : навч. посіб. / З. М. Бахор, А. В. Журахівський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. – 308 с.

### Допоміжна

4. Лежнюк П. Д. Проектування електричної частини електричних станцій: навч. посіб. / П. Д. Лежнюк, В.М. Лагутін, В.В. Тептя. – Вінниця : ВНТУ, 2009. - 194 с.
5. Электрическая часть станций и подстанций / В.А. Васильев, И.П. Крючков, Е.Ф. Наяшкова, М.Н. Околович. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
6. Усов С.В. Электрическая часть электростанций / С.В. Усов. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 616 с.
7. Рожкова Л.Д. Электрооборудование станций и подстанций / Л.Д. Рожкова, В.С. Козулин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 648 с.

**ДОДАТОК А**

(Приклад оформлення титульного аркушу)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Кафедра електричної інженерії

**РОЗРАХУНКОВА РОБОТА**

**«Проект електричної схеми електростанції»**

з дисципліни «Електрична частина станцій та підстанцій. Частина 1»

Виконав: студент групи \_\_\_\_\_  
(підпис)

ПІБ

Перевірів: \_\_\_\_\_  
(підпис)

ПІБ

ПОКРОВСЬК -2020

ДОДАТОК Б

(Приклад оформлення бланку завдання)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

**Факультет КІТАЕР**  
**Кафедра електричної інженерії**

**ЗАВДАННЯ**

*на індивідуальну, розрахункову, графічну або розрахунково-графічну роботу*  
**ПІБ**

\_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

**1. Основні пункти завдання:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**2. Вихідні дані:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3. Рекомендована література:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Студент: \_\_\_\_\_  
(дата) (підпис) (прізвище та ініціали)

Викладач: \_\_\_\_\_  
(дата) (підпис) (прізвище та ініціали)



## ДОДАТОК В

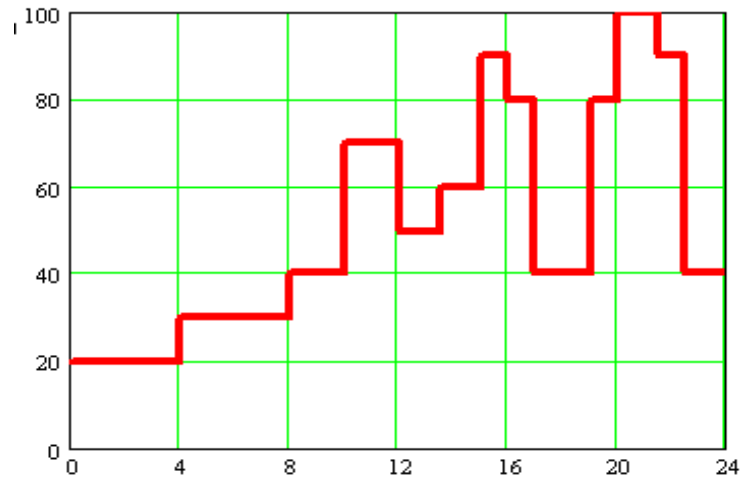
Таблиця В.1 – Вихідні дані

№ п/п	$U_{BH}$ кВ	$U_{CH}$ кВ	$S''_{BH}$ МВА	$S''_{CH\Sigma}$ МВА	$P_{max}$ МВт	$\cos \varphi_{max}$	$Q_{CK}$ МВАр	К-сть СК	Номер графіку	К-сть ЛЕП ВН
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	220	110	8000	4000	200	0,9	100	1	1	2
2	220	110	7500	3500	220	0,9	50	2	4	2
3	220	110	7000	3000	240	0,91	75	2	3	3
4	220	110	7800	3500	320	0,91	50	2	3	4
5	220	110	7600	4000	360	0,915	100	1	1	4
6	220	110	6900	2900	350	0,9	50	2	1	4
7	220	110	6600	2800	180	0,9	50	2	4	2
8	220	110	6500	2700	150	0,89	50	1	3	2
9	220	110	5000	2600	100	0,89	50	2	3	5
10	220	110	5500	2500	112	0,88	50	2	1	2
11	220	110	5300	2400	116	0,92	25	2	1	2
12	220	110	4000	2300	210	0,93	25	2	4	3
13	220	110	4800	2200	120	0,91	32	2	3	2
14	220	110	4900	2100	115	0,91	32	1	3	2
15	220	110	4800	2000	145	0,91	50	2	1	2
16	220	110	6000	2500	252	0,91	25	2	1	3
17	220	110	5500	3400	160	0,9	32	2	4	2
18	220	110	5200	2200	250	0,905	50	2	3	6
19	220	110	4000	3000	145	0,9	30	2	3	2
20	220	110	5900	3600	140	0,9	75	2	1	2

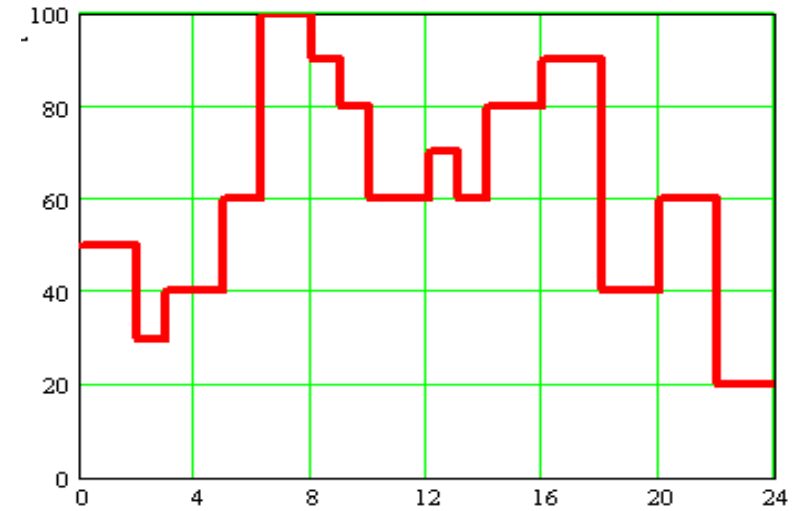
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	220	110	4700	1950	210	0,93	25	2	1	3
22	220	110	4500	1900	220	0,92	32	1	4	3
23	220	110	5300	1850	230	0,92	32	2	3	2
24	220	110	4200	1830	210	0,915	75	2	3	3
25	220	110	4000	2800	220	0,91	75	1	1	2
26	330	110	5500	3000	330	0,91	50	2	1	2
27	330	110	4800	2800	270	0,91	50	1	4	3
28	330	110	5000	2500	440	0,9	75	1	3	4
29	330	110	5600	3400	390	0,89	50	2	3	4
30	330	110	5800	3300	125	0,89	50	1	2	5
31	330	110	5500	2900	90	0,89	-	-	1	2
32	330	110	4000	3000	140	0,9	25	2	4	4
33	330	110	5400	2900	135	0,88	75	2	3	5
34	330	110	6000	2800	200	0,9	100	1	3	4
35	330	110	5300	3800	82	0,9	-	-	1	4
36	330	110	4000	3500	230	0,9	100	2	1	4
37	330	110	4900	2800	250	0,91	50	2	4	3
38	330	110	5700	3200	270	0,91	100	2	3	5
39	330	110	4800	2800	290	0,91	75	2	3	6
40	330	110	4500	2200	300	0,9	25	2	1	4
41	330	220	4000	3000	330	0,9	25	2	1	4
42	330	220	6000	2800	305	0,91	32	2	2	3
43	330	220	5900	3500	285	0,91	-	-	2	4
44	330	220	5000	2500	300	0,9	75	1	3	5
45	330	220	4800	2600	295	0,9	75	2	4	6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
46	330	220	4500	2500	550	0,9	100	2	1	6
47	330	220	4600	2900	500	0,89	160	1	2	4
48	330	220	5000	3000	490	0,91	100	1	3	4
49	330	220	3700	2500	450	0,9	75	2	3	6
50	330	220	4800	2200	480	0,91	50	2	4	6
51	500	110	4100	2600	170	0,91	50	2	4	3
52	500	110	5000	2500	150	0,9	75	1	4	3
53	500	110	5500	2000	135	0,9	75	2	3	4
54	500	110	5800	2200	140	0,91	50	2	3	4
55	500	110	5000	1700	160	0,92	100	2	4	4
56	500	110	5000	1900	340	0,91	75	2	1	3
57	500	110	4500	2200	300	0,9	50	2	2	3
58	500	110	4400	2800	320	0,89	50	2	3	2
59	500	110	6000	2400	315	0,88	32	2	4	2
60	500	110	5600	1800	280	0,88	50	2	1	3
61	500	220	5500	2800	400	0,88	75	2	1	2
62	500	220	5700	2200	390	0,88	75	2	2	2
63	500	220	4800	2900	360	0,89	50	2	3	2
64	500	220	4900	3400	600	0,89	50	2	4	3
65	500	220	5600	2500	560	0,9	50	2	4	3
66	500	220	6200	2000	500	0,9	50	2	4	3
67	500	220	5000	2800	1000	0,9	100	2	3	5
68	500	220	4800	2900	900	0,91	100	2	3	4
69	500	220	3800	2000	650	0,92	100	2	3	4
70	500	220	5500	2400	750	0,93	160	1	2	4

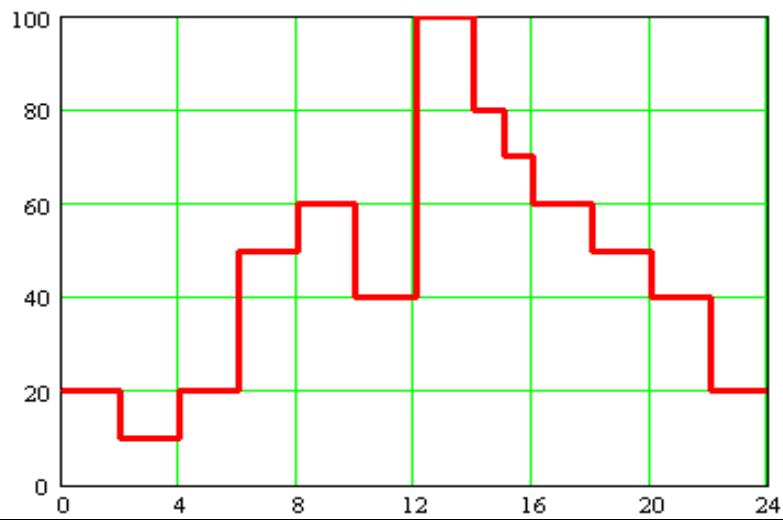
Таблиця В.2 – Графіки навантаження



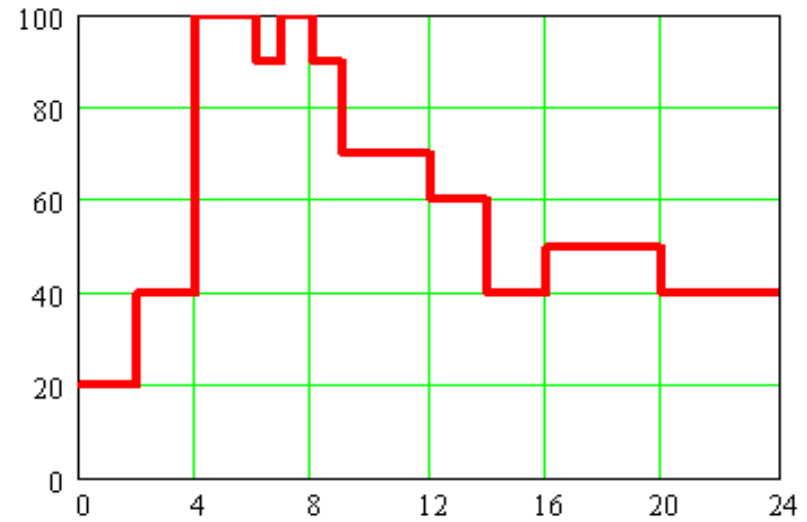
1



2



3



4