

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
з навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ»

(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)

**Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020**

Методичні рекомендації до організації самостійної роботи та проведення практичних занять із навчальної дисципліни «Електропостачання транспорту» (для студентів усіх форм навчання освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Т. П. Павленко, Н. П. Лукашова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 23 с.

Укладачі: д-р техн. наук, проф. Т. П. Павленко,
ст. викл. Н. П. Лукашова

Рецензент

В.М. Шавкун, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричного транспорту ХНУМГ ім. О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою електричного транспорту, протокол № 8 від 05.11.2019.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ САМОСТІЙНОГО ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ	5
1.1 Мета й організація самостійної роботи студентів.....	5
1.2 Перелік тем і завдань для самостійної роботи і контролю.....	5
2 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ.....	6
2.1 Теми практичних занять.....	6
2.2 Теми самостійної роботи.....	7
2.3 Приклади розв'язання задач.....	8
3 ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ.....	15
4 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВІДПОВІДЕЙ.....	15
5 ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАЛІКУ.....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	22

ВСТУП

Система електропостачання (СЕР) створена для забезпечення живленням електричною енергією промислових споживачів і приймачів. Це комплекс пристроїв для виробництва, передавання і розподілу електричної енергії. Він складається зі джерел електричної енергії, ліній електропередачі (ЛЕР), трансформаторних і перетворювальних розподільних підстанцій. У цей комплекс також входять контрольне, вимірювальне та захисне обладнання.

Джерелами електричної енергії є районні, теплові, гідравлічні та інші електростанції, які зазвичай розташовані на деякій відстані від споживачів електричної енергії. Робота електростанцій заснована на використанні природних енергетичних ресурсів. Об'єднання електростанцій і ЛЕР в єдину систему електропостачання сприяє збільшенню надійності забезпечення електричною енергією приймачів і споживачів. Це також дозволяє знизити пікове навантаження деяких електростанцій в деякі часи доби.

Важливою особливістю системи електропостачання є практична неможливість створення запасів електричної енергії. Вся отримана електрична енергія негайно витрачається приймачами і споживачами. Під впливом різноманітних причин відбуваються обурення і зміни стану енергетичної системи. В даний час робота енергосистеми, а також систем електропостачання транспорту, промислових підприємств та інших практично повністю автоматизовані. Завдяки цьому вирішуються основні завдання захисту електричних ланцюгів, регулювання напруги, потужності, обліку електроенергії та ін.

Системний підхід при вирішенні оптимізаційних задач сприяє підвищенню продуктивності машин і механізмів, зменшенню втрат електричної енергії, а також комплексному розв'язанню підвищення надійності та ефективності роботи електричного обладнання, промисловості, транспорту, систем захисту та керування приймачів і споживачів електричної енергії. При цьому повинні бути забезпечені енергозбереження, екологічна безпека навколишнього природного середовища та техніка безпеки персоналу.

1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ САМОСТІЙНОГО ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

1.1 Мета та організація самостійної роботи студентів

Метою самостійної підготовки щодо навчальної дисципліни «Електропостачання транспорту» є формування основ знань в області електричного транспорту та його основних елементів. Задачею курсу є вивчення питань теорії, розрахунку, проектування та захисту систем електропостачання електричного транспорту.

1.2 Перелік тем і завдань для самостійної роботи і контролю

Модуль 1 Електропостачання транспорту

ЗМ 1 – Системи електропостачання та їх основні елементи

1.1.1 Загальні відомості про системи електропостачання (2 год)

Виробництво електричної енергії. Альтернативні джерела виробництва електричної енергії. Передача електричної енергії. Розподіл електричної енергії

1.1.2 Загальні елементи системи електропостачання електротранспорту (4 год)

Система електропостачання міського електротранспорту і його класифікація. Тягові підстанції та їх основні елементи. Особливості роботи тягових мереж. Матеріали, що використовуються в тягових мережах та їх характеристики.

1.1.3 Схеми зовнішнього та внутрішнього електропостачання транспорту (6 год)

Радіальні схеми зовнішнього електропостачання. Магістральні і кільцеві схеми зовнішнього електропостачання. Схеми внутрішнього електропостачання міського транспорту. Процеси електропостачання, що визначають роботу міського транспорту. Генерування енергії в електричних мережах і компенсація реактивної потужності.

1.1.4 Основні параметри системи електропостачання та елементів тягових мереж (2 год)

Величини, що визначають роботу системи електропостачання електротранспорту та основні параметри тягових мереж. Контактна тягова мережа. Рейкові лінії. Живлячі лінії.

1.1.5 Розрахунок параметрів внутрішнього електропостачання (4 год). Мета, завдання і методи розрахунку параметрів ланцюгів внутрішнього електропостачання МЕТ. Метод перетину графіка і розрахунок миттєвих схем.

Метод рівномірно розподіленого навантаження. Узагальнений аналітичний метод розрахунку параметрів системи електропостачання. Застосування методів розрахунку максимальних значень струму ЕРС в режимі тягових навантажень і рекуперації.

ЗМ 2 Автоматизація систем електропостачання міського транспорту

1.2.1 Контактна мережа електричного транспорту (4 год)

Класифікація контактної мережі електротранспорту. Особливості контактної мережі тролейбуса та основні її елементи. Контактна мережа трамвая та основні її елементи. Контактна мережа метрополітену.

1.2.2 Порушення режимів роботи тягової мережі електротранспорту (6 год).

Різновид короткого замикання в ланцюзі електропостачання. Способи захисту від малих струмів короткого замикання на лініях тягової мережі. Основні види захистів при струмах КЗ. Апарати захисту в контактних мережах.

1.2.3 Особливості автоматизованої системи керування міського електротранспорту (4 год).

Структура та завдання автоматизованої системи керування. Структура і функції центрального диспетчерського пункту керування електропостачанням наземного міського електротранспорту. Програмне забезпечення центрального диспетчерського пункту керування. Структура і функції системи радіозв'язку і телемеханіки. Системи управління електропостачанням міського електротранспорту та їх функції. Структура диспетчерського управління метрополітену.

Для оцінки практичного вміння та засвоєння студентами навчального матеріалу пропонуються завдання для практичної та самостійної роботи.

2 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

2.1 Теми практичних занять

Метою практичної та самостійної підготовки щодо навчальної дисципліни є вивчення питань теорії, розрахунку, проектування систем електропостачання з використанням систем електропостачання та володіння практичними вміннями й навичками з основ проектування та розрахунку параметрів за допомогою програмного забезпечення. Теоретична частина дисципліни викладена у конспекті лекційного курсу.

Таблиця 2.1 – Теми практичних занять

Назва теми	Кількість годин	
	Денне навчання	Заочне навчання
ЗМ 1. Системи електропостачання та їх основні елементи	18	3
Вибір кількості та потужності трансформаторів	2	
Розрахунок мереж електропередач ті вибір неізолюваних дротів	4	
Розрахунок та вибір трансформаторів на розподільчій підстанції	6	
Розрахунок втрат потужності та електроенергії у трансформаторах та мережі	2	
Розрахунок та вибір компенсуючих пристроїв	4	
ЗМ 2. Автоматизація систем електропостачання транспорту	16	3
Розрахунок контактної мережі трамвайно-тролейбусної лінії	6	
Розрахунок і вибір електричних апаратів захисту	5	
Розрахунок і вибір електричних апаратів керування	5	

Для оцінки практичного вміння та засвоєння студентами навчального матеріалу пропонується методологія розв'язання деяких практичних занять з використанням методів розрахунку параметрів систем електропостачання транспорту, установок та систем.

2.2 Теми самостійної роботи

Теми самостійної роботи подано в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Теми самостійної роботи

Назва теми	Кількість годин	
	денна	заочна
ЗМ 1. Системи електропостачання та їх основні елементи	34	64
Методи розрахунку параметрів внутрішнього та зовнішнього електропостачання	6	13
Розрахунок параметрів та схем з'єднання пристроїв контактної мережі.	7	13
Механічний розрахунок параметрів контактної мережі	7	13
Пристрої кабельних мереж та їх експлуатація	7	13
Розробка електричних схем електропостачання об'єктів	7	12
ЗМ 2. Автоматизація систем електропостачання транспорту	33	59
Автоматизовані систем енергопостачання електротранспорту	11	19
Автоматизовані системи керування тяговими підстанціями та їх енергопостачанням	11	20
Особливості роботи систем телемеханіки	11	20
Усього	67	123

2.3 Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахунок потужностей та вибір трансформаторів

Основні положення для розрахунку

При відсутності графіку електричного навантаження повні потужності трансформаторів, які підключені до генераторного розподільного пристрою (ГРП), розраховуються, виходячи з максимального їх значення, що отримані під час роботи трансформаторів при різноманітних режимах.

Режим 1. Повна потужність при мінімальному навантаженні генераторів, МВ·А:

$$S_{P1,calc} = \sqrt{(P_G n_G - P_{min} - P_{g(CH)} n_G)^2 + (Q_G n_G - Q_{min} - Q_{g(CH)} n_G)^2},$$

де $P_G, P_{g(CH)}$ – активна потужність генератора та його власних потреб, МВт;

$Q_G, Q_{g(CH)}$ – реактивна потужність генератора та його власних потреб, Мвар;

P_{min} – активна потужність при мінімальному навантаженні, МВт;

Q_{min} – реактивна потужність мінімальному навантаженні, Мвар;

n_G – кількість генераторів, що підключені до ГРП при мінімальному їх навантаженні.

Режим 2. Розрахункова повна потужність при максимальному навантаженні генераторів, МВ·А:

$$S_{P2,calc} = \sqrt{(P_G n_G - P_{max} - P_{g(CH)} n_G)^2 + (Q_G n_G - Q_{max} - Q_{g(CH)} n_G)^2},$$

де P_{max} – активна потужність при максимальному навантаженні, МВт;

Q_{max} – реактивна потужність при максимальному навантаженні, Мвар.

Режим 3. Розрахункова повна потужність при відключенні одного генератора при максимальному навантаженні, МВ·А:

$$S_{P3,calc} = \sqrt{(P_G n'_G - P_{max} - P_{g(CH)} n'_G)^2 + (Q_G n'_G - Q_{max} - Q_{g(CH)} n'_G)^2},$$

де n'_G – кількість генераторів, що підключені до ГРП після відключення одного генератора:

$$n'_G = n_G - 1.$$

Вимоги щодо вибору потужності трансформаторів, які підключені до ГРП, МВ·А:

$$S_{P,T} \geq 0,7 S_{Pmax, calc},$$

де $S_{Pmax, calc}$ – розрахункова максимальна повна потужність любого режиму роботи трансформатора, МВ·А.

Для зрівняння потужностей використовується максимальна потужність одного з трансформаторів.

При блочному підключенні трансформатора та генератора повна розрахункова потужність, МВ·А:

$$S_{Tbl, calc} = \sqrt{(P_G - P_{g(CH)})^2 + (Q_G - Q_{g(CH)})^2}.$$

Вимоги щодо вибору потужності блочного трансформатора, МВ·А:

$$S_{T, bl} \geq S_{Tbl, calc},$$

де $S_{Tbl, calc}$ – розрахункова повна потужність блочного трансформатора, МВ·А.

Для вибору трансформатора по довіднику достатньо знати:

- повну розрахункову потужність;
- високу та низьку напругу.

Максимальна напруга трансформатора визначається орієнтовно, виходячи зі співвідношення:

$$U_{max, BH} = U_L = (1...10) \cdot P_L,$$

де U_L – напруга лінії електропередач, кВ;

P_L – активна потужність, що передається від електростанції по ЛЕП, МВт:

$$P_L = P_G n_G - P_{g(CH)} n_G - P_{min}.$$

Виходячи зі шкали значень напруг 10,5; 21; 36,75; 115; 158; 230; 247; 525; ..., кВ, обирається номінальне середнє її значення.

Повна активна і реактивна потужності лінії без урахування втрат у трансформаторах:

$$S_{P,l} = \frac{P_L}{\cos \varphi_G}; \quad Q_l = P_L \cdot \operatorname{tg} \varphi_G,$$

де $\cos \varphi_G$, $\operatorname{tg} \varphi_G$ – коефіцієнти активної та реактивної потужності генераторів електростанції.

Повна активна потужність лінії без урахування втрат:

$$S_{P,L} = \frac{S_{P,l}}{K_P},$$

де K_P – коефіцієнт втрат у трансформаторі (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Залежність $K_P = f(\cos \varphi_G)$

$\cos \varphi_G$	1	0,9	0,8	0,7	0,6
K_P	1,02	1,06	1,08	1,085	1,09

На практиці втрати в трансформаторах визначають приблизно, виходячи зі співвідношення активних та реактивних потужностей:

$$\Delta P_T = 0,02 S_{P,l}; \quad \Delta Q_T = 0,1 S_{P,l}.$$

Коефіцієнт навантаження трансформатора:

$$k_z = \frac{S_{P,f}}{n_T \cdot S_{N,T}},$$

де $S_{P,f}$ – фактична повна потужність трансформатора, МВ·А;

$S_{N,T}$ – номінальна потужність трансформатора, МВ·А;

n_T – кількість трансформаторів при їх фактичному навантаженні.

Завдання: Для електростанції (рис. 2.1) вибрати трансформатори ($T1$, $T2$, $T3$) з урахуванням наведених даних, та визначити їх повну потужність $S_{P,L}$ та максимальну напругу $U_{L,max}$ мережі; коефіцієнт навантаження k_z , тип генератора: ТВФ – 63, що з'єднані з генераторами $G1$, $G2$, $G3$.

Дано: напруга генератора $U_G = 10,5$ кВ; потужність генератора $P_G = 63$ МВт; максимальна та мінімальна потужності лінії: $P_{max} = 65$ МВт;

$P_{min} = 50$ МВт; коефіцієнти номінальної потужності мережі та генератора: $\cos\varphi_N = 0,85$; $\cos\varphi_G = 0,8$; $tg\varphi_N = 0,62$; $tg\varphi_G = 0,75$; кількість генераторів $n_G = 2$ та блочних трансформаторів $n_{bl} = 1$. Активні втрати потужності в лінії середньої напруги, до якої підключені генератори $P_{g(CH)} = 10\%$ (для розрахунку приймається P_g), реактивні втрати потужності Q_g ; максимальна напруга РП, що підключений до лінії високої напруги U_{max} (ВН) і приймається для розрахунку.

Рішення

Розрахункова повна потужність трансформаторів, що підключені до ГРП та блочного:

$$S_{P(T1,T2)} = \sqrt{(P_G n_G - P_{min} - P_g n_G)^2 + (Q_G n_G - Q_{min} - Q_g n_G)^2};$$

$$Q_G = P_G \cdot tg\varphi_G;$$

$$Q_G = 63 \times 0,75 = 47,3 \text{ МВар};$$

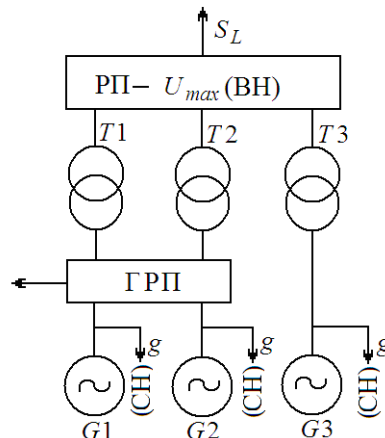


Рисунок 2.1 – Структурна схема електростанції

$$Q_{min} = P_{min} \cdot tg\varphi_N;$$

$$Q_{min} = 50 \times 0,62 = 31 \text{ МВар};$$

$$P_g = 0,1 P_G;$$

$$P_g = 0,1 \times 63 = 6,3 \text{ МВт};$$

$$Q_g = P_g \cdot tg\varphi_G;$$

$$Q_g = 6,3 \times 0,75 = 4,7 \text{ МВар}$$

$$S_{P(T1,T2)} = \sqrt{(63 \times 2 - 50 - 6,3 \times 2)^2 + (47,3 \times 2 - 31 - 4,7 \times 2)^2} = 83,4 \text{ МВА};$$

$$Q_{max} = P_{max} \cdot tg\varphi_N;$$

$$Q_{max} = 65 \times 0,62 = 40,3 \text{ МВар}$$

$$n'_G = n_G - 1;$$

$$n'_G = 2 - 1 = 1;$$

$$S_{P(T3)} = \sqrt{(P_G n_G - P_{min} - P_g n_G)^2 + (Q_G n_G - Q_{max} - Q_g n_G)^2};$$

$$S_{P(T3)} = \sqrt{(63 - 50 - 6,3)^2 + (47,3 - 40,3 - 4,7)^2} = 6,8 \text{ МВА}.$$

Вимоги щодо вибору повної потужності трансформаторів, які підключені до ГРП:

$$S_{P(\text{ГРП})} \geq 0,7 S_{P(T1, T2)} = 0,7 \times 83,4 = 58,4 \text{ МВА.}$$

Для зрівняння потужностей використовується максимальна потужність одного з трансформаторів. У даному випадку умова виконується.

Повна розрахункова потужність трансформаторів при блочному їх підключенні з генераторами:

$$S_{P(T3)calc} = \sqrt{(P_G - P_g)^2 + (Q_G - Q_g)^2};$$
$$S_{P(T3)calc} = \sqrt{(63 - 6,3)^2 + (47,3 - 4,7)^2} = 79,1 \text{ МВА.}$$

Вимоги щодо вибору повної потужності блочного трансформатора:

$$S_{T,bl} \geq S_{T,bl,calc} = 79,1 \text{ МВ}\cdot\text{А.}$$

Активна потужність лінії:

$$P_L = P_G n_G - P_g n_g - p_{\min} = 63 \cdot 3 - 6,3 \cdot 3 - 50 = 120,1 \text{ МВт.}$$

Повна активна потужність лінії та коефіцієнт втрат потужності без урахування втрат у трансформаторах

$$S_{P,L} = \frac{S_{P,l}}{K_p} = \frac{P_L}{\cos \varphi_G \cdot K_p} = \frac{120,1}{0,8 \cdot 1,08} = 139 \text{ МВ}\cdot\text{А.}$$

$$K_p = f(\cos \varphi_G) = f(0,8) = 1,08.$$

Максимальна напруга в лінії:

$$U_{Lmax} = U_L = (1 \dots 10) \cdot P_L = (1 \dots 10) \cdot 120,1 = 120,1 \dots 1201 \text{ кВ.}$$

Згідно зі шкалою напруг: $U_{Lmax} = 220 \text{ кВ.}$

Трансформатори обираються згідно з таблицями додатків А1 та А2.

Таким чином, обрані типи трансформаторів для ГРП, які мають основні параметри (табл. 2.4):

Таблиця 2.4 – Розрахункові параметри трансформаторів

Для ГРП- ТРДЦН 63000 (2 шт.); 220/10,5	Блочний –Д80000- 220/10,5
$U_{\max} = 230 \text{ кВ}$	$U_{\max} = 242 \text{ кВ}$
$U_{\text{вум}} = 11 \text{ кВ}$	$U_{\text{вум}} = 10,5 \text{ кВ}$
$\Delta P_o = 70 \text{ кВт}$	$\Delta P_o = 79 \text{ кВт}$
$\Delta P_k = 265 \text{ кВт}$	$\Delta P_k = 315 \text{ кВт}$
$u_k = 11,5 \%$	$u_k = 11 \%$
$i_o = 0,5 \%$	$i_o = 0,45 \%$
$S_{N,T} = 63 \text{ МВ} \cdot \text{А}$	$S_{N,Tbl} = 80 \text{ МВ} \cdot \text{А}$

Коефіцієнти навантаження трансформаторів:

$$k_{z,T} = \frac{S_{P1,T}}{2S_{N,T}} = \frac{83,4}{2 \cdot 63} = 0,66; \quad k_{z,Tbl} = \frac{S_{Tbl}}{2S_{N,Tbl}} = \frac{79,1}{1 \cdot 80} = 0,99.$$

Такий метод розрахунку параметрів трансформаторів, що підключені до ГРП, можна використовувати при відсутності графіків розподілу навантаження підприємства.

Під час розрахунку параметрів враховується також потужність обладнання, що працює при різних режимах. В результаті обирається максимальна потужність обладнання, яка порівнюється з розрахунковими значеннями.

$$\Delta U'_L = U \cdot \Delta U_L \cdot 10^{-2} = 220 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} = 9,46$$

Приклад 2. Для ЛЕП (рис. 2.1, де РН – регулятор напруги), яка має напругу 220 кВ, повну потужність 139 МВ·А, $\cos \varphi_L = 0,85$ і працює при максимальному навантаженні 4000 годин, визначити втрати повної потужності та напруги. Розрахувати переріз проводів та вибрати їх найближчі стандартні значення. Марка проводу – А.

Дано:
 $S_P = 139 \text{ МВ} \cdot \text{А}$
 $U = 220 \text{ кВ}$
 $\cos \varphi_L = 0,85$
 $T_m = 4000 \text{ час.}$

Визначити
 Втрати:
 $\Delta S_L, \Delta U_L$

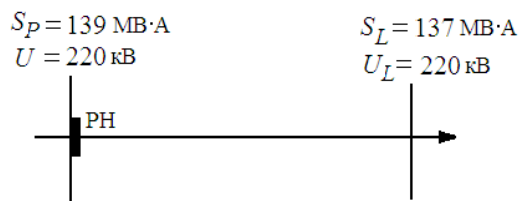


Рисунок 2.2 – Структурна схема ЛЕП

Економічне розрахункове значення перерізу проводу, максимальний струм, що проходить, щільність струму визначаються як:

$$S_{ek} = \frac{I_{max, calc}}{J_{ek}} = \frac{365,2}{1,1} = 332 \text{ мм}^2;$$

$$I_{max, calc} = \frac{S_p}{\sqrt{3}U} = \frac{139 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 220} = 365,2 \text{ А};$$

$$J_{ek} = F(T_m, Al) = 1,1 \text{ А/мм}^2.$$

Для високовольтної лінії зовнішнього прокладення по таблиці додатка 4 обирається провід марки А, який має оптимальні параметри та допустиме значення струму:

$$\text{Марка проводу А - } 3 \times (3 \times 120), \quad I_d = 3 \times 375 \text{ А.}$$

Оптимальна довжина ЛЕП складає:

$$L = (0,3...1) \cdot U = (0,3...1) \cdot 220 = 66...220 \text{ км.}$$

Приймається довжина лінії $L = 100 \text{ км}$.

Активний, індуктивний та питомий опори ЛЕП з урахуванням використання алюмінієвого проводу:

$$R_L = \frac{1}{n_L} \cdot r_o \cdot L = \frac{1}{3} \cdot 0,28 \cdot 100 = 9,3 \text{ Ом};$$

$$r_o = \frac{10^3}{\gamma \cdot S} = \frac{10^3}{30 \cdot 120} = 0,28 \text{ Ом/км}.$$

$$\gamma_{Al} = 30 \text{ м/(Ом} \cdot \text{мм}^2\text{)};$$

$$X_L = x_o L = 0,4 \cdot 100 = 40 \text{ Ом}.$$

Втрати активної, реактивної та повної потужностей на лінії:

$$\Delta P_L = \left(\frac{S_p}{n_L U} \right)^2 \cdot R_L = \left(\frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 9,3 = 0,4 \text{ МВт};$$

$$\Delta Q_L = \left(\frac{S_p}{n_L U} \right)^2 \cdot X_L = \left(\frac{139}{3 \cdot 220} \right)^2 \cdot 40 = 1,8 \text{ МВар};$$

$$\Delta S_L = \sqrt{\Delta P_L^2 + \Delta Q_L^2} = \sqrt{0,4^2 + 1,8^2} = 4,84 \text{ МВ} \cdot \text{А}.$$

Приймається $\Delta S_L = 2 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

Повна потужність ЛЕП з урахуванням втрат

$$S_L = S_P - \Delta S_L = 139 - 2 = 137 \text{ MB} \cdot \text{A}.$$

Втрати напруги в ЛЕП та активна потужність лінії:

$$\Delta U_L = \frac{10^2}{n_L U_L^2} \cdot P_L L (r_o + x_o \operatorname{tg} \varphi_L) = \frac{10^2}{3 \cdot 220^2} \cdot 118,2 \cdot 100 \cdot (0,28 + 0,4 \cdot 0,62) = 4,3 \%;$$

$$P_L = S_P \cdot \cos \varphi_L = 139 \cdot 0,85 = 118,2 \text{ MBm}.$$

При $\cos \varphi_L = 0,85$; $\operatorname{tg} \varphi_L = 0,62$:

$$\Delta U'_L = U \cdot \Delta U_L \cdot 10^{-2} = 220 \cdot 4,3 \cdot 10^{-2} = 9,46 \text{ кВ}$$

Відповідь: високовольтна лінія: провід марки А - $3 \times (3 \times 120)$,
 $I_d = 3 \times 375 \text{ A}$;

$$L = 100 \text{ км}; \Delta S_L = 2 \text{ MB} \cdot \text{A}; \Delta U_L 4,3 \%.$$

3 ТЕСТОВИЙ КОНТРОЛЬ

Однією з основних складових рейтингової системи є тестовий контроль знань, вмінь і навичок студентів, який дозволяє ефективно й об'єктивно оцінювати їх успішність. З цією метою на базі наведеного переліку контрольних запитань для самостійної роботи розроблено комплект тест-завдань, які знаходяться у пакеті навчальної дисципліни.

4 КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ВІДПОВІДЕЙ

За кожну правильну відповідь нараховується 1 бал або 100 %. Відповідь правильна – 100 % (дорівнює оцінці «5»); Відповідь правильна, але є неточності – 75–95 % (дорівнює оцінці «4»); Відповідь не зовсім правильна – 60–74 % (дорівнює оцінці «3»); не правильна відповідь – 0–59 %, відповідь не зараховується.

Тести зі змістовних модулів мають визначену кількість питань, кожну правильну відповідь на питання оцінюють 1 балом, а потім виводиться за набраними балами відсоткове значення правильної відповіді і відповідна оцінка (наприклад, за 30 питань: 30 балів – 100 %, 22,5 балів – 75 %, 18 балів – 60 % і т. п.).

5 ПИТАННЯ ДЛЯ ЗАЛІКУ

Для отримання екзаменаційні з дисципліни необхідно виконати завдання, що закладені в темах для самостійного вивчення навчального матеріалу і змістовних модулів:

Змістовний модуль 1.1 Системи електропостачання та їх основні елементи.

Змістовний модуль 1.2 Автоматизація систем електропостачання міського транспорту.

З метою оцінки якості засвоєння студентами навчального матеріалу під час самостійної роботи та практичного завдання, а також отримання екзамену пропонується перелік контрольних запитань з даної дисципліни відповідно щодо вказаних вище змістовних модулів.

1. Як відбувається процес перетворення електричної енергії на теплових електростанціях?
2. Перелічити основні елементи атомної електростанції.
3. Як відбувається процес виробництва електричної енергії на атомній електростанції?
4. У чому полягають особливості отримання електричної енергії на гідроелектростанціях?
5. Які електротехнічні пристрої виробляють електричну енергію на електростанціях?
6. Що являє собою вітроенергетика?
7. Перелічити основні елементи геліоенергетики.
8. Для чого з'єднують між собою електростанції?
9. За рахунок чого передається електрична енергія від електростанцій?
10. Які види підстанцій застосовуються для прийому і передачі енергії?
11. З якою метою створена система електропостачання?
12. Що відноситься до приймачів і споживачів електричної енергії?
13. Як відбувається розподіл електричної енергії?
14. Що є основним завданням системи електропостачання наземного транспорту?
15. Назвати основні частини схеми електропостачання міського транспорту.
16. В яких випадках використовується централізована та децентралізована схеми живлення тягових підстанцій?
17. В яких режимах працює електротранспорт під час його експлуатації?
18. Чим відрізняється автономний транспортний засіб від неавтономного?
19. Перелічити основні переваги трамвая і тролейбуса перед автобусом.
20. Від чого залежить ефективність роботи метрополітену?

21. Як надходить електроенергія для живлення поїздів метро?
22. За рахунок чого здійснюється струмознімання в метро?
23. Які тягові двигуни використовуються в трамваях, тролейбусах, метро?
24. Якою напругою живляться системи постачання трамвая, тролейбуса, метро?
25. Проаналізувати роботу функціональної електричної схеми системи керування міського електротранспорту.
26. Якими видами релейних захистів обладнані перетворювальні агрегати тягової підстанції?
27. Чим здійснюється облік електроенергії на тягових підстанціях?
28. Які лінії використовуються між телекерованими тяговими підстанціями і районами диспетчерськими пунктами?
29. Яку роль виконує процес телемеханізації?
30. Чим визначається об'єм телемеханічної інформації на один контрольний пункт?
31. Від чого передбачено електропостачання споживачів підземних ліній метрополітену?
32. Що застосовують для прийому та розподілу електроенергії на тягових підстанціях метрополітену?
33. До якої категорії відноситься метрополітен, як приймач електричної енергії?
34. Перелічити основні елементи електропостачання міського транспорту.
35. Що називається контактною мережею міського електротранспорту?
36. Що є основним елементом контактної мережі і якими властивостями він повинен володіти?
37. Які схеми використовують при живленні ліній МЕТ?
38. Як поділяються радіальні схеми в залежності від живлення?
39. В яких випадках використовуються магістральні схеми живлення?
40. Чим відрізняються радіальні схеми живлення від магістральних?
41. В яких випадках застосовуються магістральні і кільцеві схеми живлення?
42. З якою метою відбувається секціонування мережі живлення електротранспорту?
43. Який пристрій застосовується при секціонуванні мережі?
44. Як відрізняються схеми при одно- або двосторонньому живленні ділянок мережі?
45. Де встановлюється пост секціонування для живлення ділянки мережі?

46. Перелічити фактори, що впливають на роботу електротранспорту та інших пристроїв.
47. Що є основними джерелами блукаючих струмів у землі?
48. Як відбувається розподіл блукаючих струмів?
49. Які існують потужності в системі електропостачання?
50. Які пристрої використовуються для компенсації реактивної потужності і різко змінному навантаженні?
51. Які пристрої використовують для встановлення балансу та компенсації реактивної потужності, споживаної приймачами?
52. Що являють собою синхронні компенсатори?
53. Яку роль виконують конденсатори в системі електропостачання?
54. Які пристрої використовуються для корекції коефіцієнта потужності?
55. Чим характеризується робота системи електропостачання міського транспорту?
56. Як здійснюється електропостачання рухомого складу будь-якого призначення?
57. Що відноситься до вихідних даних середніх навантажень ліній та тягових підстанцій при розрахунку?
58. Які провідники застосовуються для наземного міського електротранспорту?
59. Що є основним параметром контактної мережі?
60. Як відбувається живлення контактної рейки метрополітену?
61. Як здійснюється живлення тягових підстанцій міського електротранспорту?
62. Що враховується при перевірочних розрахунках параметрів, які визначають системи внутрішнього електропостачання?
63. Які методи використовуються для розрахунку параметрів ЕРС?
64. Які попередні умови і допущення вводяться для розрахунку миттєвих схем електроживлення мережі?
65. Які основні параметри миттєвої схеми розраховуються при одно- або двосторонньому живленні тягової мережі?
66. У чому полягає сутність методу рівномірно розподіленого навантаження?
67. Що враховує аналітичний метод розрахунку параметрів системи електропостачання мережі?
68. Що є вихідними даними для розрахунку параметрів електропостачання мережі аналітичним методом?
69. Який метод використовується для розрахунку максимальних навантажень ЕРС?

70. За яким методом проводяться розрахунки параметрів ділянок мережі, на яких є рекупераційний рухомий склад?
71. Від чого залежить визначення кількості ЕРС, що працюють в режимі рекуперації на лінії?
72. Яким чином класифікують контактні мережі з контактними підвісками?
73. Які існують види контактних підвісок?
74. Що являють собою контактні мережі з контактною рейкою?
75. Які існують види струмознімання в залежності від розташування контактної поверхні?
76. Що являє собою контактна мережа тролейбуса?
77. Перелічити особливості контактної мережі тролейбуса.
78. Перелічити основні вимоги контактної мережі тролейбуса.
79. Що є основними елементами контактної мережі тролейбуса?
80. Які є найбільш поширеними видами підвісок контактної мережі?
81. Що відноситься до спеціальних частин контактної мережі ?
82. Перелічити основні елементи складної стрілки.
83. З чого складається електрична схема вагона трамвая ?
84. Перелічити основні елементи струмоприймача (пантографу) трамвая.
85. Як функціонує електрифікована система керування стрілкою?
86. Як здійснюється електропостачання метрополітену?
87. Звідки отримують живлення електропоїзда метрополітену?
88. З чого складається тягова мережа метрополітену?
89. Яким пристроєм відбувається струмознімання з контактної рейки вагону метрополітена і де він розташований?
90. Що використовується в якості відсмоктувального стурмопроводу в мережі метрополітену?
91. До яких небажаних наслідків приводить електричний струм, що проходить по проводах контактної мережі?
92. Який струм приймається в якості розрахункового для тягової мережі?
93. Які існують причини, що викликають вимушені режими роботи системи електропостачання мережі?
94. Перелічити причини виникнення КЗ в тяговій мережі?
95. Чому при розрахунках прийнято визначати мінімальне та максимальне значення струмів КЗ.
96. Які існують поширені методи захисту від струму КЗ в мережі?
97. Як здійснюється захист від струмів КЗ за допомогою посту секціонування?

98. Як здійснюється захист у разі виникнення КЗ між контактним проводом і рейкою або між контактними дротами тролейбуса різної полярності в кінці ділянки?
99. Які види захистів застосовуються у сучасних мережах?
100. В яких мережах використовується максимальний струмовий захист?
101. В яких випадках використовується струмове відсічення?
102. В яких випадках застосовується диференційний захист?
103. Для яких мереж використовується дистанційний захист?
104. Які основні елементи входять до дистанційного захисту?
105. Що є поширеними елементами любого захисту електричної системи та мережі?
106. З яких частин складається комплект захисту?
107. Перелічити основні області застосування автоматичних вимикачів?
108. Яку роль в системі електропостачання виконують швидкодіючі запобіжники?
109. Проаналізувати особливості захисту систем з використанням мікропроцесорних пристроїв.
110. Для чого призначена автоматизована система керування енергопостачанням міського електротранспорту (АСКЕ МЕТ)?
111. Що закладено в основу побудови системи автоматизованої АСКЕ МЕТ?
112. Що входить до складу технічних засобів, необхідних для функціонування автоматизованої системи керування (АСК) підстанцій?
113. Які основні завдання виконують підсистеми АСКЕ МЕТ?
114. З яких підрозділів складається диспетчерське керування електропостачанням наземного міського електротранспорту і що до них входить?
115. Перелічити основні функції центрального диспетчерського пункту.
116. Які функції є основними в пакеті програми iFIX?
117. Які основні елементи входять до складу шафи телемеханіки, що знаходиться на центральному диспетчерському пункті?
118. Проаналізуйте процес передачі інформації в локальній мережі.
119. Якими механізмами здатний керувати контролер шафи телемеханіки?
120. Які функції виконує контролер в системі керування?
121. Які існують різновиди та задачі системи диспетчерського керування метрополітену?

122. Що забезпечує автоматизоване керування метрополітену?

123. Які функції виконує стаціонарна цифрова обчислювальна система метрополітену?

124. Що відноситься до основних елементів станційної апаратури метрополітену?

125. Які функції виконує апаратура потягів (ПА) і що використовується для керування рухом потягу метрополітену?

126. Перелічити основні блоки ПА.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

Базова

1. Нем В. К. Електропостачання електричного транспорту / В. К. Нем, О. В. Донець, Н. П. Лукашова // Практикум до лабораторних і практичних занять. – Харків : ХДАМГ, 2009. – 137 с.
2. Павленко Т. П. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. пособие / Т. П. Павленко, В. И Милых // Харьков : НТУ «ХПИ», 2015. – 267 с.
3. Электроснабжение электрического транспорта. Методические указания к выполнению лабораторных работ / В. К. Нем, М. И. Киселев, А. В. Яхлаков, Н. П. Лукашова. – Харьков : ХНАМГ, 2007. – 82 с.
4. Далека В. Х. Електропостачання електричного транспорту / В. Х. Далека, В. К. Нем, В. І. Скуріхін. – Харків : ХНАМГ, 2012. – 168 с.
5. Міліх В. І. Електропостачання промислових підприємств : підручник / В. І. Міліх, Т. П. Павленко // – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – 272 с.
6. Буряк В. М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання: навч. посібник / В. М. Буряк // – Харків : ХДАМГ, 2001. – 386 с.

Допоміжна

7. Технологічні карти з капітального ремонту пристроїв контактної мережі електрифікованих залізниць. Книга 1. Капітальний ремонт. – Київ, 2003. – 456 с.
8. Технологічні карти на роботи по утриманню та ремонту пристроїв контактної мережі електрифікованих залізниць. Книга 2. Технічне обслуговування та поточний ремонт. – Київ, 2001 – 384 с.
9. Правила експлуатації трамвая та тролейбуса зі змінами і доп. – Київ, 2005. – 196 с.

Інформаційні ресурси

10. Цифровий репозиторій ХНУМГ імені О. М. Бекетова [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://eprints.kname.edu.ua>

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до організації самостійної роботи
та проведення практичних занять
із навчальної дисципліни

«ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТРАНСПОРТУ»

*(для студентів усіх форм навчання освітнього рівня бакалавр за спеціальністю
141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка)*

Укладачі: **ПАВЛЕНКО** Тетяна Павлівна,
ЛУКАШОВА Наталя Павлівна

Відповідальний за випуск *Ю. П. Бархасєв*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2019, поз. 156 М.

Підп. до друку 11.12.2019. Формат 60 × 84/16.
Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,3.
Тираж 50 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.