

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки

до самостійної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Обговорено і рекомендовано
на засіданні кафедри
електричної інженерії та
інформаційно-вимірювальних
технологій

Протокол № 5

від 28.05.2024 року

Чернігів 2024

Фізичні основи технологій виробництва електроенергії. Методичні вказівки до самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»/ Укл.: Бодунов В.М., Кулько Т.В. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 18 с.

Укладачі: Бодунов Вадим Миколайович, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій НУ «Чернігівська політехніка»

Кулько Тетяна Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій НУ «Чернігівська політехніка»

Відповідальний за випуск: Приступа Анатолій Леонідович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій НУ «Чернігівська політехніка»

Рецензент: Сатюков Анатолій Іванович, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій НУ «Чернігівська політехніка»

ЗМІСТ

1 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	6
2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ДО РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ.....	8
2.1 Розрахунок гідроенергетичної установки.....	8
2.2 Розрахунок вітроенергетичної установки.....	9
2.3 Розрахунок сонячної енергетичної установки	11
3 ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ	12
4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВИКЛАДАЧЕМ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ	16
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	18

ВСТУП

Мета навчальної дисципліни – вивчення фізичних процесів, закладених в основу технологій виробництва електроенергії.

Під час вивчення дисципліни здобувач вищої освіти (ЗВО) має набути або розширити наступні загальні та фахові компетентності (Кх), передбачені освітньою програмою:

К19. Здатність вирішувати комплексні спеціалізовані задачі і практичні проблеми, пов'язані з проблемами виробництва, передачі та розподілення електричної енергії.

К23. Усвідомлення необхідності постійно розширювати власні знання про нові технології в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці.

К25. Здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні аспекти, що впливають на формування технічних рішень.

Завдання, які вирішуються в процесі вивчення дисципліни:

- вивчення основ теплотехніки та термодинаміки;
- вивчення особливостей будови та функціонування теплових електростанцій;
- визначення особливостей будови та функціонування основних видів гідравлічних електростанцій;
- визначення особливостей будови та функціонування атомних електростанцій;
- вивчення основних альтернативних нетрадиційних джерел енергії.

Очікувані результати навчання з дисципліни

Під час вивчення дисципліни ЗВО має досягти або вдосконалити наступні програмні результати навчання (ПРН), передбачені освітньою програмою:

ПР04. Знати принципи роботи біоенергетичних, вітроенергетичних, гідроенергетичних та сонячних енергетичних установок.

ПР12. Розуміти основні принципи і завдання технічної та екологічної безпеки

ПР13. Розуміти значення традиційної та відновлюваної енергетики для успішного економічного розвитку країни.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен знати: основні типи електростанцій, їх будову та принцип дії;
вміти: розраховувати ефективність енергетичних установок електростанцій.

1 ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Змістовий модуль 1. Основи теплотехніки та термодинаміки

Тема 1. Вступ

Дисципліна та її значення у підготовці спеціалістів електриків. Енергія в житті людей. Енергетика на базі органічних палив.

Тема 2. Основи термодинаміки

Закони ідеального газу. Внутрішня енергія системи. Робота і теплота як форми передачі енергії. Перший закон термодинаміки. Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів. Адіабатний процес. Циклічні оборотні і необоротні процеси. Цикл Карно. Другий закон термодинаміки. Ентропія, ентальпія.

Тема 3. Основи теплопередачі

Теплопровідність, коефіцієнт теплопровідності. Конвективний теплообмін, рівняння тепловіддачі. Теплове випромінювання та його особливості. Теплообмін випромінюванням. Теплообмінні апарати.

Змістовий модуль 2. Енергетичні установки

Тема 1. Гідроелектростанції

Принципова схема отримання електроенергії на гідроелектростанціях. Основне обладнання гідроелектростанції. Конструкція турбіни.

Тема 2. Теплові електростанції

Основні установки теплової електростанції. Принцип роботи котла. Класифікація та хімічний склад палива. Технічна характеристика палива. Продукти горіння та ефективність використання палива. Водопідготовка та очистка пару. Принцип роботи парової турбіни. Експлуатація парових турбін.

Змістовий модуль 3. Ядерна енергетика, мала енергетика

Тема 1. Ядерна енергетика

Поділ важких ядер. Ланцюгові реакції. Ядерні реактори. Реакції термоядерного синтезу, умови їх реалізації. Проблеми керованого

термоядерного синтезу. Класифікація реакторів. Реактори на швидких нейтронах. Конструкція реакторів. Реактори на теплових нейтронах. Безпечність реакторів.

Тема 2. Технології малої енергетики із згоранням органічного палива. Альтернативні нетрадиційні джерела енергії

Двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), дизель-генератори. Когенераційні установки (КГУ). Котли малої потужності. Перетворення сонячної енергії в теплоту, роботу і електричний струм. Сонячні батареї, колектори та акумулятори теплоти. Перетворення сонячної енергії в теплоту, роботу і електричний струм. Конструкція установки перетворення енергії океану в електричну енергію. Принцип роботи магнітогідродинамічного генератора.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ПОЛОЖЕННЯ ДО РОЗРАХУНКУ ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛАХ

2.1 Розрахунок гідроенергетичної установки

Первинною енергією для гідроенергетичних установок на ГЕС із греблею є потенціальна енергія води, яка утворюється внаслідок різниці між верхнім та нижнім б'єфом. Ця затрачена енергія за проміжок часу Δt може бути визначена за формулою

$$E(\Delta t) = m(\Delta t) \cdot g \cdot H, \quad (2.1)$$

де g – прискорення вільного падіння, $9,8 \text{ м/с}^2$;

H – напір (різниця рівнів води верхнього та нижнього б'єфу);

$m(\Delta t)$ - маса води, яка протікає за відповідний проміжок часу Δt через гідроспоруду, кг, що може бути знайдена за формулою

$$m = \rho \cdot V \cdot \Delta t, \quad (2.2)$$

де ρ - густина води, 1000 кг/м^3 ;

V – витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$.

Від рівняння для енергії легко перейти до рівняння з потужністю, прийнявши інтервал часу $\Delta t = 1 \text{ с}$, при цьому ми отримаємо потужність водяного потоку на вході в гідроспоруду

$$N = \rho \cdot V \cdot g \cdot H. \quad (2.3)$$

Електрична потужність гідроенергетичної установки з урахуванням втрат напору в гідроканалі K , а також ККД гідротурбіни η_T (в межах $0,7 \dots 0,88$) та гідрогенератора η_G (в межах $0,9 \dots 0,96$) розраховується за формулою

$$P = N \cdot K \cdot \eta_T \cdot \eta_G. \quad (2.4)$$

Фактичне значення електричної потужності, яка відпускається з шин ГЕС в енергосистему ще менше, оскільки частина виробленої енергії витрачається на власні потреби електростанції. Як правило, ця частка складає декілька відсотків. Її значення залежить від особливостей конструкції ГЕС та встановленої потужності генераторів.

2.2 Розрахунок вітроенергетичної установки

Первинною енергією для вітроенергетичних установок на ВЕС являється кінетична енергія вітрового потоку. Вітровий потік, проходячи через площу, яка охоплюється лопатями вітроколеса, за проміжок часу Δt може бути визначена за формулою

$$E(\Delta t) = \frac{m(\Delta t) \cdot w^2}{2}, \quad (2.5)$$

де w – швидкість вітру, м/с;

$m(\Delta t)$ - маса повітря, кг, яке проходить за відповідний проміжок часу Δt через площу вітроколеса.

За одиницю часу (1 сек) маємо:

$$m = \rho \cdot w \cdot F, \quad (2.6)$$

де ρ - густина повітря

$$\rho = \frac{p}{R \cdot T}, \quad (2.7)$$

де p – атмосферний тиск, Па;

$$R = 287 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{К}} ;$$

T – абсолютна температура, $^\circ\text{К}$;

F – площа, яка охоплюється лопатями вітроколеса:

$$F = \pi \cdot L^2, \quad (2.8)$$

де L – довжина лопаті вітроколеса.

Підставляючи (2.7) та (2.8) в (2.6) отримуємо

$$m = \frac{p \cdot w \cdot \pi \cdot L^2}{R \cdot T}. \quad (2.9)$$

Приймаючи $\Delta t = 1$ с, отримуємо потужність вітрового потоку

$$N = \frac{p \cdot w^3 \cdot \pi \cdot L^2}{2 \cdot R \cdot T}. \quad (2.10)$$

Електрична потужність вітроенергетичної установки з урахуванням ККД вітродвигуна η_v (в межах 0,25..0,35) та еквівалентний ККД вітрогенератора та перетворювача η_e (в межах 0,7..0,85) розраховується за формулою

$$P = N \cdot \eta_v \cdot \eta_e. \quad (2.11)$$

Потужність всієї вітроелектростанції, яка складається з n однотипних вітроустановок

$$P_{BEC} = n \cdot P. \quad (2.12)$$

2.3 Розрахунок сонячної енергетичної установки

В паротурбінних сонячних енергетичних установках енергія сонячного випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, встановленому на башті. Загальна кількість теплоти, яка надходить на парогенератор, складає

$$Q = \eta_e \cdot n \cdot F \cdot I, \quad (2.13)$$

де η_e - коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (знаходиться в межах 0,35...0,5);

n – кількість геліостатів;

F – площа дзеркал одного геліостата, м²;

I – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/ м².

Теоретична потужність паротурбінної енергоустановки

$$P = Q \cdot \eta_T \cdot \eta_e \quad (2.14)$$

де η_T - термічний ККД установки;

η_e - ККД електрогенератора (знаходиться в межах (0,92..0,96)).

В фотоелектричних сонячних електростанціях енергія сонячного випромінювання перетворюється в електричну за рахунок фотоефекту. Потужність фотоелектричної СЕС (ФЕС), яка складається з n однакових модулів, може бути розрахована за формулою

$$P_{\Phi E} = n \cdot F_{\Phi E} \cdot I \cdot \eta_{\Phi E}, \quad (2.15)$$

де $F_{\Phi E}$ - площа поверхні фотоелемента, м²;

$\eta_{\Phi E}$ - ККД фотоелектричного перетворення (знаходиться в межах 0,13..0,22).

3 ВАРІАНТИ ЗАВДАНЬ

Задача 1

Знайти потужність малої ГЕС, якщо витрата води V , напір H . Коефіцієнт втрат напору у відкритому гідроканалі $K=0,85$, ККД гідротурбіни η_T , ККД гідрогенератора η_G . Як зміниться потужність, якщо затвором зменшити витрату води до 70% від номінальної? Вона буде більше, чи менше від 70% номінальної? Чому?

Вихідні дані обираються відповідно до табл. 1

Таблиця 1

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$V, \text{ м}^3/\text{с}$	18	20	22	24	26	28	29	27	25	23	21	10	12	14	16
$H, \text{ м}$	9	8	7	6	7	8	10	12	14	16	18	17	15	13	11
$\eta_T, \%$	79	80	81	82	83	84	85	84	83	82	81	75	76	77	78
$\eta_G, \%$	97	93	95	96	94	97	95	96	93	95	96	94	95	96	95

Продовження таблиці 1

Варіант	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
$V, \text{ м}^3/\text{с}$	27	25	23	21	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	29
$H, \text{ м}$	7	6	7	8	10	12	14	16	18	20	22	13	11	9	8
$\eta_T, \%$	81	80	79	78	77	76	75	74	75	76	77	85	84	83	82
$\eta_G, \%$	96	97	95	96	93	95	96	94	95	96	95	95	97	93	95

Задача 2

Визначити потужність вітрової електростанції, яка складається з n однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса L , швидкість вітру w , ККД вітродвигуна $\eta_в$, електричний ККД установки

(генератора та перетворювача) η_e , температура повітря t , атмосферний тиск p . Вихідні дані надані в табл. 2.

Таблиця 2

Варіант	n , шт	L , м	w , м/с	η_v , %	η_e , %	t , °C	p , кПа
1	13	48	14	30	70	-20	100
2	14	46	15	31	77	-18	102
3	15	44	16	32	76	-16	104
4	16	42	17	33	75	-14	106
5	17	40	18	34	74	-12	108
6	18	38	19	29	73	-10	110
7	19	36	20	30	72	-8	112
8	20	34	19	31	71	-6	114
9	21	32	18	32	72	-4	116
10	22	30	17	33	73	-2	118
11	23	28	16	34	74	0	120
12	24	26	15	29	75	2	98
13	25	24	14	30	76	4	96
14	24	22	13	31	77	6	94
15	23	20	12	32	76	8	92
16	7	60	8	33	75	10	100
17	8	57	9	34	74	12	102
18	9	55	10	30	73	14	104
19	10	53	11	31	72	16	106
20	11	51	12	32	71	18	108
21	12	50	13	33	72	20	110
22	22	18	11	34	73	22	112
23	21	16	10	29	74	24	114
24	20	14	9	30	75	26	116
25	19	12	8	31	76	28	118

Варіант	n , шт	L , м	w , м/с	η_6 , %	η_e , %	t , °C	p , кПа
26	18	10	7	32	77	30	120
27	17	12	8	33	76	-10	98
28	16	14	9	34	75	-20	96
29	15	20	10	33	74	0	94
30	14	30	11	32	73	10	92

Задача 3 Визначити теплоту, яка підводиться геліостатами до встановленого на башті парогенератора паротурбінною сонячною електростанцією, якщо кількість геліостатів n , площа дзеркал одного геліостату F , інтенсивність сонячного випромінювання I , коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання η_6 . Також визначити теоретичну потужність паротурбінної установки, якщо відомий термічний ККД η_T , та ККД парогенератора $\eta_{ng} = 0,85$. Як зміниться потужність СЕС ,якщо замість паротурбінної установки використати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД 15%, які займають таку саму площу, що й дзеркала геліостатів?

Таблиця 3

Варіант	n , шт.	F , м ²	I , Вт/м ²	η_6 , %	η_T , %
1	7000	12	450	49	28
2	7500	13	500	50	29
3	8000	14	550	51	30
4	8500	15	600	52	31
5	9000	8	650	48	32
6	9500	9	700	47	33
7	10000	10	750	49	34
8	10500	11	800	50	35
9	11000	12	850	51	36
10	11500	13	900	52	37
11	12000	14	350	48	38

Варіант	n , шт.	F , м ²	I , Вт/м ²	η_e , %	η_T , %
12	12500	15	400	47	39
13	13000	8	450	49	40
14	8500	9	500	50	28
15	9000	10	550	51	29
16	9500	11	600	52	30
17	10000	12	650	48	31
18	10500	13	700	47	32
19	1000	8	800	49	33
20	1500	9	750	50	34
21	2000	10	700	51	35
22	2500	11	650	52	36
23	3000	12	600	48	37
24	3500	13	550	47	38
25	4000	14	500	49	39
26	4500	15	450	50	40
27	5000	8	400	51	28
28	5500	9	350	52	29
29	6000	10	300	48	30
30	6500	11	400	47	31

4 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ВИКЛАДАЧЕМ УСПІШНОСТІ НАВЧАННЯ

Бали, які викладач визначатиме за кожним видом навчальних занять задля атестації при поточному контролі, повинні бути поділеними за критеріями успішності отримання здобувачем знань за національною та європейською шкалами. Для дотримання диференційованого принципу оцінювання знань при розподілі відведених на певне заняття балів використовується наступне:

- оцінка «відмінно» (100% відведених на певне заняття балів) виставляється здобувачеві, якщо він у повному обсязі виконав (засвоїв) програмний зміст занять, вичерпно та послідовно надав відповіді на всі питання викладача, вмів пов'язувати теорію з практикою, показує знання інформаційних джерел, вміння самостійно аналізувати та тлумачити фахові поняття і застосовувати їх при вирішенні практичних завдань, правильно аргументує висновки, вмів самостійно узагальнювати матеріал і логічно його викладати, не допускаючи значних помилок;

- оцінка «добре» (82% або 75% відносно відведених на певне заняття балів) виставляється, якщо здобувач знає програмний матеріал, має навички аналізу та тлумачення фахових понять, логічно відповідає на поставлені питання, але допускає несуттєві помилки;

- оцінка «задовільно» (66% або 60% відносно відведених на певне заняття балів) відповідає мінімальним вимогам до знань та вмінь здобувача, який виконав (засвоїв) основний програмний зміст занять, але не знає окремих деталей, допускає помилки у відповідях та при формулюванні фахових понять, порушує послідовність у викладені програмного матеріалу, має прогалини в знаннях;

- оцінка «незадовільно» виставляється, якщо здобувач не знає значної частини програмного матеріалу, допускає суттєві помилки, не володіє навичками застосування знань за змістом навчальної дисципліни, які забезпечували б вирішення професійних завдань.

При проведенні підсумкового контролю використовуються вищезначені принципи оцінювання знань та вмінь здобувача, використовуючи в якості базису 40 балів.

Остаточним результатом оцінювання успішності навчання здобувача з навчальної дисципліни в цілому є сума балів, які здобувач отримав за всіма видами занять при поточному та семестровому контролі. За національною та європейською шкалами в ЧНТУ прийнята наступна система оцінок:

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
90 – 100	A	відмінно
82-89	B	добре
75-81	C	
66-74	D	задовільно
60-65	E	
0-59	FX	незадовільно

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Вступ до спеціальності: електричні станції: навч. посіб/уклад.: О. В. Остапчук, Є.І. Бардик, Ю.П. Матеєнко – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 104 с.
2. Соловей О.І. та ін. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: Навчальний посібник. Черкаси, ЧДТУ, 2007. – 483 с.
3. Експлуатація та режими роботи електростанцій: нормальні, допустимі і аномальні режими синхронних генераторів: навч. посіб. / КПІ ім. Ігоря Сікорського – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. - 73 с.
4. Праховник А.В. Мала енергетика: розподілена генерація в системах електропостачання. К.: Освіта України, 2007. - 464 с
5. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії Під ред. А.К. Шидловського – К. Укр. енциклопедичні знання, 2007. – 559 с.
6. Renewable Energy in Power Systems/ Infield D., Freris L. – WILEY, 2008. – 302p.
7. Ackermann T. Wind Power in Power Systems/ Ackermann T. – John Wiley & Sons Ltd, 2005. – 745 p.