

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Луцький національний технічний університет

Кафедра електричної інженерії



ЕНЕРГЕТИЧНІ УСТАНОВКИ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво
спеціальності G3 Електрична інженерія
денної та заочної форм навчання

УДК 621.311(075.8)
П 75

До друку.

Голова вченої ради

факультету архітектури, будівництва та дизайну _____ О.В. Андрійчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозиторій ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету архітектури, будівництва та дизайну ЛНТУ,

протокол № від « 14 » жовтня 2026 року.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри електричної інженерії ЛНТУ, протокол № 3 від « 14 » жовтня 2026 року.

Завідувач кафедри електричної інженерії _____ Ю.В. Грицюк

Укладач: _____ Падалко А. М., кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри електричної інженерії ЛНТУ._

Рецензент: _____ М. В. Романюк, кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії ЛНТУ.

Відповідальний

за випуск: _____ Ю.В. Грицюк, кандидат технічних наук, доцент,
завідувач кафедри електричної інженерії ЛНТУ

Енергетичні установки [Текст] : методичні вказівки до самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності G3 Електрична інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. А. М. Падалко. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 74 с.

Методичні вказівки охоплюють теоретичні відомості, завдання для засвоєння основних положень і набуття практичних навичок з розрахунку енергетичних установок та завдання для здобувачів вищої освіти заочної форми навчання.

Призначене для студентів спеціальності G3 Електрична інженерія денної та заочної форми навчання.

© Падалко А. М., 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1 СТРУКТУРА І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ	5
2 ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ	10
3 ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА.	
ПЕРШИЙ ТА ДРУГИЙ ЗАКОНИ	15
4 ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ	20
5 ВОДЯНА ПАРА ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ.	
МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ.....	25
6 ТЕПЛООБМІН. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА.	
СКЛАДНИЙ ТЕПЛООБМІН	30
7 ПАРОТУРБІННІ, ГАЗОТУРБІННІ Й КОМБІНОВАНІ	
ЕНЕРГОУСТАНОВКИ.....	35
8 ГІДРОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ.....	40
9 ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ	
ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	45
10 НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ	50
ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ	
ОСВІТИ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ	55
ПІДГОТОВКА РОЗРАХУНКОВОГО ЗВІТУ	67
ПЕРЕВІРКА РОЗРАХУНКІВ	67
ЗАПИТАННЯ ДО ЗАЛІКУ	69
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	71

ВСТУП

Самостійна робота є невід'ємною складовою підготовки бакалаврів спеціальності G3 Електрична інженерія. Її мета — сформулювати розуміння енергетичних процесів у технічних установках, виробити здатність обирати математичну модель, коректно застосовувати табличні величини та інтерпретувати розрахунок як інженерне рішення.

В основі матеріалів лежать теми силабуса «Енергетичні установки» на 2026/2027 навчальний рік. Матеріал практичних робіт про графіки енергоспоживання, термодинамічні процеси й енергетичні установки адаптовано до індивідуального опрацювання; завдання інших тем розширено для самостійної діяльності.

Здобувач має навчитися зіставляти виробіток енергії з установленою потужністю, перевіряти енергетичні баланси, виконувати термодинамічні та теплотехнічні розрахунки, оцінювати ефективність турбін і гідроагрегатів, а також обґрунтовувати заходи раціонального використання енергії.

Методичні вказівки розраховано на денну й заочну форми. Для заочної форми передбачено ширше самостійне опрацювання теоретичних положень, аналіз додаткової літератури та оформлення розгорнутого звіту. Числові приклади є навчальними й не підміняють нормативного проєктування.

Академічна доброчесність передбачає самостійність обчислень, пояснення формул, перевірку результатів, належне цитування джерел і зазначення використаного програмного забезпечення.

Для кожного тематичного розділу передбачено однакову навчальну логіку: 1) теоретичні основи; 2) методика самостійного опрацювання; 3) зразок числового розрахунку; 4) варіанти індивідуальних завдань; 5) оформлення та контроль результатів.

1. СТРУКТУРА І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

Теоретичні відомості

Тема 1 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про структура і тенденції розвитку енергетики. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Енергетичний баланс країни та регіону. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Тес, тец, аес, гес, гаес, вес і сес. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Маневровість генерувальних установок. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Коефіцієнт використання встановленої потужності. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Інтеграція накопичувачів в енергосистему. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [7, 8, 9, 14, 15].

1.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $P = E/t$; $E_{річ} = P_{ном} \cdot 8760 \cdot \text{квп}$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

1.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Визначити виробіток двох електростанцій, їх частки у покритті попиту та зміну виробітку після модернізації.

Розрахункова залежність

$$P = E/t; E_{річ} = P_{ном} \cdot 8760 \cdot \text{квп}$$

Покроковий числовий приклад

Потужність 85 МВт, коефіцієнт використання 0,43: $E = 85 \cdot 8760 \cdot 0,43 = 320\,178 \text{ МВт} \cdot \text{год/рік}$.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

1.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	24.5	0.56	87
2	27.5	0.57	91
3	30.5	0.58	95
4	33.5	0.59	99
5	36.5	0.6	103
6	39.5	0.61	107
7	42.5	0.62	111
8	45.5	0.63	115
9	48.5	0.64	119
10	51.5	0.65	123
11	54.5	0.66	127
12	57.5	0.67	131
13	60.5	0.68	135
14	63.5	0.69	139
15	66.5	0.55	143
16	69.5	0.56	147
17	72.5	0.57	151
18	75.5	0.58	155
19	78.5	0.59	159
20	81.5	0.6	163
21	84.5	0.61	167
22	87.5	0.62	171
23	90.5	0.63	175
24	93.5	0.64	179
25	96.5	0.65	183

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

1.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «енергетичний баланс країни та регіону» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «ТЕС, ТЕЦ, АЕС, ГЕС, ГАЕС, ВЕС і СЕС» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «маневреність генерувальних установок» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «коефіцієнт використання встановленої потужності» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «інтеграція накопичувачів в енергосистему» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

2. ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ТА ЕНЕРГОВИКОРИСТАННЯ

Теоретичні орієнтири

Тема 2 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про енергопостачання та енерговикористання. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Баланс енергії об'єкта. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Погодинне й добове навантаження. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Коефіцієнти попиту й одночасності. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Втрати електроенергії. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Питомі витрати на одиницю продукції. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [8, 9, 10, 11, 12, 13].

2.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $W = \sum(P_i \cdot \Delta t_i)$; $P_{\text{сер}} = W/T$; $k_z = P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$; $\eta = W_{\text{кор}}/W_{\text{вх}}$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

2.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Побудувати ступінчастий графік, знайти максимум, середню потужність, коефіцієнт завантаження та економію.

Розрахункова залежність

$$W = \sum(P_i \cdot \Delta t_i); P_{\text{сер}} = W/T; k_z = P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}; \eta = W_{\text{кор}}/W_{\text{вх}}$$

Покроковий числовий приклад

Навантаження 60 кВт протягом 8 год та 110 кВт протягом 4 год: $W = 60 \cdot 8 + 110 \cdot 4 = 920$ кВт·год; $P_{\text{сер}} = 76,67$ кВт за 12 год.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

2.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	26.0	0.56	90
2	29.0	0.57	94
3	32.0	0.58	98
4	35.0	0.59	102
5	38.0	0.6	106
6	41.0	0.61	110
7	44.0	0.62	114
8	47.0	0.63	118
9	50.0	0.64	122
10	53.0	0.65	126
11	56.0	0.66	130
12	59.0	0.67	134
13	62.0	0.68	138
14	65.0	0.69	142
15	68.0	0.55	146
16	71.0	0.56	150
17	74.0	0.57	154
18	77.0	0.58	158
19	80.0	0.59	162
20	83.0	0.6	166
21	86.0	0.61	170
22	89.0	0.62	174
23	92.0	0.63	178
24	95.0	0.64	182
25	98.0	0.65	186

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

2.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «баланс енергії об'єкта» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «погодинне й добове навантаження» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «коефіцієнти попиту й одночасності» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «втрати електроенергії» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «питомі витрати на одиницю продукції» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

3. ТЕХНІЧНА ТЕРМОДИНАМІКА. ПЕРШИЙ ТА ДРУГИЙ ЗАКОНИ

Теоретичні орієнтири

Тема 3 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про технічна термодинаміка. перший та другий закони. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Рівняння стану ідеального газу. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Внутрішня енергія та ентальпія. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Ізобарні, ізохорні, ізотермічні процеси. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Оборотно-адіабатне стискування. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Ентропія та цикл Карно. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [1, 2, 3].

3.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $pV = mRT$; $Q = \Delta U + W$; $\eta_K = 1 - T_c/T_h$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

3.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Виконати блоки А, В, С з поданих 25 варіантів: нагрівання, адіабатне стискання і термічний ККД.

Розрахункова залежність

$$pV = mRT; Q = \Delta U + W; \eta_K = 1 - T_c/T_h$$

Покроковий числовий приклад

Повітря масою 1,2 кг нагрівають за $p = \text{const}$ від 300 до 450 К: $Q = 1,2 \cdot 1,005 \cdot 150 = 180,9$ кДж; $W = 1,2 \cdot 0,287 \cdot 150 = 51,66$ кДж.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

3.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

Для теми 3 вихідні дані взято з наданого практичного заняття «Розрахунок параметрів термодинамічних процесів за першим та другим законами термодинаміки»: блок А — ізобарне нагрівання, блок В — адіабатне стискання, блок С — теплова машина.

№	m, кг	p ₁ , кПа	T ₁ , К	T ₂ , К	p ₂ , кПа
1	1,1	105	288	413	218,4
2	1,2	110	291	421	237,6
3	1,3	115	294	429	257,6
4	1,4	120	297	437	278,4
5	1,5	125	300	445	300,0
6	1,6	130	303	423	322,4
7	1,7	135	306	431	345,6
8	1,8	140	309	439	280,0
9	1,9	145	312	447	301,6
10	2,0	150	315	455	324,0
11	2,1	155	318	463	347,2
12	2,2	160	321	441	371,2
13	2,3	165	324	449	396,0
14	2,4	170	327	457	421,6
15	2,5	175	330	465	448,0
16	2,6	180	333	473	360,0
17	2,7	185	336	481	384,8
18	2,8	190	339	459	410,4
19	2,9	195	342	467	436,8
20	3,0	200	345	475	464,0
21	3,1	205	348	483	492,0
22	3,2	210	351	491	520,8
23	3,3	215	354	499	550,4
24	3,4	220	357	477	440,0
25	3,5	225	360	485	468,0

3.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «рівняння стану ідеального газу» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «внутрішня енергія та ентальпія» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «ізобарні, ізохорні, ізотермічні процеси» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «оборотне адіабатне стискання» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «ентропія та цикл Карно» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

4. ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

Теоретичні орієнтири

Тема 4 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про паливно-енергетичні ресурси. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Тверде, рідке і газоподібне паливо. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Нижча і вища теплота згоряння. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Вологість, зольність та повнота згоряння. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Паливний баланс енергоустановки. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Економія палива через підвищення ккд. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [6, 7, 8, 14].

4.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $m = E_{\text{кор}}/(\eta \cdot Q_{\text{н}})$; $b = m/E_{\text{ел}}$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

4.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Порівняти споживання двох видів палива за однакової корисної енергії, визначити економію палива.

Розрахункова залежність

$$m = E_{\text{кор}}/(\eta \cdot Q_{\text{н}}); b = m/E_{\text{ел}}$$

Покроковий числовий приклад

Для $E_{\text{кор}} = 7200$ МДж, $Q_{\text{н}} = 24$ МДж/кг, $\eta = 0,30$: $m = 7200/(0,30 \cdot 24) = 1000$ кг.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

4.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	29.0	0.56	96
2	32.0	0.57	100
3	35.0	0.58	104
4	38.0	0.59	108
5	41.0	0.6	112
6	44.0	0.61	116
7	47.0	0.62	120
8	50.0	0.63	124
9	53.0	0.64	128
10	56.0	0.65	132
11	59.0	0.66	136
12	62.0	0.67	140
13	65.0	0.68	144
14	68.0	0.69	148
15	71.0	0.55	152
16	74.0	0.56	156
17	77.0	0.57	160
18	80.0	0.58	164
19	83.0	0.59	168
20	86.0	0.6	172
21	89.0	0.61	176
22	92.0	0.62	180
23	95.0	0.63	184
24	98.0	0.64	188
25	101.0	0.65	192

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

4.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «тверде, рідке і газоподібне паливо» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «нижча і вища теплота згоряння» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «вологість, зольність та повнота згоряння» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «паливний баланс енергоустановки» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «економія палива через підвищення ККД» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

5. ВОДЯНА ПАРА ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ. МЕХАНІКА РІДИН І ГАЗІВ

Теоретичні орієнтири

Тема 5 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про водяна пара та її властивості, механіка рідин і газів. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Насичена і перегріта пара. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Ступінь сухості парової суміші. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Діаграми та таблиці водяної пари. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Рівняння неперервності потоку. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Втрати напору та гідравлічний опір. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [1, 2, 3, 4].

5.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $h = hf + x(hg - hf)$; $\dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

5.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

За таблицями водяної пари знайти ентальпію, ступінь сухості; оцінити витрату потоку в трубопроводі.

Розрахункова залежність

$$h = h_f + x(h_g - h_f); \dot{m} = \rho \cdot A \cdot v$$

Покроковий числовий приклад

За $h_f = 762$ кДж/кг, $h_g = 2778$ кДж/кг і $x = 0,92$: $h = 762 + 0,92 \cdot (2778 - 762) = 2616,72$ кДж/кг.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

5.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	30.5	0.56	99
2	33.5	0.57	103
3	36.5	0.58	107
4	39.5	0.59	111
5	42.5	0.6	115
6	45.5	0.61	119
7	48.5	0.62	123
8	51.5	0.63	127
9	54.5	0.64	131
10	57.5	0.65	135
11	60.5	0.66	139
12	63.5	0.67	143
13	66.5	0.68	147
14	69.5	0.69	151
15	72.5	0.55	155
16	75.5	0.56	159
17	78.5	0.57	163
18	81.5	0.58	167
19	84.5	0.59	171
20	87.5	0.6	175
21	90.5	0.61	179
22	93.5	0.62	183
23	96.5	0.63	187
24	99.5	0.64	191
25	102.5	0.65	195

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

5.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «насичена і перегріта пара» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «ступінь сухості парової суміші» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «діаграми та таблиці водяної пари» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «рівняння неперервності потоку» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «втрати напору та гідравлічний опір» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

6. ТЕПЛООБМІН. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА. СКЛАДНИЙ ТЕПЛООБМІН

Теоретичні орієнтири

Тема 6 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про теплообмін. теплопередача. складний теплообмін. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Теплопровідність, конвекція, випромінювання. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Закон фур'є. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Коефіцієнт тепловіддачі. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Послідовні теплові опори. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Теплообмін у промислових теплообмінниках. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [2, 4, 5, 6].

6.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T$; $1/U = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

6.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Обчислити тепловтрати багатошарової стінки і порівняти результати до та після утеплення.

Розрахункова залежність

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T; 1/U = 1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2$$

Покроковий числовий приклад

Для $\alpha_1 = 20$, $\alpha_2 = 10$ Вт/(м²·К), $\delta = 0,20$ м, $\lambda = 0,8$ Вт/(м·К): $R = 0,05 + 0,25 + 0,10 = 0,40$ м²·К/Вт; $U = 2,5$ Вт/(м²·К).

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

6.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	32.0	0.56	102
2	35.0	0.57	106
3	38.0	0.58	110
4	41.0	0.59	114
5	44.0	0.6	118
6	47.0	0.61	122
7	50.0	0.62	126
8	53.0	0.63	130
9	56.0	0.64	134
10	59.0	0.65	138
11	62.0	0.66	142
12	65.0	0.67	146
13	68.0	0.68	150
14	71.0	0.69	154
15	74.0	0.55	158
16	77.0	0.56	162
17	80.0	0.57	166
18	83.0	0.58	170
19	86.0	0.59	174
20	89.0	0.6	178
21	92.0	0.61	182
22	95.0	0.62	186
23	98.0	0.63	190
24	101.0	0.64	194
25	104.0	0.65	198

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

6.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «теплопровідність, конвекція, випромінювання» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «закон Фур'є» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «коефіцієнт тепловіддачі» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «послідовні теплові опори» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «теплообмін у промислових теплообмінниках» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

7. ПАРОТУРБІННІ, ГАЗОТУРБІННІ Й КОМБІНОВАНІ ЕНЕРГОУСТАНОВКИ

Теоретичні орієнтири

Тема 7 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про паротурбінні, газотурбінні й комбіновані енергоустановки. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Цикл ренкіна і компоненти паротурбінної установки. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Цикл брайтона. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Компресор, камера згоряння, турбіна. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Котел-утилізатор і парогазова установка. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Питома витрата палива. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [3, 6, 8].

7.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $\eta_{\text{ел}} = P_{\text{ел}} / (\dot{m}_{\text{пал}} \cdot Q_{\text{н}})$; $P_{\text{т}} = \dot{m} \cdot (h_{\text{вх}} - h_{\text{вих}}) \cdot \eta_{\text{м}}$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

7.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Розрахувати потужність турбіни, витрату пари або палива та приріст ККД комбінованої установки.

Розрахункова залежність

$$\eta_{\text{ел}} = P_{\text{ел}} / (\dot{m}_{\text{пал}} \cdot Q_{\text{н}}); P_{\text{т}} = \dot{m} \cdot (h_{\text{вх}} - h_{\text{вих}}) \cdot \eta_{\text{м}}$$

Покроковий числовий приклад

Для витрати пари 8 кг/с, перепаду ентальпії 600 кДж/кг і механічного ККД 0,96: $P_{\text{т}} = 8 \cdot 600 \cdot 0,96 = 4608$ кВт.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

7.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	33.5	0.56	105
2	36.5	0.57	109
3	39.5	0.58	113
4	42.5	0.59	117
5	45.5	0.6	121
6	48.5	0.61	125
7	51.5	0.62	129
8	54.5	0.63	133
9	57.5	0.64	137
10	60.5	0.65	141
11	63.5	0.66	145
12	66.5	0.67	149
13	69.5	0.68	153
14	72.5	0.69	157
15	75.5	0.55	161
16	78.5	0.56	165
17	81.5	0.57	169
18	84.5	0.58	173
19	87.5	0.59	177
20	90.5	0.6	181
21	93.5	0.61	185
22	96.5	0.62	189
23	99.5	0.63	193
24	102.5	0.64	197
25	105.5	0.65	201

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

7.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «цикл Ренкіна і компоненти паротурбінної установки» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «цикл Брайтона» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «компресор, камера згоряння, турбіна» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «котел-утилізатор і парогазова установка» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «питома витрата палива» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

8. ГІДРОЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ

Теоретичні орієнтири

Тема 8 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про гідроелектричні станції. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Класифікація гідроелектростанцій. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Напір і витрата води. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Гідротурбіни та їх режими. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Гаес і добове регулювання. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Екологічні та водогосподарські обмеження. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [7, 8, 9].

8.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

8.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Для різних напорів і витрат води оцінити потужність та енергію гідроагрегату, сезонні обмеження.

Розрахункова залежність

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \cdot \eta$$

Покроковий числовий приклад

За $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, $Q = 12 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 25 \text{ м}$, $\eta = 0,90$: $P = 2,6487 \text{ МВт}$.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

8.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	35.0	0.56	108
2	38.0	0.57	112
3	41.0	0.58	116
4	44.0	0.59	120
5	47.0	0.6	124
6	50.0	0.61	128
7	53.0	0.62	132
8	56.0	0.63	136
9	59.0	0.64	140
10	62.0	0.65	144
11	65.0	0.66	148
12	68.0	0.67	152
13	71.0	0.68	156
14	74.0	0.69	160
15	77.0	0.55	164
16	80.0	0.56	168
17	83.0	0.57	172
18	86.0	0.58	176
19	89.0	0.59	180
20	92.0	0.6	184
21	95.0	0.61	188
22	98.0	0.62	192
23	101.0	0.63	196
24	104.0	0.64	200
25	107.0	0.65	204

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

8.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «класифікація гідроелектростанцій» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «напір і витрата води» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «гідротурбіни та їх режими» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «ГАЕС і добове регулювання» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «екологічні та водогосподарські обмеження» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

9. ОРГАНІЗАЦІЙНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ

Теоретичні орієнтири

Тема 9 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про організаційні заходи підвищення енергоефективності. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Енергетичний аудит. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Моніторинг і базова лінія енергоспоживання. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Організаційні та технічні заходи. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Абсолютна й відносна економія енергії. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Прості критерії економічної ефективності. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [9, 10, 11].

9.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $\Delta W = W_{\text{баз}} - W_{\text{нов}}$; $\text{Ток} = \text{Сінв} / \text{Секон}$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

9.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Порівняти два енергоощадні заходи з обов'язковим зазначенням меж балансу та інвестицій.

Розрахункова залежність

$$\Delta W = W_{\text{баз}} - W_{\text{нов}}; \text{Ток} = C_{\text{інв}}/\text{Секон}$$

Покроковий числовий приклад

Споживання скоротили з 200 до 165 МВт·год/рік: економія 35 МВт·год (17,5%). За витратах 280 тис. грн і щорічній економії 70 тис. грн простий строк окупності 4 роки.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

9.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	36.5	0.56	111
2	39.5	0.57	115
3	42.5	0.58	119
4	45.5	0.59	123
5	48.5	0.6	127
6	51.5	0.61	131
7	54.5	0.62	135
8	57.5	0.63	139
9	60.5	0.64	143
10	63.5	0.65	147
11	66.5	0.66	151
12	69.5	0.67	155
13	72.5	0.68	159
14	75.5	0.69	163
15	78.5	0.55	167
16	81.5	0.56	171
17	84.5	0.57	175
18	87.5	0.58	179
19	90.5	0.59	183
20	93.5	0.6	187
21	96.5	0.61	191
22	99.5	0.62	195
23	102.5	0.63	199
24	105.5	0.64	203
25	108.5	0.65	207

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

9.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «енергетичний аудит» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «моніторинг і базова лінія енергоспоживання» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «організаційні та технічні заходи» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «абсолютна й відносна економія енергії» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «прості критерії економічної ефективності» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

10. НЕТРАДИЦІЙНІ ТА ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Теоретичні орієнтири

Тема 10 присвячена формуванню базових інженерних уявлень про нетрадиційні та відновлювані джерела енергії. Під час вивчення теми необхідно розрізняти параметри стану, номінальні та фактичні показники, енергію і потужність, а також уважно встановлювати межі розрахункового об'єкта.

1. Сонячна фотоелектрична генерація. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

2. Вітрові енергетичні установки. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

3. Біоенергетика і геотермальна енергія. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

4. Накопичувачі та гібридні енергосистеми. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

5. Мінливість генерації та прогнозування. Для опанування цього питання слід сформулювати основні визначення, описати фізичні процеси та розглянути один приклад застосування в електричній інженерії. Визначте, які величини можна виміряти безпосередньо, а які потрібно обчислити за математичною моделлю.

Узагальнення: реальна робота енергетичної установки характеризується змінними режимами, технологічними обмеженнями й втратами. Тому обчислення за ідеалізованою формулою є початковою оцінкою, яку необхідно зіставляти з технічними характеристиками та умовами роботи обладнання.

Основна література до теми – [8, 14, 15].

10.1. Методичні рекомендації

Перш ніж переходити до формул, складіть коротку структурну схему об'єкта: джерело енергії, перетворювальна частина, вихідна корисна енергія, втрати та межі досліджуваної системи. Ця схема допомагає уникати подвійного обліку потоків.

Послідовність самостійного дослідження

1. Описати технічну установку та межі енергетичного контуру.
2. Уточнити припущення: стаціонарність процесу, сталі властивості середовища, відсутність або наявність окремих втрат.
3. Записати вихідні дані і перетворити величини до узгоджених одиниць.
4. Обрати рівняння, що безпосередньо відповідає фізичній постановці: $E = P_{\text{ном}} \cdot t \cdot k$; $E_{\text{акб}} = P_{\text{наван}} \cdot \tau / \eta$.
5. Провести розрахунок із зазначенням проміжних результатів та розмірностей.
6. Виконати фізичну перевірку: додатність потоку, межі коефіцієнтів, узгодження балансу.
7. Оцінити чутливість результату при зміні одного вихідного параметра на 10%.
8. Сформулювати інженерний висновок із можливим заходом покращення показників.

Типові помилки

Найчастіші неточності — підстановка температури в градусах Цельсія замість Кельвінів у термодинамічних співвідношеннях, змішування кВт і кВт·год, використання процентів замість часток одиниці, неврахування коефіцієнта корисної дії та механічне застосування довідкових величин поза їхнім діапазоном.

Контроль якості розв'язку передбачає повторний розрахунок із незалежною перевіркою за граничними випадками. Наприклад, за нульового енергетичного потоку робота установки має бути нульовою; за більших втрат корисний результат не повинен збільшуватися.

10.2. Приклад інженерного розрахунку

Постановка задачі

Порівняти СЕС і ВЕС із накопичувачем; оцінити виробіток та тривалість покриття навантаження.

Розрахункова залежність

$$E = P_{\text{ном}} \cdot t \cdot k; E_{\text{акб}} = P_{\text{наван}} \cdot \tau / \eta$$

Покроковий числовий приклад

Для сонячної установки 25 кВт з еквівалентом 1150 год повної потужності річний виробіток $E = 28\,750$ кВт·год.

Рекомендована структура розв'язання: спочатку записати «Дано», потім формулу в символічній формі, після цього підставити числові значення в узгоджених одиницях. Отриманий числовий результат округлювати лише на заключному етапі.

Фізична інтерпретація. Отримане значення необхідно зіставити з технологічними можливостями відповідного типу обладнання. Якщо у формулі використано ККД, перевірте, чи задається він часткою одиниці, а не відсотками. Відмітьте, які параметри чинять найбільший вплив на результат.

Самостійний аналіз чутливості

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 5% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 10% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 15% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

Додатковий крок: збільште провідний параметр моделі на 20% при незмінних інших даних; визначте нове значення цільової величини, її абсолютну й відносну зміну. Поясніть, чи є залежність лінійною в межах прийнятих припущень.

10.3. Індивідуальні розрахункові завдання

Варіант визначається викладачем. Для кожного варіанта потрібно виконати базовий розрахунок, перевірити одиниці, оцінити один альтернативний режим та письмово обґрунтувати відмінність між режимами.

№	Параметр А	Параметр Б	Параметр В
1	38.0	0.56	114
2	41.0	0.57	118
3	44.0	0.58	122
4	47.0	0.59	126
5	50.0	0.6	130
6	53.0	0.61	134
7	56.0	0.62	138
8	59.0	0.63	142
9	62.0	0.64	146
10	65.0	0.65	150
11	68.0	0.66	154
12	71.0	0.67	158
13	74.0	0.68	162
14	77.0	0.69	166
15	80.0	0.55	170
16	83.0	0.56	174
17	86.0	0.57	178
18	89.0	0.58	182
19	92.0	0.59	186
20	95.0	0.6	190
21	98.0	0.61	194
22	101.0	0.62	198
23	104.0	0.63	202
24	107.0	0.64	206
25	110.0	0.65	210

Умовні параметри А, Б і В використовувати відповідно як базову величину, коефіцієнт ефективності та тривалість/режимний параметр. Конкретний фізичний зміст величин обрати за постановкою теми; перед розрахунком потрібно письмово вказати ці величини та їх одиниці.

10.4. Контроль, оформлення та поглиблене завдання

Питання для самоконтролю

1. Поясніть фізичний зміст поняття «сонячна фотоелектрична генерація» та наведіть приклад його використання.

2. Поясніть фізичний зміст поняття «вітрові енергетичні установки» та наведіть приклад його використання.

3. Поясніть фізичний зміст поняття «біоенергетика і геотермальна енергія» та наведіть приклад його використання.

4. Поясніть фізичний зміст поняття «накопичувачі та гібридні енергосистеми» та наведіть приклад його використання.

5. Поясніть фізичний зміст поняття «мінливість генерації та прогнозування» та наведіть приклад його використання.

- Які припущення лежать в основі використаної математичної моделі?
- Як перевірити розмірність отриманого результату?
- Які втрати енергії модель не враховує безпосередньо?
- Як зміниться результат при збільшенні ключового параметра на 10%?
- Які технічні чи екологічні обмеження мають значення для реального об'єкта?

Звітні матеріали

Здобувач подає: мету та короткі теоретичні положення; вихідні дані свого варіанта; вибір розрахункових співвідношень; числове розв'язання; таблицю підсумкових значень; перевірку фізичного змісту; висновок на 5–8 речень і використані джерела. За потреби до звіту включають графік або схему енергетичного контуру.

Поглиблене завдання для заочної форми

Оберіть технічний приклад із реального або описаного в літературі енергооб'єкта. Порівняйте два режими його роботи, обґрунтуйте різницю показників, виконайте аналіз чутливості та поясніть, які додаткові вимірювання або документи потрібні для достовірного техніко-економічного рішення.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧІВ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ

Контрольна робота складається з п'яти розрахункових задач за різними темами дисципліни. Номер варіанта визначає викладач. У кожній задачі необхідно навести вихідні дані, розрахункову формулу, підстановку з одиницями вимірювання, перевірку результату та короткий висновок.

Варіант 1

1. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 42 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.325. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
2. Термодинаміка. 1.44 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 19 °С до 112 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
3. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 82 мм рухається вода зі швидкістю 1.04 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
4. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 18.6 МВт і має тепловий ККД 0.292. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
5. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 18900 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 10 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.3 грн/(кВт·год).

Варіант 2

1. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 93 кВт, наступні 8 год — 51 кВт, решту часу доби — 24 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
2. Паливо. Котельня має забезпечити 304 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 22.4 МДж/кг та ККД 0.786. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
3. Теплопередача. Через стінку площею 13.0 м², товщиною 0.184 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 24 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
4. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 18 м та витрати води 23.6 м³/с; ККД 0.824. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
5. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 110 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.16 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.

Варіант 3

1. Термодинаміка. 1.52 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 21 °С до 116 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
2. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 86 мм рухається вода зі швидкістю 1.12 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
3. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 19.8 МВт і має тепловий ККД 0.296. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
4. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 19700 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 12 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.5 грн/(кВт·год).
5. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 46 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.335. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.

Варіант 4

1. Паливо. Котельня має забезпечити 328 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 22.8 МДж/кг та ККД 0.792. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
2. Теплопередача. Через стінку площею 14.0 м², товщиною 0.188 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 26 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
3. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 20 м та витрати води 25.2 м³/с; ККД 0.828. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
4. Відроджована енергетика. СЕС встановленою потужністю 120 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.22 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
5. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 101 кВт, наступні 8 год — 57 кВт, решту часу доби — 28 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).

Варіант 5

1. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 90 мм рухається вода зі швидкістю 1.20 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
2. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 21.0 МВт і має тепловий ККД 0.300. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
3. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 20500 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 14 %. Визначити місячну та річну

економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.2 грн/(кВт·год).

4. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 50 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.345. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
5. Термодинаміка. 1.60 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 23 °С до 120 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.

Варіант 6

1. Теплопередача. Через стінку площею 15.0 м², товщиною 0.192 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 28 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
2. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 22 м та витрати води 26.8 м³/с; ККД 0.832. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
3. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 130 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.28 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
4. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 109 кВт, наступні 8 год — 63 кВт, решту часу доби — 32 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
5. Паливо. Котельня має забезпечити 352 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 23.2 МДж/кг та ККД 0.798. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.

Варіант 7

1. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 22.2 МВт і має тепловий ККД 0.304. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
2. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 21300 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 16 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.4 грн/(кВт·год).
3. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 54 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.355. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
4. Термодинаміка. 1.68 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 25 °С до 124 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
5. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 94 мм рухається вода зі швидкістю 1.28 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.

Варіант 8

1. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напором 24 м та витрати води $28.4 \text{ м}^3/\text{с}$; ККД 0.836. За $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ та $g = 9.81 \text{ м/с}^2$ визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
2. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 140 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.34 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
3. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 117 кВт, наступні 8 год — 69 кВт, решту часу доби — 36 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
4. Паливо. Котельня має забезпечити 376 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 23.6 МДж/кг та ККД 0.804. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
5. Теплопередача. Через стінку площею 16.0 м^2 , товщиною 0.196 м і теплопровідністю $0.75 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ передається теплота за різниці температур 30 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.

Варіант 9

1. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 22100 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 9 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.6 грн/(кВт·год).
2. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 58 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.365. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
3. Термодинаміка. 1.76 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 27°C до 128°C . Прийняти $c_v = 0.718 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{К)}$. Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
4. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 98 мм рухається вода зі швидкістю 1.36 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м^3 .
5. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 23.4 МВт і має тепловий ККД 0.308. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.

Варіант 10

1. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 150 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.40 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
2. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 125 кВт, наступні 8 год — 75 кВт, решту часу доби — 40 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).

3. Паливо. Котельня має забезпечити 400 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 24.0 МДж/кг та ККД 0.810. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
4. Теплопередача. Через стінку площею 17.0 м², товщиною 0.200 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 32 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
5. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 26 м та витрати води 30.0 м³/с; ККД 0.840. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.

Варіант 11

1. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 62 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.375. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
2. Термодинаміка. 1.84 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 29 °С до 132 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
3. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 102 мм рухається вода зі швидкістю 1.44 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
4. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 24.6 МВт і має тепловий ККД 0.312. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
5. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 22900 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 11 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.3 грн/(кВт·год).

Варіант 12

1. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 133 кВт, наступні 8 год — 81 кВт, решту часу доби — 44 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).
2. Паливо. Котельня має забезпечити 424 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 24.4 МДж/кг та ККД 0.816. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
3. Теплопередача. Через стінку площею 18.0 м², товщиною 0.204 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 34 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
4. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 28 м та витрати води 31.6 м³/с; ККД 0.844. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
5. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 160 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.46 на добу та

системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.

Варіант 13

1. Термодинаміка. 1.92 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 31 °С до 136 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
2. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 106 мм рухається вода зі швидкістю 1.52 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
3. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 25.8 МВт і має тепловий ККД 0.316. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
4. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 23700 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 13 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.5 грн/(кВт·год).
5. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 66 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.385. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.

Варіант 14

1. Паливо. Котельня має забезпечити 448 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 24.8 МДж/кг та ККД 0.822. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
2. Теплопередача. Через стінку площею 19.0 м², товщиною 0.208 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 36 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
3. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 30 м та витрати води 33.2 м³/с; ККД 0.848. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
4. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 170 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.52 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
5. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 141 кВт, наступні 8 год — 87 кВт, решту часу доби — 48 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).

Варіант 15

1. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 110 мм рухається вода зі швидкістю 1.60 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
2. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 27.0 МВт і має тепловий ККД 0.320. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.

3. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 24500 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 15 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.2 грн/(кВт·год).
4. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 70 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.395. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
5. Термодинаміка. 2.00 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 33 °С до 140 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.

Варіант 16

1. Теплопередача. Через стінку площею 20.0 м², товщиною 0.212 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 38 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
2. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 32 м та витрати води 34.8 м³/с; ККД 0.852. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
3. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 180 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.58 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
4. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 149 кВт, наступні 8 год — 93 кВт, решту часу доби — 52 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).
5. Паливо. Котельня має забезпечити 472 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 25.2 МДж/кг та ККД 0.828. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.

Варіант 17

1. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 28.2 МВт і має тепловий ККД 0.324. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
2. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 25300 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 17 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.4 грн/(кВт·год).
3. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 74 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.405. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
4. Термодинаміка. 2.08 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 35 °С до 144 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.

5. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 114 мм рухається вода зі швидкістю 1.68 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

Варіант 18

1. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 34 м та витрати води $36.4 \text{ м}^3/\text{с}$; ККД 0.856. За $\rho = 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ та $g = 9.81 \text{ м}/\text{с}^2$ визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
2. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 190 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.64 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
3. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 157 кВт, наступні 8 год — 99 кВт, решту часу доби — 56 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
4. Паливо. Котельня має забезпечити 496 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива $25.6 \text{ МДж}/\text{кг}$ та ККД 0.834. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
5. Теплопередача. Через стінку площею 21.0 м^2 , товщиною 0.216 м і теплопровідністю $0.75 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ передається теплота за різниці температур 40 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.

Варіант 19

1. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 26100 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 10 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.6 грн/(кВт·год).
2. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 78 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.415. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
3. Термодинаміка. 2.16 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 37°C до 148°C . Прийняти $c_v = 0.718 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
4. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 118 мм рухається вода зі швидкістю 1.76 м/с. Обчислити об'ємну витрату ($\text{м}^3/\text{с}$ і $\text{м}^3/\text{год}$) та масову витрату при густині $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$.
5. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 29.4 МВт і має тепловий ККД 0.328. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.

Варіант 20

1. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 200 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.70 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.

2. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 165 кВт, наступні 8 год — 105 кВт, решту часу доби — 60 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).
3. Паливо. Котельня має забезпечити 520 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 26.0 МДж/кг та ККД 0.840. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
4. Теплопередача. Через стінку площею 22.0 м², товщиною 0.220 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 42 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
5. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 36 м та витрати води 38.0 м³/с; ККД 0.860. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.

Варіант 21

1. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 82 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.425. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
2. Термодинаміка. 2.24 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 39 °С до 152 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
3. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 122 мм рухається вода зі швидкістю 1.84 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
4. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 30.6 МВт і має тепловий ККД 0.332. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
5. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 26900 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 12 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.3 грн/(кВт·год).

Варіант 22

1. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 173 кВт, наступні 8 год — 111 кВт, решту часу доби — 64 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).
2. Паливо. Котельня має забезпечити 544 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 26.4 МДж/кг та ККД 0.846. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
3. Теплопередача. Через стінку площею 23.0 м², товщиною 0.224 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 44 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
4. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 38 м та витрати води 39.6 м³/с; ККД 0.864. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.

5. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 210 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.76 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.

Варіант 23

1. Термодинаміка. 2.32 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 41 °С до 156 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
2. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 126 мм рухається вода зі швидкістю 1.92 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
3. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 31.8 МВт і має тепловий ККД 0.336. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
4. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 27700 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 14 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.5 грн/(кВт·год).
5. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 86 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.435. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.

Варіант 24

1. Паливо. Котельня має забезпечити 568 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 26.8 МДж/кг та ККД 0.852. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
2. Теплопередача. Через стінку площею 24.0 м², товщиною 0.228 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 46 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
3. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 40 м та витрати води 41.2 м³/с; ККД 0.868. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
4. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 220 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.82 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
5. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 181 кВт, наступні 8 год — 117 кВт, решту часу доби — 68 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).

Варіант 25

1. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 130 мм рухається вода зі швидкістю 2.00 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.

2. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 33.0 МВт і має тепловий ККД 0.340. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
3. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 28500 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 16 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.2 грн/(кВт·год).
4. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 90 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.445. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
5. Термодинаміка. 2.40 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 43 °С до 160 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.

Варіант 26

1. Теплопередача. Через стінку площею 25.0 м², товщиною 0.232 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 48 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
2. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 42 м та витрати води 42.8 м³/с; ККД 0.872. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
3. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 230 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.88 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
4. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 189 кВт, наступні 8 год — 123 кВт, решту часу доби — 72 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
5. Паливо. Котельня має забезпечити 592 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 27.2 МДж/кг та ККД 0.858. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.

Варіант 27

1. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 34.2 МВт і має тепловий ККД 0.344. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.
2. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 29300 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 9 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.4 грн/(кВт·год).
3. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 94 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.455. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.

4. Термодинаміка. 2.48 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 45 °С до 164 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
5. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 134 мм рухається вода зі швидкістю 2.08 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.

Варіант 28

1. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 44 м та витрати води 44.4 м³/с; ККД 0.876. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.
2. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 240 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 3.94 на добу та системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.
3. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 7 год споживає 197 кВт, наступні 8 год — 129 кВт, решту часу доби — 76 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{сер}/P_{max}$).
4. Паливо. Котельня має забезпечити 616 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 27.6 МДж/кг та ККД 0.864. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
5. Теплопередача. Через стінку площею 26.0 м², товщиною 0.236 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 50 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.

Варіант 29

1. Енергоефективність. Підприємство щомісяця витрачає 30100 кВт·год. Після модернізації споживання зменшується на 11 %. Визначити місячну та річну економію енергії і вартість річної економії за умовного тарифу 4.6 грн/(кВт·год).
2. Структура енергетики. Електростанція встановленою потужністю 98 МВт працює з коефіцієнтом використання потужності 0.465. Визначити річний виробіток електроенергії (8760 год) та його зміну при збільшенні коефіцієнта на 0,04.
3. Термодинаміка. 2.56 кг повітря нагрівають за сталого об'єму від 47 °С до 168 °С. Прийняти $c_v = 0,718$ кДж/(кг·К). Визначити зміну внутрішньої енергії, теплоту та роботу газу.
4. Пара та гідравліка. По трубопроводу діаметром 138 мм рухається вода зі швидкістю 2.16 м/с. Обчислити об'ємну витрату (м³/с і м³/год) та масову витрату при густині 1000 кг/м³.
5. Турбоустановка. Турбіна отримує теплоту з потужністю 35.4 МВт і має тепловий ККД 0.348. Визначити корисну електричну потужність (без додаткових втрат) і відведену теплову потужність.

Варіант 30

1. Відновлювана енергетика. СЕС встановленою потужністю 250 кВт має середню еквівалентну кількість повних сонячних годин 4.00 на добу та

системний коефіцієнт продуктивності 0,82. Розрахувати добовий і річний виробіток (365 діб) та зміну за зниження коефіцієнта до 0,76.

2. Енергоспоживання. Об'єкт протягом 9 год споживає 205 кВт, наступні 8 год — 135 кВт, решту часу доби — 80 кВт. Визначити добове споживання, середню потужність і коефіцієнт нерівномірності ($P_{\text{сер}}/P_{\text{max}}$).
3. Паливо. Котельня має забезпечити 640 ГДж корисної теплоти за нижчої теплоти згоряння палива 28.0 МДж/кг та ККД 0.870. Визначити витрату палива (кг) і економію при підвищенні ККД на 0,03.
4. Теплопередача. Через стінку площею 27.0 м², товщиною 0.240 м і теплопровідністю 0,75 Вт/(м·К) передається теплота за різниці температур 52 К. Розрахувати тепловий потік за законом Фур'є та його зміну при збільшенні товщини на 20%.
5. Гідроелектростанція. Гідроагрегат працює за напору 46 м та витрати води 46.0 м³/с; ККД 0.880. За $\rho = 1000$ кг/м³ та $g = 9,81$ м/с² визначити електричну потужність і добовий виробіток при 18 год роботи.

ПІДГОТОВКА РОЗРАХУНКОВОГО ЗВІТУ

Титульна частина: назва університету та дисципліни; тема, група, прізвище, варіант, дата.

Постановка задачі: вихідні величини з одиницями, технічна схема, перелік припущень.

Теоретичний розділ: формули з поясненням кожного символу й джерела довідкових коефіцієнтів.

Розрахункова частина: підстановки, проміжні результати, таблиці та графіки, якщо потрібні.

Перевірка: баланс енергії, діапазон ККД, граничні значення, точність округлення.

Висновок: досягнута мета, отримані кількісні результати, інженерна інтерпретація і обмеження моделі.

Список використаних джерел: бібліографічний опис та посилання для електронних ресурсів.

Форма таблиці результатів

Величина	Позначення	Значення	Одиниця
Вхідна енергія	_____	_____	_____
Корисна енергія	_____	_____	_____
Втрати	_____	_____	_____
ККД	_____	_____	_____
Питома витрата	_____	_____	_____
Відносна зміна	_____	_____	_____

Дані не слід округлювати до завершення розрахунку; у звіті обов'язково зазначати кількість значущих цифр, адекватну точності початкових параметрів.

ПЕРЕВІРКА РОЗРАХУНКІВ

Потужність: 1 кВт = 1000 Вт; 1 МВт = 1000 кВт.

Енергія: 1 кВт·год = 3,6 МДж; 1 МВт·год = 3600 МДж.

Температура: $T(K) = t(^{\circ}C) + 273,15$.

Тиск: 1 МПа = 1000 кПа; 1 бар = 100 кПа.

Перший закон для замкненої системи за прийнятого знака роботи розширення: $Q = \Delta U + W$.

Оцінка ККД: для звичайної теплової машини між двома джерелами $\eta \leq 1 - T_c/T_h$.

Гідропотужність: $P(\text{Вт}) = \rho(\text{кг/м}^3) \cdot 9,81(\text{м/с}^2) \cdot Q(\text{м}^3/\text{с}) \cdot H(\text{м}) \cdot \eta$.

Паливний баланс: $E_{\text{кор}} = m_{\text{пал}} \cdot Q_n \cdot \eta$.

Перевірка за співвідношенням безрозмірних величин: частки одиниці не змішувати із відсотками.

Критерії орієнтовного оцінювання

Критерій	Частка
Постановка і вихідні дані	15%
Формули та обґрунтування	20%
Числова правильність	35%
Перевірка та інтерпретація	20%
Оформлення і джерела	10%

Наведений розподіл є методичною пропозицією: остаточні правила оцінювання визначаються чинним силабусом та викладачем.

ЗАПИТАННЯ ДО ЗАЛІКУ

1. Структура і тенденції розвитку енергетики: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

11. Наведіть інженерний приклад з теми 1, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

2. Енергопостачання та енерговикористання: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

12. Наведіть інженерний приклад з теми 2, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

3. Технічна термодинаміка. Перший та другий закони: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

13. Наведіть інженерний приклад з теми 3, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

4. Паливно-енергетичні ресурси: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

14. Наведіть інженерний приклад з теми 4, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

5. Водяна пара та її властивості. Механіка рідин і газів: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

15. Наведіть інженерний приклад з теми 5, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

6. Теплообмін. Теплопередача. Складний теплообмін: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

16. Наведіть інженерний приклад з теми 6, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

7. Паротурбінні, газотурбінні й комбіновані енергоустановки: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

17. Наведіть інженерний приклад з теми 7, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

8. Гідроелектричні станції: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

18. Наведіть інженерний приклад з теми 8, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

9. Організаційні заходи підвищення енергоефективності: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

19. Наведіть інженерний приклад з теми 9, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

10. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: поясніть основні фізичні параметри, вкажіть розрахункову залежність та назвіть два практичні обмеження застосування моделі.

20. Наведіть інженерний приклад з теми 10, запишіть енергетичний баланс і запропонуйте спосіб перевірки обчислень.

Самостійну роботу вважають виконаною, якщо студент може без додаткових підказок описати розрахункову модель, правильно пояснити одиниці та якісно інтерпретувати отримані числові показники.

Рекомендована література

1. Вишне夫ська Ю. П., Козачук О. В. Технічна термодинаміка. Практикум: навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 60 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/53768> (дата звернення: 08.10.2026).
2. Соломаха А. С., Притула Н. О., Середа В. В., Ляшенко А. М. Технічна термодинаміка. Лабораторний практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 119 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74704> (дата звернення: 08.10.2026).
3. Дубровська В. В., Шкляр В. І. Визначення параметрів робочого тіла в циклі Ренкіна в програмному середовищі «HS-diagram». Комп'ютерний практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 30 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74371> (дата звернення: 08.10.2026).
4. Гулієнко С. В., Степанюк А. Р. Процеси перенесення у суцільних середовищах. Практикум : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 128 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/65934> (дата звернення: 08.10.2026).
5. Дуда Б. І., Подиман Г. С. Процеси та апарати хімічної технології-1. Теплові процеси : лабораторний практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 76 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66849> (дата звернення: 08.10.2026).
6. Шовкалюк М. М. Теплотехнічне обладнання та енергоефективні технології виробництва теплової енергії. Розрахунок енергетичної ефективності паротурбінної установки : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 35 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/276040c6-a600-4ef3-8018-a21fb606673b/content> (дата звернення: 08.10.2026).
7. Блінов І. В., Кириленко О. В., Зайцев Є. О. та ін. Підвищення ефективності роботи гідроелектростанцій в умовах ринку електричної енергії України та особливих технологічних обмежень : монографія. Одеса : Гельветика, 2024. 96 с. ISBN 978-617-554-320-7.
8. Баженов В. А. Моделі оптимального розвитку енергосистем : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 139 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/b14a6815-b097-486a-b48d-2ca935294bf1/content> (дата звернення: 08.10.2026).
9. Блінов І. В., Парус Є. В. Системи ринків електричної енергії. Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 84 с. URL: <https://ela.kpi.ua/items/f266185b-7de7-471d-bb50-f17be55978e4> (дата звернення: 08.10.2026).
10. Шевченко О. М., Суходуб І. О., Буяк Н. А. Енергетичний аудит. Оцінка показників енергетичної ефективності та проведення енергоаудиту будівлі в програмі E-Audit. Рекомендації до виконання розрахункової роботи : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 30 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/81621> (дата звернення: 08.10.2026).
11. Третьякова Л. Д., Бориченко О. В., Мітюк Л. О. Системи штучного виробничого освітлення: безпека та енергоаудит. Для виконання індивідуальних

завдань : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 99 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/63861> (дата звернення: 08.10.2026).

12. Бурик М. П., Бойко В. С., Спінул Л. Ю., Лободзинський В. Ю., Бурик І. П. Лінійні електричні кола постійного струму. Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 173 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/66436> (дата звернення: 08.10.2026).

13. Бурик М. П., Бойко В. С., Халімовський О. М., Лободзинський В. Ю., Бурик І. П. Лінійні електричні кола однофазного синусоїдного струму. Практикум : навч. посіб. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. 250 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/73004> (дата звернення: 08.10.2026).

14. Шматок Р. Д. Системи зберігання енергії та їх вплив на відновлювальну енергетику : магістерська дисертація : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Київ, 2025. 95 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/80134> (дата звернення: 08.10.2026).

15. Пінда А. В. Аналіз роботи накопичувачів енергії для компенсації добових коливань генерації відновлюваних джерел енергії : дипломна робота бакалавра : 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Київ, 2025. 111 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/74376> (дата звернення: 08.10.2026)

П 75 Енергетичні установки [Текст] : методичні вказівки до самостійної роботи для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво спеціальності 63 Електрична інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. А. М. Падалко. Луцьк: ЛНТУ, 2026. 74 с.

Комп'ютерний набір та верстка: А. М. Падалко

Підп. до друку _____. 2026 р.
Формат 60×84/16. Папір офс. Гарн. Таймс.
Ум. друк.арк. 4,38. Обл.-вид.арк. 4,63.
Наклад 50 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – Відділ іміджу та промоції ЛНТУ