

**ОСНОВИ ТЕПЛОВОЇ РОБОТИ КЛІМАТИЧНОЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ  
ТЕХНІКИ. Методичні вказівки до лабораторного практикуму для  
студентів ЗДІА спеціальності ЕМ / Укл. Ю.В. Куріс, Л.А. Клименко. –  
ЗДІА, 2017.**

*Відповідальний за випуск –  
завідувач кафедри енергетичного менеджменту  
професор Ю.Г. Качан*

## З М І С Т

<b>Зміст.....</b>	<b>3</b>
<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторна робота № 1.....</b>	<b>6</b>
Вивчення та дослідження роботи системи сонячного електропостачання	
<b>Лабораторна робота № 2.....</b>	<b>13</b>
Вивчення та дослідження роботи системи сонячного теплопостачання	
<b>Лабораторна робота № 3.....</b>	<b>19</b>
Вивчення та дослідження роботи системи електропостачання з вітроенергетичною установкою	
<b>Список необхідної літератури.....</b>	<b>26</b>

## В С Т У П

В зв'язку з швидким вичерпуванням та різким здорожчанням природного газу та інших первинних органічних палив на перший план виходять питання енергозбереження та використання нетрадиційних енергоресурсів. Разом з тим, перехід енергогенеруючих установок на інші види палив повинен відбуватись за умови дотримання високого рівня екологічної безпеки. Одним з найбільш перспективних з енергетичної та екологічної точки зору напрямків є використання в якості палива для енергоустановок - енергії сонця та вітру.

**Ціль лабораторних робіт з дисципліни «Альтернативні та поновлювальні джерела енергії»** - ознайомити студентів із принципом дії, пристроєм, параметрами й характеристикам окремих апаратів і систем у цілому для енергетичних установок, що використовують нетрадиційні джерела енергії, а саме, сонячні колектори, акумулятори теплоти, вітроустановки. Допомогти студентам засвоїти інженерні терміни по дисципліні, вивчити методики розрахунку теплових характеристик лабораторного устаткування, методики створення комплексних систем теплопостачання та електропостачання із застосуванням нетрадиційних джерел енергії. Вивчити умовні графічні позначення у функціональних схемах систем; освоїти постановку завдань при впровадженні нетрадиційних енергетичних установок в існуючих будівельно-архітектурних рішеннях і при проектуванні нових споруджень.

**У процесі виконання курсової роботи студент повинен :**

виявити вміння розбиратися у виборі встаткування (сонячних колекторів, акумуляторів теплоти, вітроенергетичних установок), розрахунку його параметрів для застосування при заданих умовах, комплектації схем системи теплопостачання та електропостачання, виборі пристроїв автоматизації роботи енергетичних установок, розрахунку результуючих теплових характеристик, виконання техніко-економічних розрахунків ефективності застосування нетрадиційних джерел енергії, проведення екологічної оцінки енергетичних

установок, уміння користуватися матеріалом лекцій, практичних занять та необхідною рекомендованою літературою.

**Лабораторний практикум з курсу «Альтернативні та поновлювальні джерела енергії»** створений для допомоги студенту у вивченні теоретичного матеріалу використання цих видів енергії з практичної точки зору. Виконання лабораторних робіт дозволяє перевірити та закріпити вивчений матеріал, навчитися досліджувати характеристики сонячного колектора та вітроенергетичної установки.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № - 1

## ВИВЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

### Мета роботи

- Ознайомитись з принципом роботи фотоелектричної сонячної батареї.
- За результатами експерименту провести обчислювання коефіцієнту корисної дії фотоелектричної сонячної батареї, термін окупності.

### Теоретичні відомості

Перетворення сонячної енергії в електричну в наш час здійснюється термодинамічним або фотоелектричним способом. Перший повторює принцип роботи звичайної ТЕС: робоче тіло (наприклад, вода) нагрівається в сонячному котлі, встановленому на високій башті. При фотоелектричному способі сонячна енергія перетворюється безпосередньо в електричну в сонячних фотоелементах. У космосі це єдиний спосіб добування електроенергії без участі Землі.

Одним з перспективних способів перетворення енергії Сонця в електроенергію є пряме фотоелектричне перетворення з використанням напівпровідникових фотоелектричних перетворювачів.

Фотоелектричні генератори широко застосовуються як джерела живлення космічної апаратури. Використання їх у наземних умовах для великомасштабного виробництва електроенергії обмежено в наш час високою питомою вартістю та відносно великими розмірами генераторів. Однак раціональне застосування фотоелектричних генераторів для живлення розосереджених на великій території малопотужних споживачів може дати істотну економію енергоресурсів.

Для широкого розвитку фотоелектричних енергосистем необхідно підвищувати ККД фотоелектричних перетворювачів та знижувати їх вартість.

Принцип дії фотоелектричного перетворювача базується на явищі внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках та ефекту розділення фотогенерованих носіїв заряду (електронів, дірок) електронно-дірковим переходом або потенціальним бар'єром типу метал – діелектрик – напівпровідник (МДН).

На даному етапі вдосконалення фотоелектричних перетворювачів найбільш перспективним напівпровідниковим матеріалом є кремній, який відрізняється високою технологічністю, великим строком служби, високою рухомістю носіїв заряду та поширеністю в природі.

Останнім часом зріс інтерес до сонячних елементів зі структурами МДН і напівпровідник – діелектрик – напівпровідник (НДН). Створено сонячні МДН-елементи з ККД, який дорівнює 17.6%, що є рекордним для кремнієвих таких елементів.

Найбільший ККД перетворення (22-23%) забезпечують арсенід-галійові фотоелементи. Аналіз каскадної сонячної батареї, що складається з двох і більше фотоелементів, які послідовно електрично й оптично зв'язані між собою, показав можливість досягнення ККД перетворення понад 31% для складу  $\text{AlGaAs} - \text{GaInAs}$ . У конструктивному відношенні слід виділити два типи фотоелектричних генераторів: площинні та з концентраторами сонячного випромінювання.

Найпростішим пристроєм, який збирає велику кількість сонячної енергії, є плоска батарея з багатьох сонячних елементів, з'єднаних у послідовні та паралельні групи для здобуття потрібної вихідної електричної потужності. Елементи батареї встановлюються нерухомо і можуть збирати енергію з усієї півсфери, що знаходиться перед нею. Можливий варіант конструкції її модулів складається з двох скляних листів, між якими розташовуються зкомутовані сонячні елементи, залиті оптично прозорим кремнійорганічним каучуком.

Фотоелектричні перетворювачі відрізняються спектральною селективністю, але в них не використовується більша частина інфрачервоного

спектра, що призводить до нагрівання сонячних елементів і зниження ККД перетворення.

Для використання теплової енергії сонячного випромінювання розроблено термоелектричні генератори. Проте відносно низький ККД, висока вартість й обмежений ресурс роботи не дають змоги їм поки що конкурувати з фотоелектричними перетворювачами.

### Лабораторна установка

Лабораторна установка включає такі основні елементи: сонячна фотопанель, сонячний імітатор, блок управління.

Блок управління проводить заміри наступних параметрів, які використовуються при розрахунках:

- Напруги, яку розвиває фото панель  $U_{\text{фп}}, \text{В}$ ;
- Сили електричного струму на навантаженні, яке підключене до фотопанелі  $I_{\text{фп}}, \text{А}$ ;
- Густини потоку випромінювання  $I_{\text{Г}}, \text{Вт/м}^2$ .
- ККД колектора розраховують по наступній формулі:

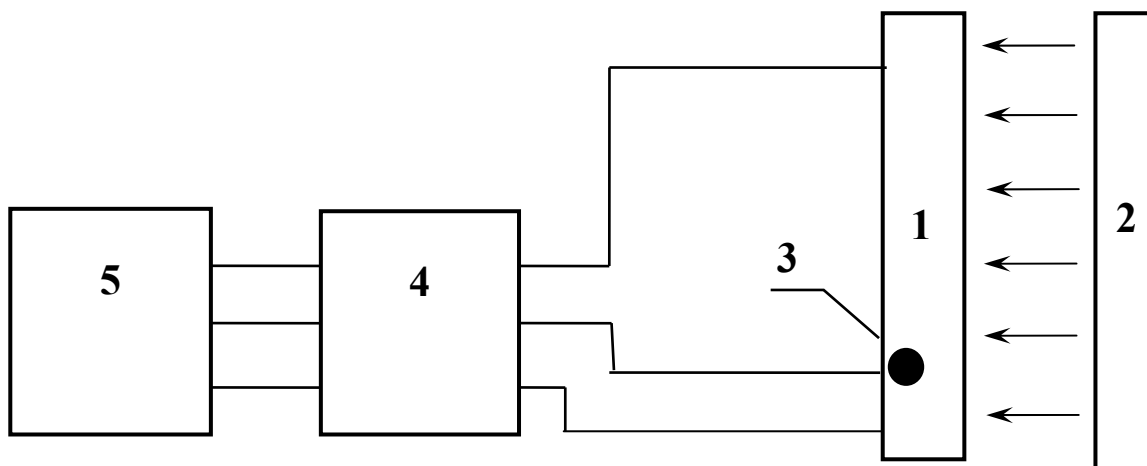
$$\eta = \frac{I_{\text{фп}} \cdot U_{\text{фп}}}{I_{\text{м}} \cdot S_{\text{фп}}};$$

де:  $S_{\text{фп}}$  – площа фото панелі.

На рисунку 1. зображена схема лабораторної установки.

Сигнали від усіх перелічених датчиків надходять до блоку управління, де перетворюються в напругу 0 ... 5В, пропорційно вимірюваній величині, для роботи АЦП, ПЕОМ та стрілочних вимірювальних приладів.

**Ошибка!**



**Рисунок 1. Схема лабораторної установки для випробування**

Установка має наступні елементи:

- 1 – фотоелектрична сонячна батарея;
- 2 – сонячний імітатор;
- 3 – датчик вимірювання густини потоку випромінювання;
- 4 – блок управління;
- 5 – ПЕОМ.

Технічні данні експериментального сонячного колектора:

- Модель, **SIMENS RS - 50**
- Паспортна потужність,  $P = 50 \text{ Вт}$
- Фотоелектрична панель має 18 кіл, діаметром 0,15 м.

### Експериментальні дані

Отриманні данні в ході проведення лабораторної роботи, додаються до таблиці 1.

*Таблиця 1 Дані експерименту*

№	$I_T, \text{Вт/м}^2$	$U_{\text{фп}}, \text{В}$	$I_{\text{фп}}, \text{А}$
1			
2			
3			
4			
5			



## Хід виконання та проведення лабораторної роботи

Лабораторна робота повинна бути виконана українською мовою, в електронному виді (файлом в редакторі Word 97 чи 2000), та надрукована на папері. Діаграми повинні бути виконані в редакторі Excel.

1. Знайдемо площу фотоелектричної панелі (сонячної батареї):

$$S_{\phi} = n \cdot S_{\kappa} = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

де: **n** - кількість кіл, **d** - діаметр кола

2. Запускаємо систему сонячного електропостачання в роботу.

3. Встановлюємо задане значення густини потоку випромінювання:  $I_m, \frac{Вт}{м^2}$

4. Знімаємо з датчиків показники:

❖ Напругу, яку розвиває фотоелектрична панель:  $U_{\phi n}, В$

❖ Силу електричного струму на навантаженні, яке підключене до фото панелі:  $I_{\phi n}, А$

5. Знімаємо значення густини потоку випромінювання та повторюємо зняття даних (для п'яти положень).

6. Знайдемо коефіцієнт дії фотоелектричної батареї, для кожного заміру ККД колектора розрахуємо по формулі:

$$\eta = \frac{I_{\phi n} \cdot U_{\phi n}}{I_m \cdot S_{\phi n}} \cdot 100, \%$$

Для цього, спочатку треба перевести данні зняти з комп'ютера, та занести їх до таблиці 2:

№	$I_T, \text{Вт/м}^2$	$U_{\phi n}, \text{В}$	$I_{\phi n}, \text{А}$
1	$3266/I_m 1$	$2610/U_{\phi n} 1$	$1010/I_{\phi n} 1$
2	$2755/I_m 2$	$1425/U_{\phi n} 2$	$550/I_{\phi n} 2$
3	$2312/I_m 3$	$942/U_{\phi n} 3$	$340/I_{\phi n} 3$
4	$1937/I_m 4$	$722/U_{\phi n} 4$	$265/I_{\phi n} 4$
5	$1603/I_m 5$	$600/U_{\phi n} 5$	$227/I_{\phi n} 5$

7. За отриманими даними шукаємо середні значення для:  $I_m, U_{\phi n}, I_{\phi n}$
8. За допомогою розрахованих середніх значень, отримуємо кінцеві значення  $I_m, U_{\phi n}, I_{\phi n}$ , які необхідні для розрахунку ККД сонячної батареї, та додаємо їх до таблиці 3:

**Таблиця 3**

№	$I_T, \text{Вт/м}^2$	$U_{\phi n}, \text{В}$	$I_{\phi n}, \text{А}$
1	$3266/I_m \text{cp}$	$2610/U_{\phi n \text{cp}}$	$1010/I_{\phi n \text{cp}}$
2	$2755/I_m \text{cp}$	$1425/U_{\phi n \text{cp}}$	$550/I_{\phi n \text{cp}}$
3	$2312/I_m \text{cp}$	$942/U_{\phi n \text{cp}}$	$340/I_{\phi n \text{cp}}$
4	$1937/I_m \text{cp}$	$722/U_{\phi n \text{cp}}$	$265/I_{\phi n \text{cp}}$
5	$1603/I_m \text{cp}$	$600/U_{\phi n \text{cp}}$	$227/I_{\phi n \text{cp}}$

9. Після розрахунку ККД сонячної батареї для кожного з п'яти замірів, розрахуємо середнє значення ККД фотоелектричної сонячної батареї:

$$\eta_{cp} = \frac{\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5}{5}, \%$$

10. Знайдемо опір фотоелектричної сонячної батареї для кожного заміру по формулі:

$$R = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}, \text{ Ом}$$

11. Після розрахуємо середнє значення опору фотоелектричної сонячної батареї:

$$R_{cp} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5}{5}, \text{ Ом}$$

12. Знайдемо потужність батареї, для кожного заміру по формулі:

$$P = U_{\phi n} \cdot I_{\phi n}, \text{ Вт}$$

Отримані величини порівняємо з паспортною величиною потужності, та зробимо відповідні висновки, які відобразимо у висновках до лабораторної роботи.

**13.**Розрахуємо економію сонячної батареї:

$$E_{ск} = k \cdot S_{\phi} \cdot \eta_{cp}, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

де:  $k=1345 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік} \cdot \text{м}^2}$ , – сонячна постійна (спадаюча енергія на  $1 \text{ м}^2$ ),  $S_{\phi}$  - площу фотоелектричної панелі (колектора),  $\eta_{cp}$  - середнє значення ККД.

**14.**Виразимо економію сонячної батареї в грошовому еквіваленті:

$$S = E_{ск} \cdot z_e, \text{ грн} / \text{рік}$$

де:  $z_e$  - комунальна вартість електроенергії у наступний час

**15.**При умові що приблизна вартість устаткування  $1 \text{ м}^2$  колектора становить у теперішній час близько ста умовних одиниць, розрахуємо вартість устаткування експериментальної лабораторної батареї, та його термін окупності:

$$C_{ок} = \frac{B}{S}, \text{ рік}$$

де:  $B$  - вартість устаткування експериментальної лабораторної батареї

**16.**За допомогою редактора Microsoft Excel робимо на двох окремих листах, графіки закономірності, для кожного значення (п'яти варіантів): ККД від опору, та ККД від потужності сонячної батареї.

**17.**Здійснюємо висновки по виконаній експериментальної лабораторній роботі, а також згідно капітальних затрат на сонячну батарею з'ясуємо з якою потужністю вигідніше використовувати обладнання сонячної системи електропостачання.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

## ВИВЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ СОНЯЧНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

### Мета роботи

1. Ознайомитись з принципом роботи системи сонячного гарячого водопостачання.
2. Вивчити устрій плоского сонячного колектора (ПСК).
3. За результатами експерименту провести обчислювання:
  - Коефіцієнту корисної дії ПСК
  - Оптичного ККД колектора  $F_R(\tau\alpha)_n$  та коефіцієнта втрат  $F_R U_L$ .

### Теоретичні відомості

Плоский сонячний колектор є основним елементом систем сонячного теплопостачання (ССТ). принцип його дії простий. Більша частина сонячної радіації, яка падає на колектор, поглинається поверхнею, яка є „чорною” по відношенню до сонячного випромінювання. Частина поглинутої енергії втрачається через теплообмін з навколишнім середовищем. Теплота, яка відходить з рідиною, є корисна теплота.

Основними елементами колектора є: поглинальна пластина, звичайно з металу, з чорним, або селективним покриттям; труби для рідини чи канали для повітря, які знаходяться у тепловому контакті з поглинальною пластиною; теплова ізоляція днища та бічних кромek пластини; один чи кілька повітряних проміжків, які розділені прозорими покриттями з метою теплової ізоляції пластини згори; корпус.

Треба відрізнити миттєві характеристики колектора та його довготермінові характеристики. Для розглядання дії колектора при змінних умовах необхідно визначити залежність його миттєвих характеристик від метеорологічних та режимних факторів. Корисна енергія, відведена від

колектора в даний момент часу – це різниця кількості сонячної енергії, яка втрачена в навколишнє середовище.

Рівняння, яке застосовується при розрахунках майже всіх конструкцій сонячних колекторів має вигляд:

$$Q_U = F_R A [I_T (\tau \alpha) - U_L (T_1 - T_{o.c})] \quad (1)$$

де:

$Q_U$  – корисна енергія, яка відведена від колектора за одиницю часу, Вт;

$A$  – площа колектора, м<sup>2</sup>;

$F_R$  – коефіцієнт відведення теплоти від колектора;

$I_T$  – густина потоку сумарної сонячної радіації в площині колектора, Вт/м<sup>2</sup>;

$\tau$  – пропускна здатність прозорих покриттів по відношенню до сонячного випромінювання;

$\alpha$  – поглинальна здатність прозорих покриттів по відношенню до сонячного випромінювання;

$U_L$  – повний коефіцієнт теплових втрат колектора, Вт/(м<sup>2</sup>\*К)

$T_1$  – температура рідини на вході до колектора, К

$T_{o.c}$  – температура навколишнього середовища, К.

В рівнянні (1) корисна енергія колектора знаходиться, виходячи з температури рідини на вході. Однак втрати теплоти в навколишнє середовище залежать від середньої температури поглинальної пластини, яка завжди вище за температуру на виході, якщо рідина нагрівається, проходячи через колектор. Коефіцієнт відведення теплоти  $F_R$  дорівнюється співвідношенню між фактичною корисною енергією, коли температура в колекторі зростає в напрямку потоку, та корисною енергією, коли температура всієї поглинальної пластини дорівнюється температурі рідини на вході.

Добутки  $F_R(\tau\alpha)_n$  та  $F_R U_L$  неважко знайти з результатів стандартних випробувань колектора.

Випробування колекторів проводять чи в природних умовах приблизно о південь в ясний день, чи в приміщенні з використанням сонячного імітатора. В обох випадках дифузна складова радіації мала та спадне випромінювання спрямовано майже за нормаллю до поверхні колектора. В результаті значення зведеної поглинальної здатності, яку знаходять з цих випробувань, відповідає прямій радіації, яка падає за нормаллю до поверхні та позначається  $(\tau\alpha)_n$ .

В процесі випробувань старанно вимірюють густину потоку спадної сонячної радіації, температуру рідин на вході та виході з колектора. Корисна енергія колектора визначається виразом, Вт:

$$Q_u = A \cdot G \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1) \quad (2)$$

де:

$G$  – витрата рідини на 1 м<sup>2</sup> площі колектора, кг/(м<sup>2</sup>\*с);

$C_p$  – теплоємність рідини, Дж/(кг\*К);  $C_p=4190$  Дж/(кг\*К);

$T_1$  – температура рідини на вході в колектор, К

$T_2$  – температура рідини на виході з колектора, К

За результатами випробувань звичайно визначається ККД колектора – відношення корисної енергії, отриманої колектором, до спадної енергії сонячного випромінювання на площину сонячного колектора:

$$\eta = \frac{Q_u}{A \cdot I_T} \quad (3)$$

Результати випробувань краще за все представити у вигляді графіка залежності миттєвого ККД колектора від параметра  $(T_1 - T_{o.c.})/I_T$ . У основі такої форми представлення дослідних даних лежить рівняння (1), якщо розділити

кожну частину цього рівняння на  $I_T A$ , отримуємо такий вираз для ККД колектора:

$$\eta = Q_u / I + A = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L (T_1 - T_{o.c.}) / I_T \quad (4)$$

При умові  $U_L = \text{const}$  залежність ККД колектора від параметра  $(T_1 - T_{o.c.}) / I_T$  лінійна, кутовий коефіцієнт прямої дорівнюється  $- F_R (\tau\alpha)_n$ .  $F_R (\tau\alpha)_n$  називають оптичним ККД колектора ( $\eta_o$ ).

### Лабораторна установка

На рисунку 1 зображена схема лабораторної установки.

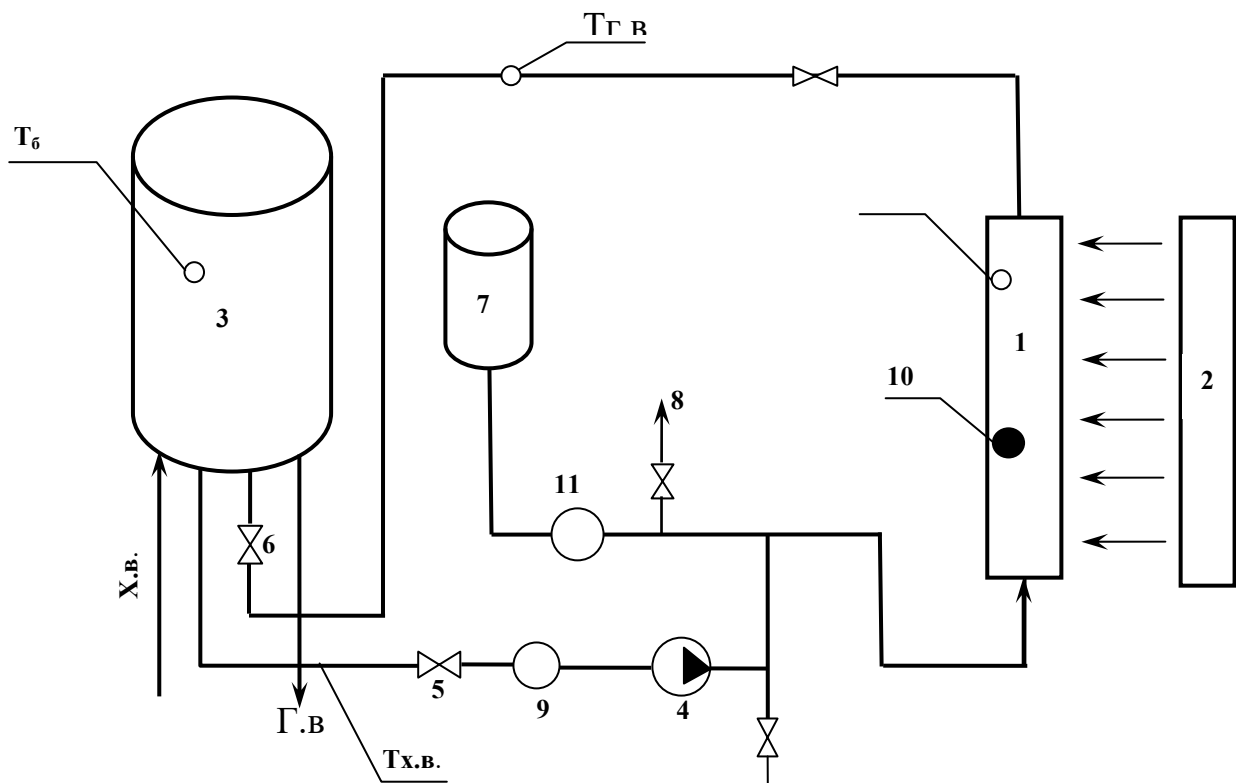


Рисунок 1. Схема лабораторної установки для випробування ПСК

- 1 – сонячний колектор;
- 2 – сонячний імітатор;
- 3 – бак-акумулятор із змійовиком - теплообмінником;
- 4 – насос;
- 5, 6 – засувки;
- 7 – напірний бак;
- 8 – зливання води;
- 9 – витратомір води;
- 10 – датчик вимірювання густини потоку випромінювання;
- 11 – манометр.

$T_{х.в.}$ ;  $T_{г.в.}$ ;  $T_{б.}$ ;  $T_{к.}$  – вимірювачі температур холодної води, гарячої води, температури води в баці-акумуляторі та в колекторі відповідно.

Сигнали від усіх перелічених датчиків надходять до блоку управління, де перетворюються в напругу 0 ... 5В, пропорційно вимірюваній величині, для роботи АЦП, ПЕОМ та стрілочних вимірювальних приладів.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДАНІ

Отриманні данні в ході проведення лабораторної роботи, додаються до таблиці 1.

*Таблиця 1 Дані експерименту*

№	G, л/с	$I_T$ , Вт/м <sup>2</sup>	$T_{о.с.}$ , °С	$T_{х.в.}$ , °С	$T_{г.в.}$ , °С	$T_{бак}$ , °С	$T_{кол.}$ , °С
1							
2							
3							
4							
5							



## Хід виконання та проведення лабораторної роботи

Лабораторна робота повинна бути виконана українською мовою, в електронному виді (файлом в редакторі Word 97 чи 2000), та надрукована на папері. Діаграми повинні бути виконані в редакторі Microsoft Excel.

1. Запустити систему в роботу.
2. Встановити задане значення густини потоку випромінювання.
3. Зняти з датчиків показники  $T_{х.в.}$ ;  $T_{г.в.}$  та  $T_{о.с.}$ , коли вони встановляться.
4. Змінити значення густини потоку випромінювання та повторити зняття даних.
5. Результати занести в таблицю 1.
6. За даними експерименту побудувати графік залежності миттєвого ККД колектора від параметра  $(T_1 - T_{о.с.})/I_T$ .
7. За допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel на двох окремих отриманих графіках залежності, необхідно побудувати лінії Тренда (лінійного та експоненціального співвідношення).
8. На отриманих лініях Тренда за допомогою програмного забезпечення Microsoft Excel з'ясуємо співвідношення залежності.
9. Знайдемо коефіцієнти корисної дії ПСК на (лінійному співвідношенні залежності), оптичний ККД колектора  $F_R(\tau\alpha)_n$  та коефіцієнта втрат  $F_R U_L$ .

Наприклад отримано співвідношення наступного виразу:

$$y = -k \cdot x + n$$

$$\text{де: } F_R U_L = k, \quad F_R(\tau\alpha)_n = n$$

10. По отриманим коефіцієнтам виводимо формулу для обчислення ККД колектора:  $\eta = F_R(\tau\alpha)_n - \frac{F_R U_L \cdot (T_1 - T_{о.с.})}{I_T}$
11. Здійснюємо висновки по виконаній практично експериментальній лабораторній роботі.

# ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № - 3

## ВИВЧЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЮ УСТАНОВКОЮ

### Мета роботи

- Ознайомитись з принципом роботи вітроенергетичної установки.
- За результатами експерименту провести обчислювання коефіцієнту корисної дії вітроенергетичної установки та термін окупності системи.

### Теоретичні відомості

Сила вітру – це одне з найдавніших та найбільш економічних джерел енергії, що використовує людство. Прості вітряки були широко розповсюджені в Китаї 2200 років тому. На Середньому Сході, в Персії, 200 років до н.е. почали використовувати вітряки з вертикальною віссю для перемелювання зерна. У XI столітті у Європі почали розповсюджуватися вітряки, які завозилися купцями, що подорожували, та лицарями із хрестових походів. Ці перші вітряки постійно вдосконалювалися, спершу голландцями, потім англійцями, і нарешті набули конструкцію з горизонтальною віссю. Мешканці Голландії виявили, що вітром дуже зручно користуватися для відкачки води, щоб висушити землю, що для цієї країни, яка розташована в низинах і потерпає від повеней, є досить актуальним. Найбільш активно в до промисловій Європі вітряки використовувалися в XVIII столітті, коли лише в одній Голландії їх було більше ста тисяч. З їх допомогою мололи зерно, качали воду та пиляли дрова. З часом більшість вітряків нездатних конкурувати із дешевим та надійним викопним паливом, було замінено паровими двигунами.

**Енергія вітру постійно поновлюється та невичерпна поки гріє Сонце. Вітер утворюється на землі в результаті нерівномірного нагріву її поверхні Сонцем.**

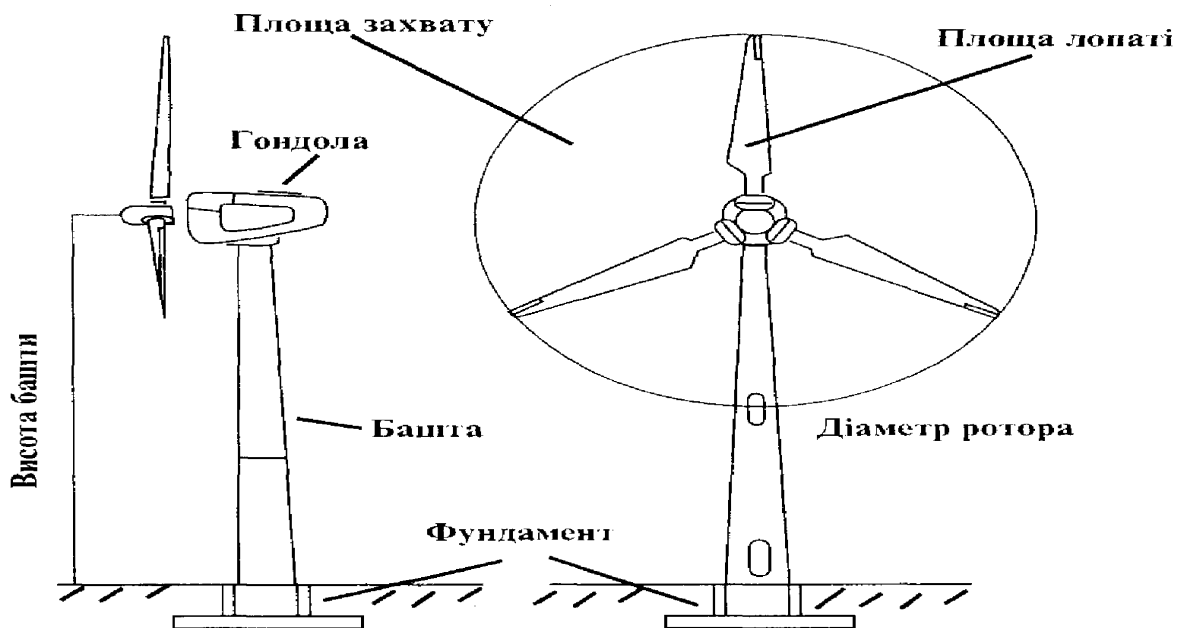
Повітря над поверхнею води на протязі світлої частини пори залишається порівняно холоднім, бо енергія сонячного випромінювання витрачається на випаровування води та поглинається нею. Над суходолом повітря нагрівається завдяки тому, що воно поглинає сонячну енергію менше, ніж поверхня води. Нагріте повітря розширюється та підіймається вгору, а його замінює холодне повітря від поверхні води. Вночі суходіл охолоджується швидше, ніж вода, та температура над водою буде вище за температуру над суходолом. Тому вітер змінює свій напрямок, і холодне повітря суходолу витісняє нагріте повітря водяної поверхні.

Аналогічно відбуваються зміни напрямку вітру в гірській місцевості, де на протязі дня повітря підіймається вздовж схилів, а вночі холодне повітря спускається у долини.

Повітря циркулює и внаслідок обертання Землі: рух відбувається в напрямку, протилежному напрямку руху годинникової стрілки у північній півкулі, і за напрямком руху годинникової стрілки – в південній.

Найбільш розповсюдженими є вітроустановки із горизонтальною віссю (рисунок 1).

Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопать), редуктор передачі обертального моменту к електрогенератору, електрогенератор та башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі обертального моменту утворює вітровий двигун. Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, які створюють обертальний момент. В залежності від потужності генератора вітроустановки діляться на класи, їх параметри та призначення наведені в таблиці 1.



**Рисунок 1. Принципова схема вітроустановки**

*Таблиця 1. Класифікація вітроенергетичних установок*

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопастей	Призначення
Малої потужності	15-50	3-10	3-2	Заряд аккумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	100-600	25-44	3-2	Енергетика
Великої потужності	1000-4000	>45	2	Енергетика

Україна має потужні ресурси вітряної енергії: річний технічний потенціал енергії вітру дорівнює 30 млрд.кВт\*год

В умовах України за допомогою вітрових установок припустимим є використання 15 ÷ 19 % річного об'єму енергії вітру, що походить крізь переріз поверхні вітряного колеса. Очікувані об'єми виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перерізу площі вітряного колеса у перспективних районах складають 800 ÷ 1000 кВт\*год/м<sup>2</sup> за рік. Розглянемо на прикладі лабораторної роботи ефективність використання вітроенергетичної установки.

## Лабораторна установка

*Лабораторна установка включає такі основні елементи:*

- стенд, що складається з :
- генератора вітроенергетичної установки ВЕУ-075
- асинхронний двигун для привода генератора;
- перетворювач частоти ПЧ-2000, що дозволяє регулювати швидкість обертання валу двигуна як вручну, так і за командами із персонального комп'ютера;
- джерело безперервного живлення ДБЖ-1.5/3С-ВГ (рисунок 2);
- кислотна акумуляторна батарея 24В;
- комп'ютер з цією програмою-монітором, св'язаний із джерелом ДБЖ-1.5/3С-ВГ и ПЧ-2000 по послідовним інтерфейсам.



Рисунок 2. ДБЖ-1.5/3С-ВГ

### Основними перевагами ДБЖ-1.5/3С-ВГ/ФМ є:

- поєднання великої кількості функцій в одному пристрої;
- стабілізована синусоїдальна напруга на виході інвертора;
- температурна компенсація напруги заряду АБ;
- цифрова індикація параметрів;
- низька вартість в порівнянні з аналогами;

### Параметри, які отримуються програмою з пристрою:

- струм у ланцюгах генератора;
- струм, що споживається інвертором (це значення може бути від'ємним, коли інвертор працює в режимі зарядного пристрою, заряджая акумуляторну батарею від зовнішньої мережі  $\sim 220\text{В}$ );
- напругу на акумуляторній батареї;
- ступінь зарядженості акумуляторної батареї;
- температура акумуляторної батареї (використовується джерелом для визначення верхнього порогу напруги батареї);
- температура радіатора перетворювача;
- стан регулятора струму від вітроустановки;
- стан ключей джерела ДБЖ-1.5/3С-ВГ, наявність напруги на вході  $\sim 220\text{В}$ ;
- задана частота обертання валу генератора;
- дійсна частота обертання валу генератора.

На рисунку 3. зображена схема лабораторної установки

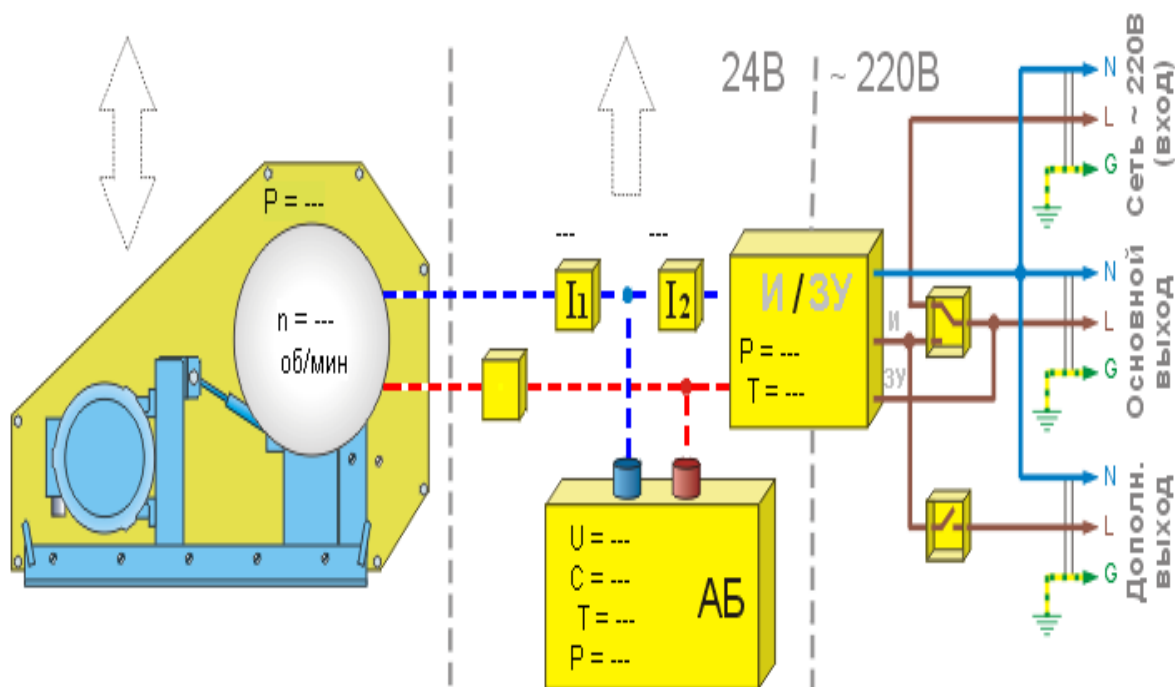


Рисунок 3. Схема лабораторної вітроустановки для випробування

### Експериментальні дані

Отриманні дані в ході проведення лабораторної роботи, вносяться до таблиці 1.

Таблиця 1. Дані експерименту

№	Р, кВт	N, об/хвил	
1			
2			
3			
4			
5			

### Хід виконання та проведення лабораторної роботи

Лабораторна робота повинна бути виконана українською мовою, в електронному виді (файлом в редакторі Word 97 чи 2000), та надрукована на папері. Діаграми повинні бути виконані в редакторі Microsoft Excel.

1. Важливим аспектом використання вітроустановок є вартість електроенергії (грн/кВт-год), яка може бути підрахована за виразом:

$$B = \frac{K \cdot F}{0,25 \cdot P \cdot T}, \quad (1)$$

де: **K** - капітальні витрати, грн. (дол.);

**F** - фактор поновлення витрат, за гарантованого терміну дії установки 25 років  $F = 0,125$ ;

**P** - потужність установки, кВт;

**T** - кількість годин роботи установки на рік,  $T = 8760$  год.

2. Знімаємо данні потужності з лабораторної установки, змінюючи з інтервалом 10 частоту обертання генератора.

3. За допомогою редактора Excel на двох окремих листах будуються графіки закономірності для кожного значення: потужності від частоти обертання та потужності від ККД.
4. Потужність вітроустановки може бути підрахована за виразом:

$$P = \frac{1}{2} S \cdot \rho_{\text{повіт}} \cdot K_{\text{аер}} \cdot v \cdot \eta, \quad (2)$$

де:

$P$  – Потужність в ваттах;

$\rho_{\text{повіт}}$  - плотность повітря ( $1,225 \text{ кг/м}^3$ );

$S$  - площа обороту ротора,  $\text{м}^2$ ;

$v$  - скорость повітря, м/с;

$K_{\text{аерод}}$  - аеродинамічний коефіцієнт (приблизно 0,5);

$\eta$  - ККД.

5. Здійснюються висновки по виконаній експериментальній лабораторній роботі, а також згідно капітальних витрат на вітроенергетичну установку з'ясовується, термін окупності. Від шкорості повітря для різноманітних територіальних обласних центрів України (7-10 областей України), робимо висновки о найефективніших місцевостях використання вітроенергетичних установок.



## СПИСОК НЕОБХІДНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Від виробництва до ефективного споживання енергії / О.І. Соловей, А.В.Праховник, Є.М.Іншеков та інші. – К.:Київ.Нот.ф-ка, 1999. -440 с.
2. Курис Ю. В., Крючков Е. Н., Шинкаренко Л. М. Экономические и экологические области использования методов биотехнологий в окружающей среде. // Сборник трудов “Понт Эвксинский III”, - г. Севастополь, – №1. – 2003. – С. 20-30.
3. Курис Ю. В. Преимущества альтернативной энергетики в решение энергетических вопросов. // Труды юбилейной XXX международной научно технической конференции "Запорожсталь XXX". – Запорожье: Запорожсталь. – 2003. – С. 50 – 57.
4. Альтернативная энергетика и энергосбережение: современное состояние и перспективы: Учеб. пособие. – Харьков: Вокруг цвета, 2004. – 312 с.
5. Дикий М.О. Поновлювані джерела енергії: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 351с.
6. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України: Київ – 2001р.
7. Украина: эффективность малой энергетики. – Киев: ЕС – Energy Centre, 1996. – 280 с.
8. Валов М.И., Казанджан Б.И. Использование солнечной энергии в системах теплоснабжения.- М.: Изд-во МЭИ, 1991. - 140 с.
9. Бекман У., Клейн С., Даффи Дж. Расчет систем солнечного теплоснабжения. – М.: Энергоиздат, 1982. - 80 с.
10. Курис Ю. В., Нестеренко А. В. Методи зниження екологічних викидів нетрадиційних джерел енергії. // Матеріали міжвузівської наукової конференції “Сучасні екологічні проблеми – III” - м. Запоріжжя, – 2006. – С. 39-43.

- 11.Использование солнечной энергии для теплоснабжения зданий./ Константиновский Ю.А., Заваров А.И., Рабинович М.Д., Ферт А.Р. [под ред. Сарнацкого Э.В.]. – К., Будівельник, 1985. – с. 104.
- 12.Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования). Перевод с англ. М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
- 13.Рей Д., Макмайкл Д. Тепловые насосы: пер. с англ. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
- 14.Соколов Е.Я., Бродянский В.М. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения. М.: Энергия, 1968. 336 с.
- 15.Курис Ю. В., Крючков Е. Н. Аналіз альтернативних джерел енергії // Сборник конференции «Биотехнология: Образование, наука», - НТУ КПИ. – 2003. С. 141-143.
- 16.Качан Ю.Г., Левченко С.А. К расчету объемного распределения мощности в электрическом теплоаккумулирующем преобразователе // Інтегровані технології та енергозбереження. Харків. 2005. №2. С. 150-153.
- 17.Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р.Р. Аvezов, М.А. Барский-Зорин, И.М. Васильева и др.; Под ред. Э.В. Сарнацкого и С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
- 18.Солнечная энергетика: Пер. с англ. и фр./Под ред. Ю.Н. Малевского и М.М.Колтуна. – М.: Мир, 1979.
- 19.Тозони О.В. Метод вторичных источников в электротехнике. – М.: Энергия, 1975. – 295с.
- 20.Ю.Г. Качан, С.А. Левченко, Н.А. Кононенко. Применение электрического теплоаккумулирующего преобразователя для повышения эффективности систем горячего водоснабжения // Збірник наукових праць Міжнародної науково-технічної конференції “Енергоефективність’2005”, м. Одеса. С. 90-93.