

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**АЛЬТЕРНАТИВНІ ПОНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА
ЕНЕРГІЇ В АПК:**

**методичні рекомендації для проведення лабораторних робіт
здобувачами вищої освіти ступеня «Магістр»
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» денної форми навчання**

МИКОЛАЇВ
2018

УДК 620.9
А58

Рекомендовано науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету МНАУ, протокол № 10 від «24» травня 2018 р.

Укладач:

О. С. Кириченко – канд. техн. наук, доцент кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки Миколаївського національного аграрного університету.

Рецензенти:

В. М. Рябенський – завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електронних систем Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, доктор техн. наук, професор;

І. С. Білюк – завідувач кафедри автоматики Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, канд. техн. наук, доцент.

© Миколаївський національний аграрний
університет, 2018

Зміст

Вступ	3
Лабораторна робота № 1. Визначення вітроенергетичного потенціалу Миколаївської області	4
Лабораторна робота № 2. Визначення характеристик вітрорушіїв різної конструкції на моделях з використанням аеродинамічної труби	20
Лабораторна робота № 3. Визначення характеристик фотогальванічних елементів панелей сонячних електростанцій	27
Лабораторна робота № 4. Вимірювання і порівняння освітленості електричних джерел світла	40
Лабораторна робота № 5. Визначення характеристик елементів Пельтьє	48
Лабораторна робота № 6. Визначення характеристик зворотного термоелектричного ефекту	55
Лабораторна робота № 7. Експериментальне дослідження характеристик сонячної теплової установки.....	60
Лабораторна робота № 8. Вивчення конструкцій і моделювання характеристик сонячної колекторів	67
Лабораторна робота № 9. Вивчення характеристик сонячної електростанції	72
Рекомендована література ...	79

Вступ

Основна мета методичних рекомендацій полягає у наданні допомоги здобувачам вищої освіти у засвоєнні матеріалу дисципліни “Альтернативні поновлювальні джерела енергії в АПК” під час виконання лабораторних робіт. Матеріал, наведений у рекомендаціях, узгоджений з навчальним планом спеціальності 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”, затвердженим Департаментом вищої освіти Міністерства освіти і науки України та робочою навчальною програмою дисципліни, розробленою на кафедрі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки та затвердженою методичною комісією Миколаївського національного аграрного університету. Тематику лабораторних робіт з дисципліни та методичні рекомендації до їх виконання складено таким чином, що матеріал до лабораторних робіт розподілено рівномірно між усіма темами робочої навчальної програми. Лабораторні роботи передбачають попереднє вивчення теоретичного матеріалу та його закріплення виконанням практичних завдань. Література обиралася з літературних джерел робочої навчальної програми дисципліни за принципами наявності у бібліотечному фонді, вичерпності, ясності та стислості подання матеріалу.

Лабораторна робота № 1. Визначення вітроенергетичного потенціалу Миколаївської області

Метою лабораторної роботи «Визначення вітроенергетичного потенціалу Миколаївської області» є засвоєння теоретичних відомостей та проведення дослідних вимірювань вітрового потоку на території Миколаївської області, порівняння отриманих лабораторним шляхом даних з теоретичними середньорічними значеннями швидкостей вітрового потоку.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Україна має досить високий кліматичний потенціал вітрової енергії, який забезпечує продуктивну роботу не лише автономних вузлів живлення, але й потужних вітроелектростанцій. Зростає необхідність у виявленні найперспективніших місць використання вітрової енергії, базуючись на її кліматичному потенціалі та показниках його можливої утилізації. Згідно з даними міжнародної організації Глобальний вітроенергетичний форум (Global wind energy council) близько 40% територій України придатні до генерування енергії з вітру.

На рис. 1.1 зображено карту вітрового енергетичного потенціалу України.

Як видно з рис. 1, високий вітроенергетичний потенціал мають Українські Карпати, Кримські гори, узбережжя Чорного, Азовського морів та Донецька височина. Також сильними середньорічними вітрами відзначаються височини південно-західної України та Придніпровська височина. Найбільш придатними місцями для встановлення вітрогенераторів є ділянки біля водойм (ставків, озер, річок) або височини які здіймаються над основним рельєфом. Такі ділянки є по всій території України, але потрібно враховувати, що вітер це

не стабільна величина і відрізняється на протязі року та залежить від погодних умов і пори року.

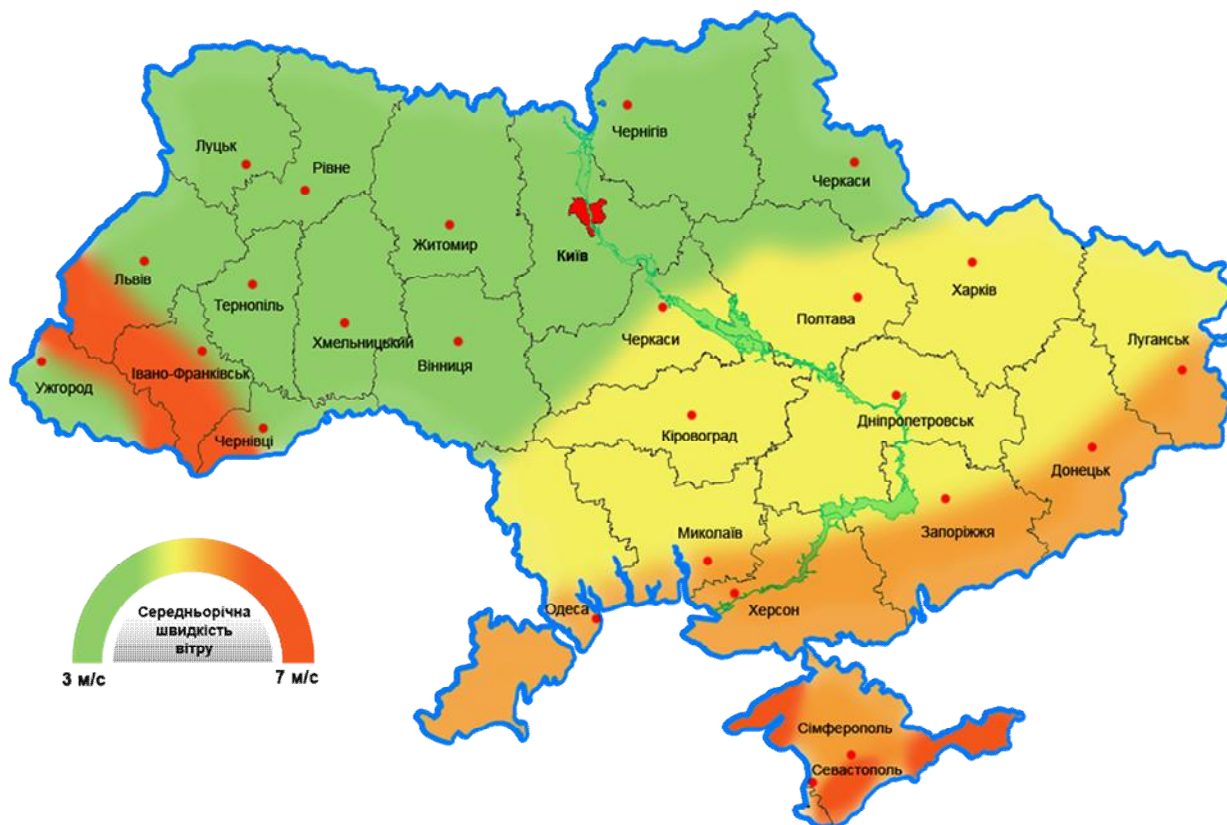


Рис. 1.1 – Карта середньорічної швидкості вітру по території України

Миколаївська область відноситься до регіонів, де будівництво вітроенергетичних установок є доцільним. Одним з найбільш потужних є вітряний парк «Очаківський» в с. Дмитрівка Миколаївської області.

ТОВ "Вітряні парки України" ввело в експлуатацію I черга вітропарку "Очаківський" (с. Дмитрівка, Миколаївська обл.). Потужність I черги - 25 МВт. Під навантаження поставлені 10 вітроагрегатів. Вітропарк "Очаківський" (рис. 1.2) складається з трьох полів: одне – протяжністю 6 км і два – протяжністю 10 км. Всього в вітропарк планується встановити 150 вітроагрегатів (по 50 на кожному полі). Крім того, на полях встановлені

підвищують трансформаторні підстанції. Загальна площа полів ВЕС становить 5436 га. Станція розташована між узбережжям Дніпро-Бузького лиману і автомобільною дорогою "Миколаїв-Очаків" в межах територій сіл Дмитровський, Солончаковській і Парутинська. Постачальником елементів вітрових агрегатів та іншого обладнання виступило СП "Фурлендер Вінд Технолоджи". Вітроустановки випускаються за ліцензією німецької компанії Fuhrlander AG.



Рис. 1.2 – Вітряний парк «Очаківський» в с. Дмитрівка Миколаївської області

21 серпня 2012 ТОВ «Вітряний парк» Очаківський »ввів в експлуатацію другу чергу вітряної електростанції з 5 вітрогенераторів (по 2,5 МВт кожний) загальною потужністю 12,5 МВт. Про це Rencentre повідомив директор підприємства Володимир Подгуренко. Він також зазначив, що компанія продовжує розвивати вітропарк і скоро нові потужності будуть введені в експлуатацію. Володимир Подгуренко підкреслив, що зараз потужність вітропарку «Очаківський» становить 37,5 МВт. Раніше Rencentre повідомляв,

що «Вітряний парк» Очаківський »веде будівництво вітряної електростанції з використанням турбін питомою потужністю 2,5 МВт виробництва німецької Fuhrlander AG. Компанії «Вітряний парк» Новоазовський »(Донецька обл.), «Вітряний парк «Очаківський» і «Вітряний парк Березанський» (обидва - Миколаївська обл.) Діють в рамках інвестиційного проекту «Вітряні парки України», розробленого однойменним ТОВ.

Для визначення вітроенергетичного потенціалу області потрібно знати швидкість вітрового потоку в даному регіоні в різний період часу. Щоб визначити швидкість вітрового потоку використовують спеціальні прилади – анемометри.



Рис. 1.3 – Термоанемометр AR836 з виносним датчиком

На рис. 1.3 зображений термоанемометр AR836 з виносним крильчастим датчиком, який призначений для визначення швидкості вітру, вимірювання швидкості направлених повітряних і газових потоків, а також температуру оточуючого середовища, завдяки вбудованому датчику температури (на відміну від моделі AR826). Прилад оснащений високошвидкісним рідкокристалічним дисплеєм з підсвічуванням, що дозволяє проводити вимірювання швидкості повітряного потоку в умовах недостатньої освітленості.

Особливостями термоанемометра AR836 є:

- відображення результатів вимірювань в милях/год, км/год, футах/хв, м/с, або вузлах;
- відображення шкали Бофорта;
- підсвічування дисплея;
- автовимикання;
- індикація низького заряду батарей;
- функція вимірювання максимальної і мінімальної швидкості вітру;
- відображення середньої і поточної (миттєвої) швидкості вітру;
- функція утримання результату;
- виносний крильчастий датчик;
- довжина кабеля 1 м.

Діапазон вимірювання швидкості вітру 0,3-45 м/с, діапазон вимірювання температури 0-45 °С, похибка приладу становить відповідно $\pm 3\%$ та 2 °С.

Кінетична енергія вітрового потоку як всякого рухомого тіла, що має секундну масу m , дорівнює:

$$A = \frac{mv^2}{2} \cdot t.$$

Потужність вітрового потоку визначається як:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{\rho F v^3}{2},$$

де $\rho = \frac{\gamma}{g}$ – масова густина повітря;

γ – питома вага повітря;

g – прискорення сили тяжіння;

F – площа, через яку протікає вітровий потік;

v – швидкість вітру.

Величина масової густини повітря залежить від барометричного тиску і температури:

$$\rho = \rho_0 \frac{BT_0}{B_0T} = 0,125 \frac{B(273+15)}{760(273+t^\circ)},$$

де $\rho_0 = 0,125 \text{ кг} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ – масова густина повітря при температурі $t = 15^\circ \text{ С}$ і атмосферному тиску $B_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$;

B, t° – відповідно атмосферний тиск, мм рт. ст. і температура повітря в нових умовах, $^\circ\text{С}$;

T_0, T – абсолютні температури повітря при 15°С і в нових умовах.

Вітровий потік, зустрічаючи при русі на своєму шляху лопасті, віддає свою енергію вітроколесу. Внаслідок наявності аеродинамічних втрат вітроколесо використовує тільки частину потужності вітрового потоку. При цьому в результаті безперервної зміни миттєвих швидкостей вітру в значних межах змінюється енергія вітрового потоку, а отже, потужність, що розвивається вітроколесом.

Структура вітрового потоку за проміжок часу характеризується рядом величин:

- 1) середньою швидкістю вітру;
- 2) поривністю вітру;
- 3) мінливістю вітру;
- 4) тривалістю провалів-підйомів швидкостей вітру вище або нижче середнього значення.

Середня швидкість вітру визначається як середня арифметична величина, що отримана з ряду миттєвих швидкостей (вітру), виміряних через рівні інтервали в розглядуваному проміжку часу:

$$v_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i,$$

де $v_{\text{ср}}$ – середня швидкість вітру;

v_i – значення миттєвої швидкості вітру;

n – кількість миттєвих замірів.

Поривністю вітру називається величина відхилення миттєвого значення швидкості вітру від середньої величини. Поривність вітру характеризує глибину провалів-підйомів швидкості вітру та представляється граничним, середнім і найбільш вірогідним (середньоквадратичним) значеннями:

$$\sigma_{\text{гран}} = v_{\text{гран}} - v_{\text{ср}}$$

де $v_{\text{гран}}$ – найбільше або найменше значення миттєвої швидкості вітру на протязі спостерігаємого проміжку часу;

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n (v_i - v_{\text{ср}})}{n};$$

$$\sigma_{\text{ср.кв}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (v_i - v_{\text{ср}})^2}{n}}.$$

Мінливість вітру представляє собою швидкість зміни вітрового потоку і представляється найбільшим і середнім значеннями:

$$\delta = \frac{(v_{\text{max}} - v_{\text{min}})}{\Delta t},$$

де Δt – тривалість інтервалу між миттєвими замірами;

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\sum_1^n \frac{v_{i+1} - v_i}{\Delta t}}{n}.$$

Тривалість провалів і підйомів швидкості вітру представляє собою величини інтервалів (Δt), на протязі яких швидкість вітру має значення більші або менші, ніж середня швидкість вітру за спостерігаємий проміжок часу.

Характерні значення вказаних вище величин в залежності від середніх швидкостей вітру за даними спостережень (за допомогою обертового анемометра на висоті 20 м від поверхні землі) для 10-20 хвилинних інтервалів часу з замірами в одній точці через 5-10 с приведені в табл. 1.1.

Структура вітру в більшій мірі залежить від висоти підйому над земною поверхнею. Наявність перешкод у поверхні землі и тертя нижніх шарів о земну

поверхню знижують швидкість повітряного потоку. Порівність повітряного потоку при зменшенні висоти, навпаки, збільшується.

Таблиця 1.1

Величини, що характеризують структуру вітрового потоку

Середня швидкість вітру за 10-20-хв. інтервал, м/с	Порівність від величини середньої швидкості вітру, %		Мінливість від величини середньої швидкості вітру, %/с		Тривалість провалів і підйомів вітру відносно середньої його швидкості, с	
	$v_{\text{ср}}$	$\sigma_{\text{гран}}$	$\sigma_{\text{ср.кв}}$	$\delta_{\text{найб}}$	$\delta_{\text{ср}}$	$\Delta\tau_{\text{найб}}$
4	50	16,0	8,0	2,8	251	37
6	48	15,0	9,5	2,9	226	34
8	46	14,0	10,5	3,0	201	31
10	44	13,5	11,5	3,05	176	28
12	42	13,0	12,0	3,1	151	25
14	40	12,5	12,25	3,15	126	22
16	38	12,0	13,0	3,2	101	19

Д.Л. Лайхтман запропонував наступну формулу зміни середньої швидкості вітру в залежності від висоти підйому над земною поверхнею:

$$v = v_1 \frac{\ln \frac{h}{h_0}}{\ln \frac{h_1}{h_0}},$$

де v – швидкість вітру на висоті h ;

v_1 – відома швидкість вітру на висоті h_1 ;

h_0 – висота, на яку швидкість вітру в місці зміни дорівнює нулю (табл. 1.2).

Останній вираз є справедливим для відкритих рівним місць при висотах від 10 см до 100 м при адіабатичному та над адіабатичному стані атмосфери. Що стосується інверсійних умов, то задовільні результати дає розрахунок лише до 10-15 м влітку і 50 м взимку. Також, останній вираз не слід використовувати при визначення середніх швидкостей вітру, якщо найбільший відрізок часу менше 10-хвилинного інтервалу.

В пересіченій місцевості характер зміни вітру з висотою значно складніший і в цих умовах використання формули Лайхтмана може призвести до значних помилок.

Таблиця 1.2

Значення висот h_0

Характеристика поверхні підстилання	h_0 , м	Висота трави (нерівностей), м
Бурякове поле	0,067	0,45
Пшеничне поле	0,045	1,3
Поле з низькою травою	0,032	0,2
Поле під паром	0,021	0,1
Сніговий покрив	0,005	0,03

В умовах місцевості, забудованої спорудами або зарослою деревною і кустарною рослинністю, вихроутворення зникають на відстані, приблизно рівній 15-кратній висоті перешкоди. Тому заміри швидкостей неспотвореного вітрового потоку слід проводити на відстані, що дорівнює не менше 15-20-кратній від висоти високих предметів.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Визначення вітрового потенціалу Миколаївської області»: анемометр чашковий МС-13, лабораторний механічний секундомір СОСпр-2б-2-010.

Анемометр чашковий МС-13 (рис. 1.4) призначений для вимірювання середньої швидкості повітряного потоку в промислових умовах і середньої швидкості вітру на метеорологічних станціях. Даний прилад відповідає стандарту ГОСТ 6376-74.

Допустимий діапазон зміни середньої швидкості повітряного потоку для анемометра МС-13 становить від 1 до 20 м/с. Чутливість приладу дорівнює 0,8 м/с.

Границя допустимої похибки вимірювання не більше $\pm (0,3...0,5)v$ м/с, де v – вимірювана середня швидкість повітряного потоку, м/с.

Анемометр виготовляється в двох кліматичних виконаннях:

- а) У1.1 – для роботи в районах з помірним кліматом;
- б) Т1.1 – для роботи в районах з тропічним кліматом.

Перед початком вимірювань необхідно пересвідчитися у відповідності до умов застосування анемометра:

– температура повітря від -45 °С до $+50$ °С;

– відносна вологість повітря 90 % при температурах 20 °С для кліматичного виконання У1.1 і 27 °С для кліматичного виконання Т1.1.

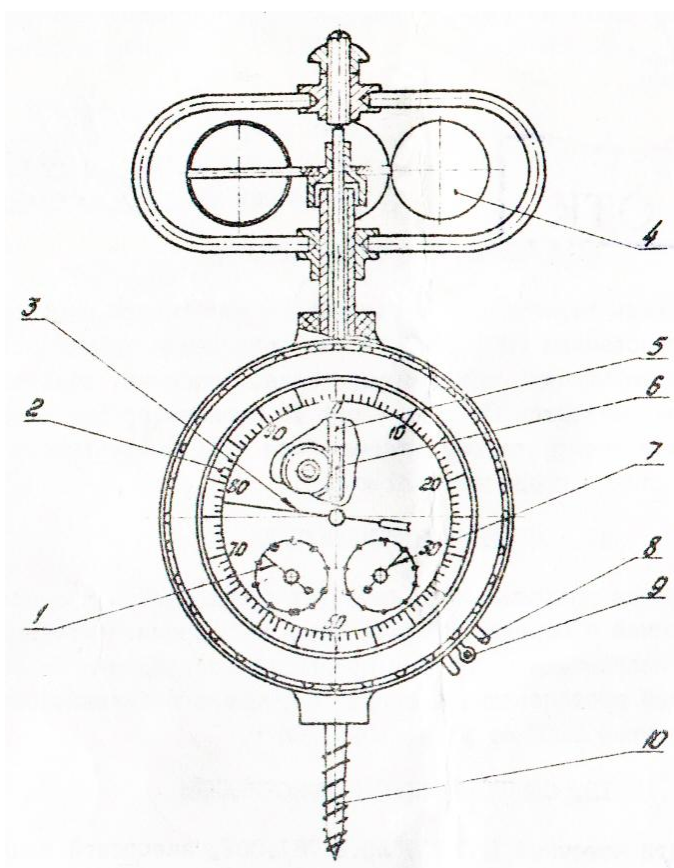
Вітроприймачем анемометра (рис. 4) служить чотиричашковий приймач (вертушка) 4, який насаджено на вісь 5, що обертається в опорах. На нижньому кінці осі 5 нарізано черв'як 6, що зв'язаний з редуктором, який передає рух трьом вказівним стрілкам. Циферблат 2 має відповідно шкали одиниць, сотень, тисяч. Черв'як 6 через черв'ячне колесо і триб передає рух до центрального колеса, на осі якого закріплена стрілка 3 шкали одиниць. Триб центрального

колеса через проміжне колесо обертання приводить в обертання мале колесо, на осі якого насаджена стрілка шкали сотень. Від малого колеса через друге проміжне колесо обертання передається другому малому колесу, вісь якого несе на собі стрілку шкали тисяч 7.

Вмикання і вимикання механізму здійснюється аретиром 9, один кінець якого знаходиться під вигнутою пластинчастою пружиною, яка є підп'ятником черв'ячного колеса. Для вмикання лічильного механізму аретир 9 повертають за годинниковою стрілкою.



а



б

Рис. 1.4 – Анемометр чашковий МС-13:

а – анемометр чашковий МС-13 з трьома шкалами;

б – будова анемометра чашкового МС-13:

- 1 – стрілка шкали сотень; 2 – циферблат; 3 – стрілка шкали одиниць;
- 4 – чотиричашковий вітроприймач (вертушка); 5 – вісь анемометра;
- 6 – черв'як; 7 – стрілка шкали тисяч; 8 – вушка; 9 – аретир; 10 – гвинт

Інший кінець аретиру при цьому піднімає пластинчасту пружину, яка, переміщуючись по осі колеса в осьовому напрямі, виводить черв'ячне колесо з зачеплення з черв'яком 6.

При повороті аретира проти годинникової стрілки черв'ячне колесо входить в зачеплення з черв'яком і вітроприймач анемометра з'єднується з редуктором.

Механізм анемометра закріплено в корпусі з пластмаси, нижня частина корпусу закінчується гвинтом 10, який слугує для кріплення анемометра на стійці або жердині. В корпусі анемометра по обидві сторони аретира 8 вкручені вушка 8, через які пропускається шнур для вмикання або вимикання анемометра, що піднято на стійці (жердині).

Вітроприймач анемометра захищений хрестовиною з проволочених дужок, яка слугує також для кріплення верхньої опори осі вітроприймача.

Порядок роботи з чашковим анемометром МС-13:

1. Перед вимірюванням швидкості вітру записують покази за трьома шкалами.

2. У вимірюваному повітряному потоці анемометр встановлюють вертикально і через 10-15 с одночасно вмикають аретиром механізм анемометра і секундомір.

В якості секундоміра можна застосувати лабораторний механічний секундомір СОСпр-2б-2-010, порядок роботи з яким наведено нижче.

3. Після завершення експонування анемометра коли час вимірювання збігає, механізм і секундомір вимикають і записують показання за шкалами і час експозиції в секундах.

4. Різниця між кінцевим і початковим відліком ділиться на час експозиції і визначається число поділок шкали, які приходять на одну секунду.

5. Швидкість вітру визначається за градувальним (тарувальним) графіком, який додається до анемометра (рис. 1.5).

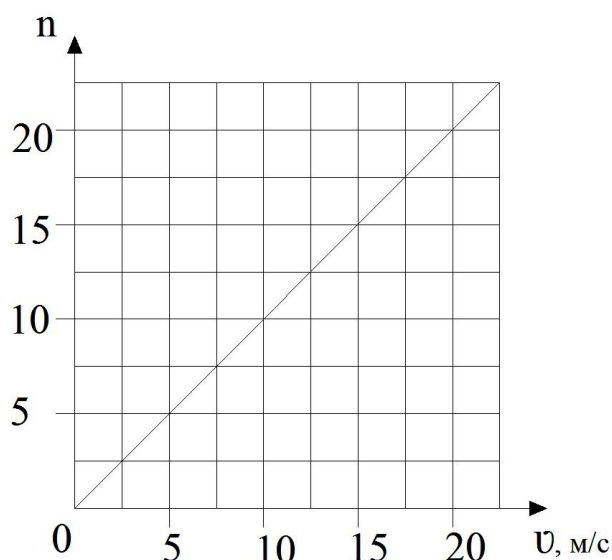


Рис. 1.5 – Градувальний (тарувальний) графік $n = f(v)$
чашкового анемометра МС-13

На вертикальній осі графіка знаходять число поділок шкали n , які припадають на одну секунду. Від цієї точки проводиться горизонтальна лінія до перетину з прямою графіка, а з точки перетину проводиться вертикальна лінія до перетину з горизонтальною віссю. Точка перетину вертикалі з горизонтальною віссю графіка визначає шукану швидкість повітряного потоку v в м/с.

Слід пам'ятати, що анемометр потребує обережного використання для уникнення механічних ушкоджень. Через ушкодження вітроприймача або захисних дужок можуть бути порушені градувальні (тарувальні) характеристики. При вкручуванні гвинта 10 анемометра в дерев'яну стійку або жердину анемометр слід тримати за корпус, не торкаючись захисних дужок вітроприймача.

Шнур для вмикання анемометра МС-13 повинен легко проходити в отвір вушка аретира і в отвір інших вушок.

В проміжках між окремими вимірюваннями прилад повинен зберігатися в футлярі з відключеним механізмом. Повірка анемометра виконується за допомогою спеціальної аеродинамічної труби метрологічною службою.

Також, в дослідах даної лабораторної роботи застосовується механічний секундомір СОСпр-2б-2-010 (рис. 1.6).



Рис. 1.6 – Лабораторний механічний секундомір СОСпр-2б-2-010

Секундомір СОСпр-2б-2-010 механічний сумуючий призначений для вимірювання часу в хвилинах, секундах і долях секунди, застосовується при проведенні наукових досліджень, при хронометражі різних медичних терапевтичних процедур, а також при проведенні спортивних змагань.

Механізм секундоміра калібру 42 мм на 16-ти рубінових каменях має пружинний двигун, анкерний хід і коливальну систему «баланс-спіраль» з періодом коливання 0,4 с. Тривалість роботи від одного повного заведення не менше 18 годин.

Для керування стрілками механізм секундоміра забезпечений спеціальним пристроєм сумуючої дії. Пуск, зупинка стрілок здійснюється натисканням на заводну головку, повернення на нуль – натисканням на кнопку.

Секундомір має 60-секундну шкалу з ціною поділки 0,2 с і 60-хвилинний лічильник з ціною поділки 1 хв. Корпус секундоміра металевий, хромований.

Порядок роботи з механічним секундоміром СОСпр-26-2-010 наступний:

1. Перед початком роботи секундомір слід завести, обертаючи за годинниковою стрілкою його головку. Заводка повинна бути повною (до упору). Для уникнення зриву заводної пружини обертати головку слід правильно, не докладаючи великих зусиль.

В подальшому необхідно заводити секундомір кожні 8 годин безперервної роботи.

2. Після завершення роботи з секундоміром рекомендується для розпуску заводної пружини залишати його ввімкненим.

3. Пуск і зупинка секундоміра здійснюється шляхом послідовних натискань на заводну головку.

Пуск секундоміра після його зупинки відбувається без скидання попереднього значення (поточні покази сумуються з попередніми).

4. Установка стрілок секундоміра на нуль (скидання показів) здійснюється кнопкою, яка розташована збоку від заводної головки. Скидання показів можливе тільки, коли секундомір зупинений. В іншому випадку кнопка скидання заблокована.

5. Слід оберегати секундомір від ударів, падінь і сильних струсів, а також від прямого потрапляння в нього вологи.

Вимірювання середньої швидкості вітрового слід здійснити за допомогою чашкового анемометра МС-13. В табл. 1.3 наведена форма для занесення даних, отриманих протягом експериментів.

Таблиця 1.3

Зведені експериментальні та розрахункові дані
для обчислення середньої швидкості вітру

Час протягом дня	До вмикання	Після вмикання	Різниця	Тривалість заміру	Число поділок шкали	Швидкість вітру

На основі проведених вимірювань середньої швидкості вітрового потоку було будується залежність $v = f(t)$ зміни середньої швидкості вітрового потоку v від часу доби t . Отримані шляхом експерименту дані для середньої швидкості вітру v необхідно порівняти з середньорічним значенням швидкістю вітру v_{cp} для Миколаївської області.

Лабораторна робота № 2. Визначення характеристик вітрорушій різної конструкції на моделях з використанням аеродинамічної труби

Метою лабораторної роботи «Визначення характеристик вітрорушій різної конструкції на моделях з використанням аеродинамічної труби» є практичне вимірювання швидкості повітряного потоку, який проходить через вітрорушій, від аеродинамічної труби, закріплення практичних навичок користування експериментальним обладнанням та вимірювальною апаратурою для визначення швидкості вітрового потоку, ознайомлення з вітроустановкою типу аеродинамічна труба, отримання характеристик вітрового потоку для розглядуваного в роботі вітрорушій.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Установки для створення рівномірного, прямолінійного, усталеного потоку повітря або газу із заданою швидкістю з метою дослідження обтікання тіл (моделей), руху цих тіл (моделей) в повітряному потоці, а також для перевірки і роботи з анемометрами називаються аеродинамічними трубами. Аеродинамічні труби в основному характеризуються розмірами робочої частини і максимальною швидкістю потоку в робочій частині.

Залежно від того, чи є потік замкнутим, аеродинамічні труби діляться на два типи: прямі труби з незамкнутим потоком (рис. 2.1) і труби, в яких повітря циркулює в замкнутому каналі.

Головний недолік незамкнених труб полягає в тому, що їх необхідно розташовувати у великих приміщеннях. Необхідно, щоб поперечний переріз приміщення у багато разів перевершувало площа перетину труби, тоді швидкість повітря в приміщенні буде невеликою.

Іншим недоліком труб першого типу є їх низький ККД, оскільки на виході з труби втрачається вся кінетична енергія потоку. Останній недолік усувається в трубах замкнутого типу. Однак замкнутість потоку призводить до того, що виникають повітряні збурення за гвинтом, а також на поворотах труби, ці збурення поширюються за потоком у зворотному каналі і досягають робочої частини, роблячи потік в ній неоднорідним. Цей дефект може бути ліквідований розширенням потоку у зворотному каналі і підтисканням потоку робочою частиною, встановленням лопаток на поворотах та іншими способами.

Аеродинамічна труба відкритого типу, оснащена електроприводом постійного струму, повітряним гвинтом, що згладжує потік хонейкомбом і мікропроцесорним регулятором швидкості повітряного потоку. Призначена для повірки та калібрування анемометрів крильчатих і чашкових, термоанемометров, напорних трубок (приймачів тиску). Діапазон відтворюваних швидкостей повітряного потоку від 0,3 м / с до 20 м / с. Максимально допустиме значення похибки відтворення швидкості: $\pm (0,05 + 0,02 * V)$ м / с, де V - встановлене значення швидкості.



Рис. 2.1 – Аеродинамічна труба відкритого типу

Існує два основних типи вітрогенераторів: з горизонтальною віссю обертання і вертикальною (рис. 2.2). Горизонтальні вітряки повинні бути спрямовані за вітром. Для цього, в їх конструкції передбачений так званий "хвіст".

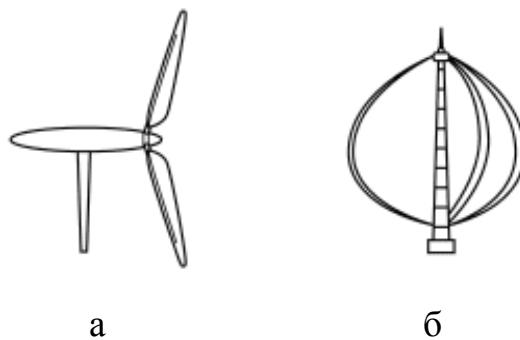


Рис. 2.2 – Основні типи конструкцій вітрорухіїв:

а – з горизонтальною віссю обертання;

б – з вертикальною віссю обертання

Вертикальні вітрогенератори працюють в будь-якому напрямку вітру, але вимагають більше наземного простору, тому необхідно передбачити розтяжки для стійкості вітряка.

Турбіни з горизонтальною віссю і високим коефіцієнтом швидкохідності мають найбільше значення коефіцієнта використання енергії вітру (0,46-0,48). Віротурбіни з вертикальним розташуванням осі менш ефективні (0,45), але мають ту перевагу, що не вимагають настроювання на напрямок вітру.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Визначення характеристик вітрорушії на моделях з використанням аеродинамічної труби»: аеродинамічна труба лабораторії «Енергозбереження та використання поновлювальних джерел енергії» кафедри електротехнологій і електропостачання, вентилятор аеродинамічної труби, вітрорушій з горизонтальною віссю обертання, вітрорушій з вертикальною віссю обертання (додатково), анемометр чашковий МС-13, лабораторний механічний секундомір СОСпр-2б-2-010, лабораторний автотрансформатор ЛАТР LTC-1000, джерело живлення, яке обладнане вольтметром, вольтметр, тахометр, метрова рулетка (або лінійка).

Лабораторний стенд з аеродинамічною трубою показаний на рис. 2.3.

Чашковий і крильчастий анемометри – прилади для вимірювання швидкості руху повітряного потоку. Принцип дії анемометра заснований на лінійній залежності швидкості обертання робочого органу (крильчатки і хрестовини з напівкулями) від швидкості руху повітря. У чашкового анемометра на осі насаджена вертушка-хрестовина з порожніми напівсферами, у крильчастого – вертушка млинного тику з товстої алюмінієвої фольги.

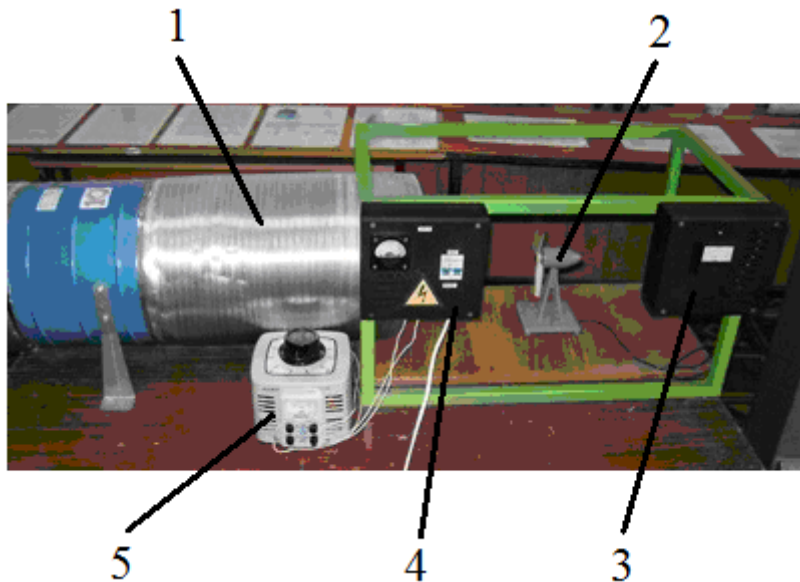


Рис. 2.3 – Лабораторний стенд з аеродинамічною трубою:

- 1 – аеродинамічна труба; 2 – вітрорухій з горизонтальною віссю обертання;
3 – вольтметр; 4 – джерело живлення;
5 – лабораторний автотрансформатор ЛАТР LTC-1000

Прилад має три циферблати (рис. 2.4). Центральна велика стрілка показує одиниці і десятки, стрілки двох малих циферблатів – сотні і тисячі поділок. На маленьких циферблатах враховуються лише цілі поділки.

Під дією повітряного потоку сприймальна частина приладу починає обертатися. Вітроприймачем чашкового анемометру слугує чотири чашкова вертушка. Це обертання при ввімкненій передачі через систему зубчастих коліс приводить в рух стрілки лічильників обертів.

Швидкість руху повітряного потоку пропорційна показам лічильника, яка характеризує довжину шляху, пройденого потоком повітря повз прилад за певний час. До кожного приладу додається тарувальний графік, за яким в залежності від швидкості обертання визначають швидкість руху повітря.

Границі вимірювань: для чашкового анемометра – від 1 до 20 м/с і для крильчастого – від 0,3 до 5 м/с.

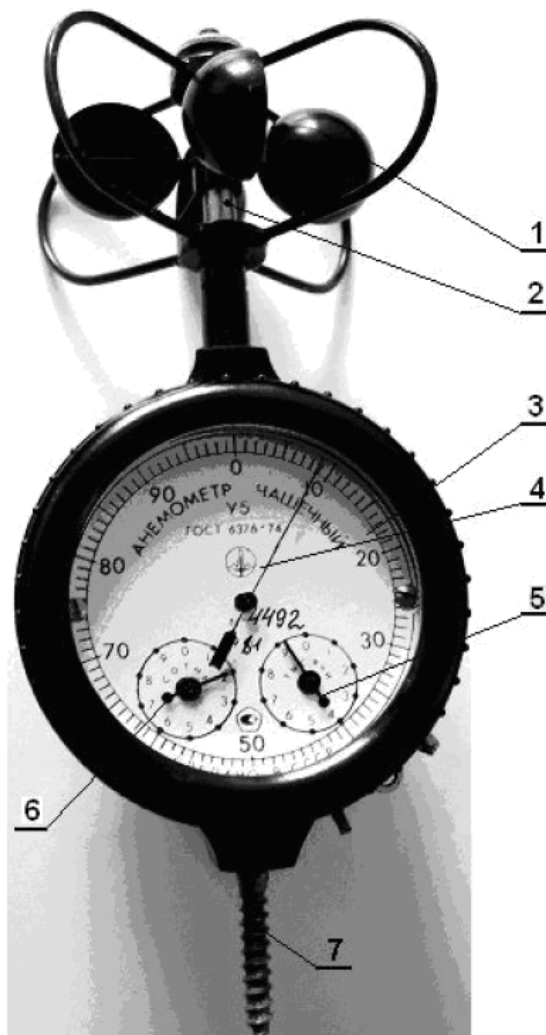


Рис. 2.4 – Анемометр чашковий МС-13:

- 1 – вертушка; 2 – вісь; 3 – циферблат ; 4 – стрілка шкали одиниць;
5 – стрілка шкали тисяч; 6 – стрілка шкали сотень; 7 – гвинт

Порядок проведення вимірювання швидкості вітрового потоку від вентилятора аеродинамічної труби до вітрорушії лабораторного стенду з використанням чашкового анемометра МС-13:

1. Встановити вітрорушій навпроти аеродинамічної труби, таким чином щоб центр лопастей вітрорушії збігався з центром труби, на задану відстань.
2. Записати вихідне положення стрілок циферблатів – тисячі, сотні, одиниці.
3. Встановити необхідну напругу живлення вентилятора за допомогою лабораторного автотрансформатора ЛАТР LTC-1000.

4. Ввімкнути вентилятор аеродинамічної труби.

5. Через 1-2 хвилини необхідно вимкнути вентилятор і записати нове положення стрілок анемометру.

6. Різницю цих показів (між кінцевим і початковим відліком) слід поділити на час (тривалість) вимірювання, отримавши тим самим число ділень лічильника за 1 секунду.

7. За градуовальним (тарувальним) графіком (рис. 1.4) визначити шукану швидкість руху повітря.

8. Встановити вітрорушій іншої конструкції та повторити пункти 1-7 досліді (додаткові вимірювання для вітрорушій іншої конструкції).

Примітка: при визначенні швидкості вітрового потоку безпосередньо на виході аеродинамічної труби анемометр встановлюється в п'яти точках вимірювання (О, А, В, С, D), як показано на рис. 2.5.

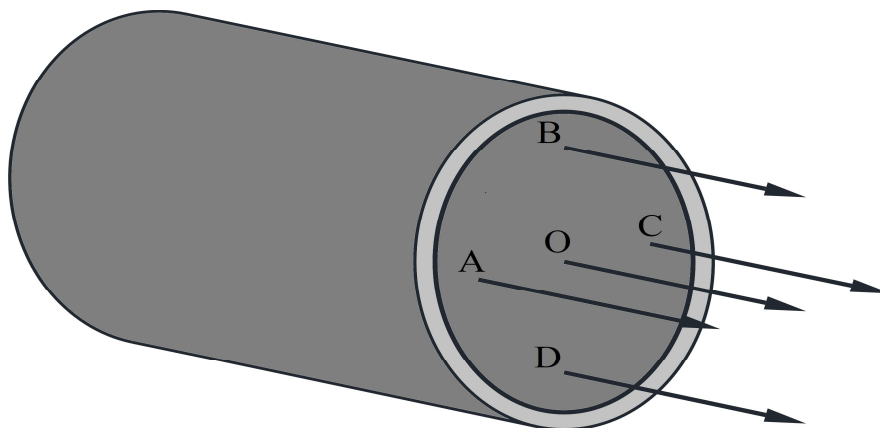


Рис. 2.5 – Вимірювальні точки на виході аеродинамічної труби:

О – центральна точка для вимірювань; А, В, С, D – рівновіддалені від центру крайові точки вимірювань в горизонтальній і вертикальній площинах

Слід зазначити, що під терміном «крайова швидкість» слід розуміти усереднене значення швидкостей в точках А, В, С, D (рис. 2.5).

Для зручності проведення дослідів пропонується використати форму табл. 2.1 для заповнення дослідних даних по визначенню швидкості анемометром.

Таблиця 2.1

Форма для дослідних даних по визначенню швидкості повітря анемометром

Тип анемометра	Покази лічильника, число поділок шкали		Різниця між кінцевим і початковим показами приладу	Тривалість заміру, с	Кількість ділень лічильника за 1 с	Швидкість руху повітря, м/с
	До вмикання приладу	Після вимкнення приладу				

Лабораторна робота № 3. Визначення характеристик фотогальванічних елементів панелей сонячних електростанцій

Метою лабораторної роботи «Визначення характеристик фотогальванічних елементів панелей сонячних електростанцій» є вивчення принципу перетворення сонячної енергії в електричну, дослідити основні технічні характеристики фотогальванічних елементів панелей сонячних електростанцій.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Внаслідок реакцій ядерного синтезу в активному ядрі Сонця досягаються температури до 10^7 К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в

космічний простір і досягає поверхні Землі. Вся поверхня Землі отримує від Сонця потужність близько $1,2 \cdot 10^{17}$ Вт. Це еквівалентно тому, що менше однієї години отримання цієї енергії достатньо, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна густина потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, становить приблизно, 1 кВт/м^2 . Для населених районів залежно від місця, часу доби і погоди потоки сонячної енергії змінюються від 3 до 30 МДж/м^2 на день.

В середньому для створення комфортних умов життя потрібно приблизно 2 кВт потужності сонячного випромінювання на людину або приблизно 86 МДж енергії на добу. Якщо ефективність перетворення сонячної енергії в зручну для споживання форму прийняти за 5% і потік сонячної енергії 17 МДж/м^2 в день, то необхідну для однієї людини енергію можна отримати з 5 м^2 площі земної поверхні. При середній щільності населення в містах 500 осіб на 1 км^2 на одну людину припадає 2000 м^2 земної поверхні. Таким чином, достатньо всього 5% цієї площі, щоб за рахунок сонячної енергії, яка знімається з неї, задовольнити енергетичні потреби людини.

Для характеристики сонячного випромінювання використовуються наступні основні величини.

Потік випромінювання – величина, що дорівнює енергії, яку переносять електромагнітні хвилі за одну секунду через довільну поверхню. Одиниця виміру потоку випромінювання – $1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$.

Густина потоку випромінювання (енергетична освітленість) – величина, що дорівнює відношенню потоку випромінювання до площі рівномірно опроміненої ним поверхні. Одиниця виміру щільності потоку випромінювання – Вт/м^2 . Густина сонячного потоку випромінювання, що падає на перпендикулярну йому площадку поза земною атмосферою, називається сонячною константою, яка дорівнює 1367 Вт/м^2 .

Світловим потоком називається потік випромінювання, який оцінюється за його впливом на людське око. Людське око неоднаково чутливе до потоків світла з різними довжинами хвиль. Зазвичай при денному освітленні око

найбільш чутливе до світла з довжиною хвилі 555 нм. Тому однакові за потужністю потоки випромінювання, але різних довжин хвиль викликають різні світлові відчуття у людини. Одиницею виміру світлового потоку з точки зору сприйняття його людським оком (яскравості) є люмен (лм). Світловий потік в 1 лм білого світла дорівнює $4,6 \cdot 10^{-3}$ Вт (або $1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освітленість – величина, що дорівнює відношенню світлового потоку до площі на яку він падає, освітленість вимірюється в люксах (лк). $1 \text{ лк} = 1 \text{ лм/м}^2$. Для білого світла $1 \text{ лк} = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт/м}^2$ (або $1 \text{ Вт/м}^2 = 217 \text{ лк}$).

Прилади, що призначені для вимірювання освітленості, називаються люксметрами.

Освітленість, яка створюється різними джерелами, наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Освітленість, що створюється різними джерелами світла

Джерела	Освітленість, лк	Освітленість, Вт/м ²
Сонячне світло опівдні (середні широти)	100000	460
Сонячне світло взимку	10000	46
Хмарне небо взимку	1000-2000	23-92
Хмарне небо влітку	5000-20000	4,6-9,2
Розсіяне світло в світлій кімнаті (поблизу вікна)	100	0,46
Світильники, що створюють необхідну для читання освітленість	30-50	0,14-0,23
Повна Луна, що опромінює поверхню Землі	0,2	$0,92 \cdot 10^{-3}$

У зв'язку з великим потенціалом сонячної енергії надзвичайно доцільним є максимально можливе безпосереднє використання її для потреб людей. При цьому найоптимальнішим видається пряме перетворення сонячної енергії в найбільш поширену у використанні електричну енергію.

Це стає можливим при використанні такого фізичного явища як фотоэффект.

Фотоэффектом називаються електричні явища, що відбуваються в результаті впливу на речовину світла, а саме: вихід електронів з металів (фотоелектрична емісія або зовнішній фотоэффект), переміщення зарядів через межу розділу напівпровідників з різними типами провідності (р-n) (вентильний фотоэффект), зміна електричної провідності (фотопровідність).

При освітленні границі розділу напівпровідників з різними типами провідності (р-n) між ними встановлюється різниця потенціалів (фото-ЕРС). Це явище називається вентильним фотоэффектом, і на його використанні засновано створення фотоелектричних перетворювачів енергії (сонячних елементів і батарей).

Найбільш поширеним напівпровідником, що використовується для створення сонячних фотогальванічних елементів, є кремній.

Сонячні фотогальванічні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, тобто відношення електричної потужності до потоку випромінювання, що падає на активну поверхню фотогальванічного елемента. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10-15% (тобто при освітленості 1 кВт/м^2 виробляють електричну потужність 100-150 Вт) при створюваній різниці потенціалів близько 1 В.

Типова структура сонячного елемента з р-n переходом зображена на рис. 2.1 і містить:

- 1 – шар напівпровідника (товщиною 0,2-1,0 мкм) з n-провідністю;
- 2 – шар напівпровідника (товщиною 250-400 мкм) з р- провідністю;
- 3 – додатковий потенційний бар'єр (товщиною 0,2 мкм);
- 4 – металевий контакт з тильного боку;

5 – з'єднувальний провідник з лицьовою поверхнею попереднього елемента;

6 – противідбивне покриття;

7 – лицьовий контакт;

8 – з'єднувальний провідник до тильного контакту наступного елемента.

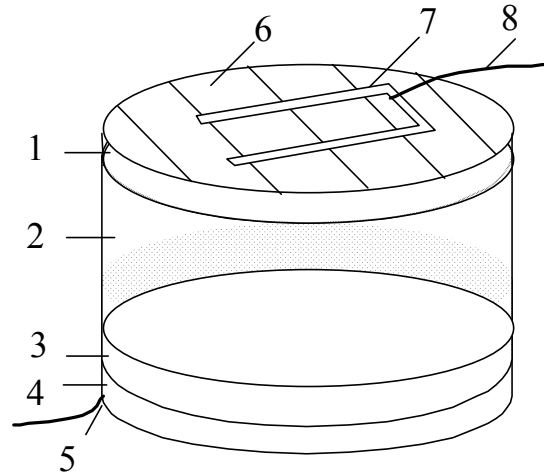


Рис. 3.1 – Структура сонячного фотогальванічного елемента

Характерний розмір сонячного елемента становить 10 см.

Сонячні елементи послідовно з'єднуються в сонячні модулі, які у свою чергу паралельно з'єднуються в сонячні батареї, як зображено на рис. 3.2.

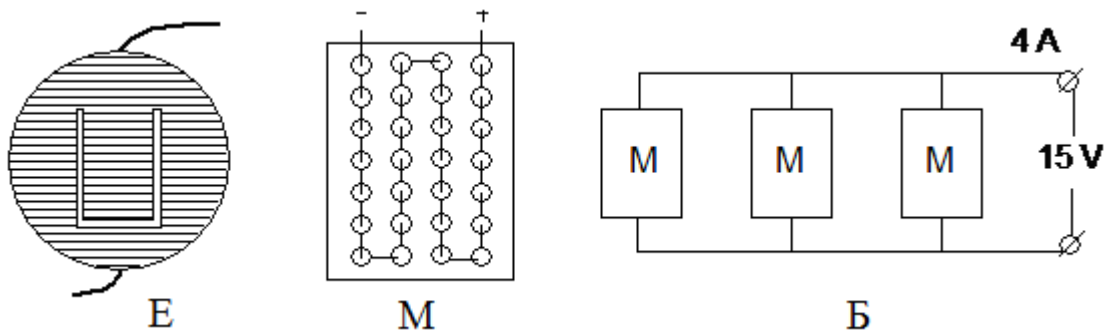


Рис. 3.2 – Склад сонячної батареї:

Е – сонячний фотогальванічний елемент;

М – сонячний модуль; Б – сонячна батарея

У 1958 році вперше сонячні батареї були використані в США для енергозабезпечення штучного супутника Землі Vanguard 1. У подальшому вони стали невід'ємною частиною космічних апаратів. Широко відомі мікрокалькулятори, годинники, радіоприймачі і багато інших електронних апаратів, що працюють на сонячних батареях.

За останні роки світові продажі сонячних модулів склали за сумарною потужністю 25 МВт в 1986 році і близько 60 МВт – в 1991 році.

Повна вартість сонячних елементів з 1970-х рр. по нині впала приблизно зі 100 до 4 доларів США на 1 Вт максимальної потужності. Передбачається зниження цієї величини до 0,8 доларів США. Однак навіть при повній вартості сонячних елементів 4 долари США на 1 Вт плюс допоміжної апаратури 2 долари США на 1 Вт при опромінюванні місцевості 20 МДж/м² в день і довговічності сонячних батарей 20 років вартість виробленої ними електроенергії становить приблизно 16 центів США за 1 кВт·год (4,4 цента за МДж). Це є цілком конкурентоспроможним з електроенергією, що виробляється дизель-генераторами, особливо у віддалених районах, де вартість доставки палива та обслуговування різко зростає. Очікується, що в найближчі кілька років сонячні батареї будуть широко використовуватися країнами, що розвиваються, в сільських місцевостях в освітлювальних системах і системах водопостачання.

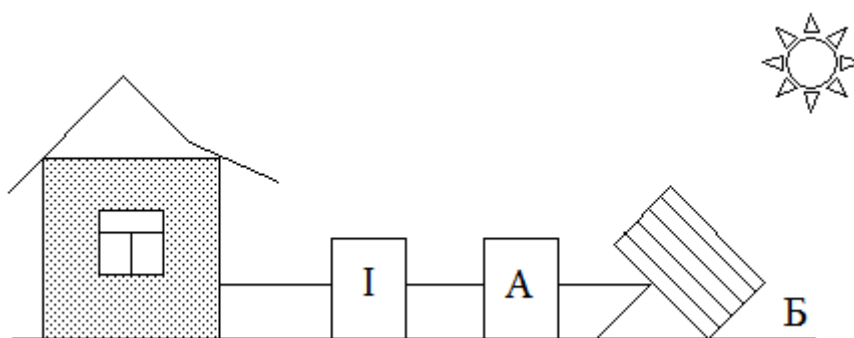


Рис. 3.3 – Спрощена структура сонячної енергетичної установки

Основні компоненти сонячної енергетичної установки зображені на рис. 3.3. Ними є: Б – батарея сонячна з приладами контролю і керування; А – акумуляторна батарея; І – інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в змінний струм промислових параметрів, що споживається більшістю електричних пристроїв.

Незважаючи на нерівномірність добового потоку сонячного випромінювання і його відсутність у нічний час, акумуляторна батарея, що накопичує вироблену сонячною батареєю електрику, дозволяє забезпечити безперервну роботу сонячної енергетичної установки.

Фотоелемент – електронний прилад, який перетворює енергію фотонів в електричну енергію. Перший фотоелемент, заснований на зовнішньому фотоелементі, створив Олександр Столетов в кінці XIX століття.

Найбільш ефективними, з енергетичної точки зору, пристроями для перетворення сонячної енергії в електричну є напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі (ФЕП), оскільки це прямий, одноступінчатий перехід енергії. ККД вироблених у промислових масштабах фотоелементів в середньому становить 16%, у кращих зразків до 25%. У лабораторних умовах вже досягнуто ККД 43,5%.

На рис. 3.4 зображено фотоелемент на основі мультикристалічного кремнію.

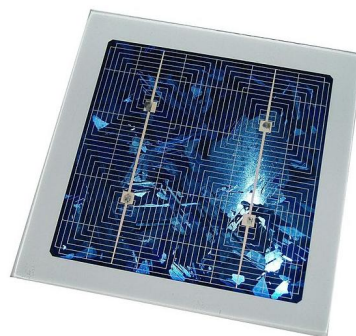


Рис. 3.4 – Фотоелемент на основі мультикристалічного кремнію

Фізичний принцип роботи фотоелемента. Перетворення енергії в ФЕП засновано на фотоелектричному ефекті, який виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах в результаті впливу на них сонячного випромінювання.

Неоднорідність структури ФЕП може бути отримана легуванням одного і того ж напівпровідника різними домішками (створення р-n переходів) або шляхом з'єднання різних напівпровідників з неоднаковою шириною забороненої зони – енергії відриву електрона від атома (створення гетеропереходів), або ж за рахунок зміни хімічного складу напівпровідника, що приводить до появи градієнта ширини забороненої зони (створення варізонних структур). Можливі також різні комбінації перерахованих способів.

Ефективність перетворення залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найбільш важливу роль відіграє фотопровідність. Вона обумовлена явищами внутрішнього фотоефекту в напівпровідниках при опроміненні їх сонячним світлом.

Основні незворотні втрати енергії в ФЕП пов'язані з:

- відбиттям сонячного випромінювання від поверхні перетворювача;
- проходженням частини випромінювання через ФЕП без поглинання в ньому;
- розсіюванням на теплових коливаннях ґратки надлишкової енергії фотонів;
- рекомбінацією фото-пар, що утворюються на поверхнях і в об'ємі ФЕП;
- внутрішнім опором перетворювача;
- деякими іншими фізичними процесами.

Для зменшення всіх видів втрат енергії в ФЕП розробляються і успішно застосовуються різні заходи. До їх числа відносяться:

- використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони;

- спрямоване поліпшення властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;
- перехід від гомогенних до гетерогенним і варізонних напівпровідникових структур;
- оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання р-n переходу, товщини базового шару, частоти контактної сітки тощо);
- застосування багатофункціональних оптичних покриттів, які забезпечують просвітлення, терморегулювання і захист ФЕП від космічної радіації;
- розробка ФЕП, прозорих в довгохвильовій області сонячного спектра за краєм основний смуги поглинання;
- створення каскадних ФЕП із спеціально підібраних по ширині забороненої зони напівпровідників, які дозволяють перетворювати в кожному каскаді випромінювання, що пройшло через попередній каскад та ін.

Також істотного підвищення ККД ФЕП вдалося досягти за рахунок створення перетворювачів з двосторонньою чутливістю (до +80% від наявного ККД одного боку), застосування люмінесцентно перевипромінювальних структур, попереднього розкладу сонячного спектра на дві або більше спектральні області за допомогою багат шарових плівкових світлоподілювачів (діхроїчних дзеркал) з подальшим перетворенням кожної ділянки спектру окремим ФЕП і т. д.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Визначення характеристик фотогальванічних елементів панелей сонячних електростанцій»: панель зі спицею, напівпровідниковими фотоелементами: УН116*116-12А/В250-М_1195,

УН40*40-4А/В40-М_1203, мультиметр, резистор, лінійка, транспорир, люксметр Ю-116.

Сонячний мультикристалічний фотоелемент УН116*116-12А/250-М_1195 (рис. 3.5, а) має габаритні розміри: $11,6 \times 11,6 \times 2,5$ мм, напругу неробочого ходу $U = 7,2$ В, струм короткого замикання $I_{кз} = 275$ мА. Потужність цього фотогальванічного елемента становить $P = 1,5$ Вт.

Сонячний мультикристалічний фотоелемент УН40*40-4А/В40-М_1203 (рис. 3.5, б) має габаритні розміри: $40 \times 40 \times 2,5$ мм, напругу неробочого ходу $U = 2,4$ В, струм короткого замикання $I_{кз} = 44$ мА. Його потужність дорівнює $P = 0,08$ Вт.

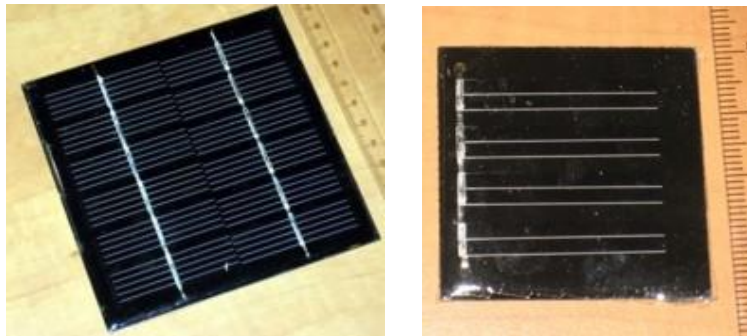


Рис. 3.5 – Сонячні монокристалічні фотоелементи:

а – УН116*116-12А/250-М_1195 потужністю $P = 1,5$ Вт;

б – УН40*40-4А/В40-М_1203 потужністю $P = 0,08$ Вт

ККД сонячного фотоелемента можна визначити як відношення потужності електричного струму $P_{ел}$ на зовнішньому колі до потужності сонячного випромінювання P_c , що падає на фотоелемент:

$$\eta = \frac{P_{ел}}{P_c}. \quad (3.1)$$

Для вимірювання потужності струму збирають принципову електричну схему, яка наведена на рис. 3.5. При освітленні фотоелемента в колі з'являється струм, потужність якого знаходять згідно з формулою:

$$P_{\text{ел}} = IU, \quad (3.2)$$

де I – сила струму; U – напруга на резисторі, що ввімкнений в мережу. Ці величини визначають міліамперметром і вольтметром або мультиметром.

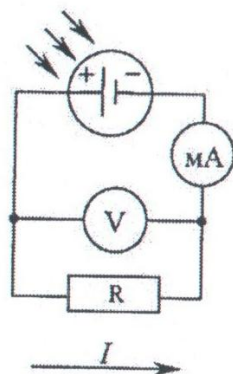


Рис. 3.5 – Принципова схема лабораторного стенду

Потужність сонячного випромінювання доцільно визначити за наступною методикою. Відомо, що густина потоку сонячного випромінювання J_c за межами земної атмосфери дорівнює 1373 Вт/м^2 . На земній поверхні ця величина є меншою, оскільки частина світлового випромінювання відбивається атмосферою, а інша поглинається нею. Тому величина J_c залежить від товщини шару атмосфери, який долає випромінювання. Іншими словами, J_c залежить від кута φ , під яким сонячні промені падають на Землю в даній точці земної поверхні. Для $\varphi = 90^\circ$ товщина шару є найменшою, тому J_c – максимальна. Залежність $J_c(\varphi)$ для безхмарного неба наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Залежність густини сонячного випромінювання J_c від кута φ

φ , град	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	75
J_c , Вт/м^2	270	450	570	660	730	770	810	840	870	890	900	910	915	920

Оскільки $J_c = \frac{P_c}{S}$, де S – площа поверхні фотоелемента, то $P_c = J_c S$.

Тоді, з урахуванням (3.2) формула (3.1) запишеться наступним чином:

$$\eta = \frac{IU}{J_c S}. \quad (3.3)$$

Порядок виконання роботи:

1. Скласти електричне коло, зображене на рис. 3.5.
2. Розташувати поверхню фотоелемента перпендикулярно сонячним променям (рис. 3.6). Для цього фотоелемент закріплюється на панелі зі спицею.

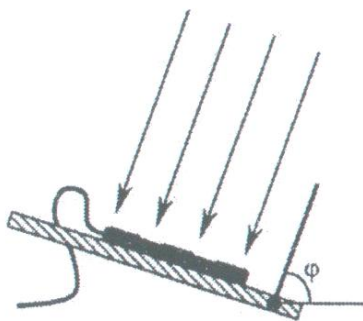


Рис. 3.6 – Панель з фотогальванічними елементами та спицею

3. Повернути панель із закріпленими фотогальванічними елементами таким чином, щоб довжина тіні від перпендикулярно встановленої спиці дорівнювала нулю та виміряти транспортиром кут ϕ (рис. 3.6).

4. Виміряти напругу U і силу струму фотоелемента за допомогою вольтметра (мультиметра) і міліамперметра.

4. Виміряти лінійкою розміри фотоелемента і розрахувати площу його поверхні.

5. Розрахувати ККД сонячної батареї за формулою (3.3).

Дощечка з закріпленими на ній сонячними фотогальванічними елементами показана на рис. 3.7.



Рис. 3.7 – Дощечка з закріпленими на ній сонячними фотогальванічними елементами

Результати вимірювань параметрів фотогальванічних елементів слід занести в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Результати вимірювань параметрів фотоелемента

Вимірювані величини	I , мА	U , В	φ , град	J_c , Вт/м ²
Розрахункові величини	S , м ²		$\eta \cdot 100$, %	

Лабораторна робота № 4. Вимірювання і порівняння освітленості електричних джерел світла

Метою лабораторної роботи «Вимірювання і порівняння освітленості електричних джерел світла» є ознайомлення з приладами та апаратурою для вимірювання освітлення, вимірювання і порівняння отриманих характеристик при використанні різних електричних джерел світла.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Світло – це електромагнітні хвилі, довжина яких знаходиться в діапазоні $4 \cdot 10^{-7} \dots 8 \cdot 10^{-7}$ м. Електричні хвилі випромінюються при прискореному русі заряджених частинок. Для того, щоб атом або молекула почали випромінювати, їм необхідно передати певну кількість енергії. Випромінюючи, вони втрачають отриману енергію, тому для безперервного світіння необхідний постійний приплив енергії ззовні.

Потік випромінювання $\Phi_{\text{випр}}$ – енергія, що переноситься електромагнітними хвилями за 1 секунду через довільну поверхню. Одиниця виміру потоку випромінювання – $1 \text{ Дж/с} = 1 \text{ Вт}$.

Енергетична освітленість $E_{\text{ен}}$ (густина потоку випромінювання) – відношення потоку випромінювання до площі рівномірно опроміненої ним поверхні. Одиниця виміру енергетичної освітленості – Вт/м^2 .

Світловий потік Φ – потік випромінювання, що оцінюється за його впливом на людське око. Людське око неоднаково чутливе до потоків світла з різними довжинами хвиль (найбільш чутливим око є при денному освітленні до світла з довжиною хвилі 555 нм). Одиницею виміру світлового потоку з точки зору сприйняття його людським оком (яскравості) є люмен (лм). Світловий потік в 1 лм білого світла дорівнює $4,6 \cdot 10^{-3} \text{ Вт}$ ($1 \text{ Вт} = 217 \text{ лм}$).

Освітленість E – відношення світлового потоку, що падає на поверхню, до площі цієї поверхні. Вимірюється в люксах (лк), де люкс –освітленість, при якій на 1 м^2 поверхні рівномірно розподілений світловий потік в 1 люмен.

Освітленість поверхні є прямо пропорційною світловому потоку і обернено пропорційною квадрату відстані від джерела.

Теплове випромінювання – найбільш поширений вид випромінювання. При цьому втрати атомами або молекулами енергії на випромінювання світла компенсуються за рахунок енергії їх теплового руху. Чим вищою є температура середовища, тим швидше рухаються атоми або молекули. Під час їх зіткнення частина кінетичної енергії перетворюється в енергію збудження, яка потім перетворюється в світлову.

Люмінесцентне випромінювання виходить з порівняно невеликого числа центрів люмінесценції – атомів, молекул або іонів, що приходять в збуджений стан під впливом зовнішніх причин, а потім, в результаті переходу збудженого центру на нижчий енергетичний рівень, випускають квант люмінесцентного випромінювання. Речовини, в яких відбувається люмінесценція, називаються люмінофорами.

Електричні джерела світла за способом генерування ними випромінювання поділяються на температурні (лампи розжарювання (розжарювання)) і люмінесцентні (люмінесцентні і газорозрядні лампи).

Принцип дії ламп розжарювання заснований на вищеописаному тепловому випромінюванні. Використання цього принципу обумовлює основні недоліки ламп розжарювання, а саме:

- низький ККД (близько 2%), так як переважна частина споживаної електроенергії цими лампами перетворюється не в світлову, а в теплову енергію;

- низький термін служби, який в середньому становить близько 1000 годин та обмежується терміном придатності спіралі, яка працює при великих температурах. Строк служби ламп розжарювання знижується при їх вібраціях, частих вмикання та вимиканнях, не вертикальному положенні.

Крім того, світло ламп розжарювання відрізняється від природного переважанням променів жовто-червоної частини спектру, що спотворює природну забарвлення предметів.

Незважаючи на зазначені недоліки, в даний час лампи розжарювання все ще знаходять широке поширення у зв'язку з їх простотою в експлуатації, надійністю, компактністю і низькою вартістю. Лампи розжарювання можуть бути вакуумними і газонаповненими. В останніх використовується аргон з додаванням 12-15% азоту.

Різновидом ламп розжарювання є галогенні лампи, основна відмінність яких полягає в підвищеному терміні служби, як правило, до 2000 годин. Це досягається за рахунок того, що до складу газового заповнення колби галогенною лампи розжарювання додається йод, який за певних умов забезпечує зворотний перенос частинок вольфраму спіралі, які випарувалися, зі стінок колби лампи на тіло розжарення.

Люмінесцентна лампа має запаяну з обох кінців скляну трубку, внутрішня поверхня якої покрита тонким шаром люмінофора. З лампи відкачується повітря, а потім вона заповнюється інертним газом аргонем при дуже низькому тиску. В лампу поміщена крапля ртуті, яка в результаті нагріву перетворюється в ртутні пари. Вольфрамові електроди лампи, як правило, мають вигляд спіралі. Паралельно спіралі розташовано два жорстких нікелевих електрода, кожен з яких з'єднаний з одним з кінців спіралі. Під час подання на електроди напруги в газовому середовищі лампи виникає електричний розряд, зокрема між жорсткими електродами і спіраллю.

У циліндричному балоні ртутної лампи йде електричний розряд. Збуджені атоми ртуті випускають потужні потоки електромагнітного випромінювання, основна енергія якого знаходиться в ультрафіолетовій частині спектру. Під дією ультрафіолетового випромінювання відбувається світіння покритих люмінофором стінок лампи різним кольором. Поглинаючи ультрафіолетове випромінювання, суміш люмінофорів випромінює у видимій частині спектру і в достатній степені відтворює спектр денного світла.

Широке впровадженні люмінесцентних ламп дозволяє знизити споживання електроенергії. Так, у країнах СНД не менше 10 % виробленої електроенергії споживається при освітленні житлових і невиробничих службових приміщень лампами розжарювання. Їх заміна люмінесцентними лампами дозволить знизити витрати електроенергії на 7%.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Вимірювання і порівняння освітленості електричних джерел світла»: люксметр Ю116 з селеновим фотоелементом, насадки (світлофільтри) до люксметра Ю116 (в комплекті), ватметр, лампа розжарювання, люмінесцентна лампа, два електровимикачі.

Принципова електрична схема лабораторного стенду наведена на рис. 4.1.

Люксметр Ю116 (рис. 4.2) призначений для вимірювання освітленості, що створюється лампами розжарювання і природним світлом, джерела якого розташовані довільно відносно світлоприймача люксметра.

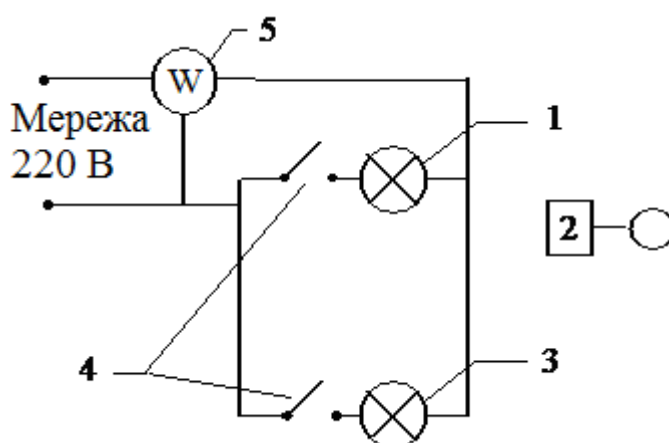


Рис. 4.1 – Принципова електрична схема лабораторного стенду:

1 – лампа розжарювання; 2 – люксметр Ю-116;

3 – люмінесцентна лампа; 4 – електричні вимикачі;

5 – ватметр для вимірювання споживаної лампами з мережі потужності

Переносний фотоелектричний люксметр Ю116 загальнопромислового призначення застосовується для контролю освітленості в промисловості, в сільському господарстві, на транспорті та в інших галузях народного господарства, а також в дослідженнях, що проводяться в наукових, конструкторських і проектних організаціях.

Люксметр призначений для експлуатації при температурі навколишнього середовища від -10 до $+35$ °С і відносній вологості до 80 %.



Рис. 4.2 – Фотоелектричний люксметр Ю116

Діапазон вимірювань і загальний номінальний коефіцієнт послаблення двох насадок, наведений в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Діапазон люксметра Ю116 при застосуванні насадок

Діапазон вимірювань, E , лк			
основний	неосновний		
без насадок, з відкритим фотоелементом	з насадками		
	КМ	КР	КТ
5-30	50-300	500-3000	5000-30000
20-100	200-1000	2000-10000	20000-100000

КМ, КР, КТ – це умовне позначення сумісно застосованих насадок (світлофільтрів) для створення загального номінального коефіцієнта послаблення 10, 100, 1000 відповідно.

Шкали прилада є нерівномірними і градуйовані в люксах: одна шкала 100 ділень, друга – 30 ділень.

Відмітка «5» шкали 0-30, відмітка «20» шкали 0-100, що відповідають початковим значенням діапазону вимірювань, відмічені точкою.

Границі допустимої похибки люксметра в основному діапазоні вимірювань 5-30 і 20-100 лк (без насадок) не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від значення вимірюваної освітленості.

Збільшення допустимої похибки при переході з основного, вказаного в табл. 2.1, на неосновні діапазони шляхом установки відповідних насадок, не перевищує $\pm 5\%$ від значення вимірюваної освітленості.

Принципова електрична схема люксметра Ю116 зображена на рис. 4.3.

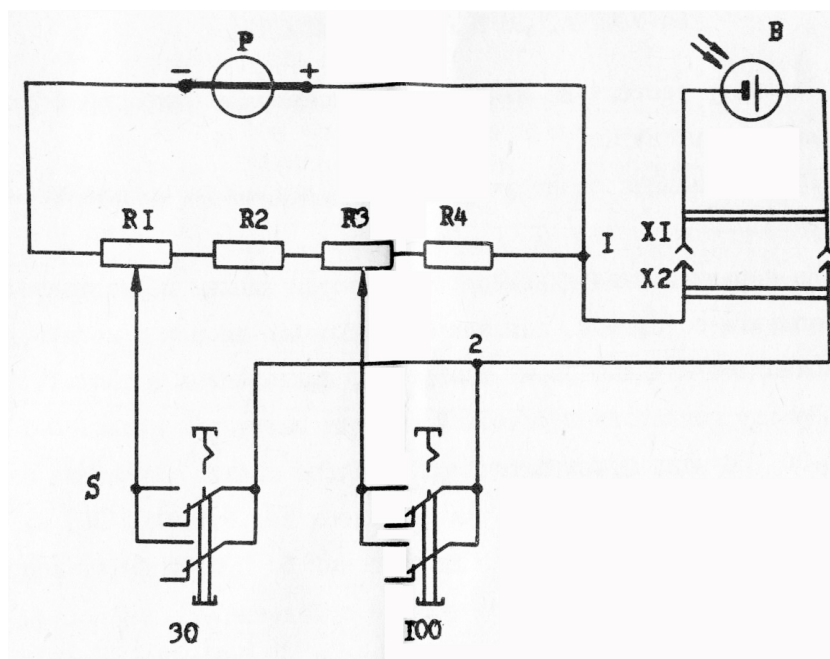


Рис. 4.3 – Схема електрична принципова люксметра Ю116

Габаритні розміри приладу є такими (в мм):

– вимірювач люксметра – $210 \times 125 \times 85$;

– фотоелемент люксметра з насадками КМ, або КР, або КТ – $185 \times 105 \times 55$;

– футляр люксметра – $300 \times 155 \times 135$.

Маса люксметра, кг, не більше:

а) 0,85 – без футляра;

б) 1,75 – в футлярі.

Порядок виконання роботи:

1. Встановити необхідний діапазон вимірювань люксметра Ю-116 шляхом підбору відповідних насадок, що йдуть в комплекті з ним.

2. Включити лампу розжарювання. Люксметром 2 виміряти величину освітленості (в п'яти точках) на спеціально підготовленій поверхні під ввімкненим світильником.

3. За ватметром 3 визначити величину споживаної лампою розжарювання потужності з мережі.

4. Виключити лампу розжарювання.

5. Включити люмінесцентну лампу і провести для неї аналогічні вимірювання (за п. 2-4).

6. Отримані дані занести в таблицю результатів вимірювання.

7. Виміряти площу поверхні лампи, m^2 . (додатково)

8. За результатами розрахунків зробити висновок про економічність розглянутих джерел світла та доцільність їх використання.

В табл. 4.2 наведено один з варіантів форми для занесення результатів вимірювання.

Форма для занесення результатів вимірювань

Параметри	Тип електричного джерело світла	
	Лампа розжарювання	Люмінесцентна лампа
Освітленість E (лк) на поверхні світильника, в точках замірів	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
Розрахункове значення освітленості $E = \frac{E_1 + E_2 + E_3 + E_4 + E_5}{5}$, лк		
Розрахункове значення світлового потоку $\Phi = ES$, лм		
Потік випромінювання $\Phi_{\text{випр}} = \frac{\Phi}{217}$, Вт (1 Вт = 217 лм)		
Споживана потужність N , Вт		
ККД джерела світла $\eta = \frac{\Phi_{\text{випр}}}{N} 100\%$		
Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) $E_{\text{ен}} = \frac{\Phi_{\text{випр}}}{S}$, Вт/м ²		

Лабораторна робота № 5. Визначення характеристик елементів Пельтьє

Метою лабораторної роботи «Визначення характеристик елементів Пельтьє» є наочне підтвердження прямого термоелектричного ефекту та отримання експериментальних характеристик для датчика Пельтьє.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

В основу роботи термоелектричного охолоджувального модуля покладено ефект Пельтьє, відкритий в 1834 г. В результаті протікання постійного електричного струму в колі, що складається з різнорідних провідників, в місцях контактів (спаях) провідників поглинається або виділяється, залежно від напрямку струму, тепло. При цьому кількість цієї теплоти пропорційна струму, що проходить через контакт провідників (рис. 5.1). Найбільш сильно ефект Пельтьє проявляється на контактах напівпровідників з різним типом провідності (р- або n-). Пояснення ефекту Пельтьє полягає у взаємодії електронів провідності, що сповільнилися або прискорилися в контактному потенціалі р-n-переходу, з тепловими коливаннями атомів в масиві напівпровідника. В результаті, в залежності від напрямку руху електронів i , відповідно, струму відбувається нагрів (T_h) або охолодження (T_c) ділянки напівпровідника, що безпосередньо примикає до спаю (р-n або n-p-переходу).

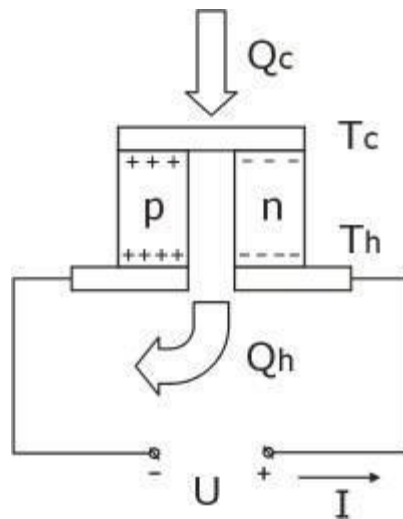


Рис. 5.1 – Схема дії ефекту Пельтьє

Ефект Пельтьє покладено в основу роботи термоелектричного модуля. Одиничним елементом термоелектричного модуля є термопара, що складається з одного провідника (гілки) р-типу і одного провідника n-типу. При послідовному з'єднанні кількох таких термопар теплота (Q_c), що поглинається на контакті типу n-p, виділяється на контакті типу p-n (Q_h). Термоелектричний модуль має у своєму складі сукупність таких термопар, які зазвичай з'єднані між собою послідовно за струмом і паралельно за потоком тепла. Термопари розміщуються між двома керамічними пластинами (рис. 5.2). Гілки напаяються на мідні провідні площадки (шинки), які кріпляться до спеціальної теплопровідної кераміки, наприклад, з оксиду алюмінію. Кількість термопар може варіюватися в широких межах – від кількох одиниць до кількох сотень, що дозволяє створювати термоелектричні модулі з холодильною потужністю від десятої частини вата до сотень ват.

Пі час проходження постійного електричного струму через термоелектричний модуль між його сторонами утворюється перепад температур: одна сторона (холодна) охолоджується, а інша (гаряча) нагрівається. Якщо з гарячою боку термоелектричного модуля забезпечити ефективно відведення тепла, наприклад, за допомогою радіатора, то на холодній стороні можна отримати температуру, яка буде на десятки градусів нижче за температуру навколишнього середовища. Ступінь охолодження буде

пропорційним величині струму. При зміні полярності струму гаряча і холодна сторони міняються місцями. Сучасні однокаскадні термоелектричні охолоджувачі дозволяють отримати різницю температур до 74-76 °.

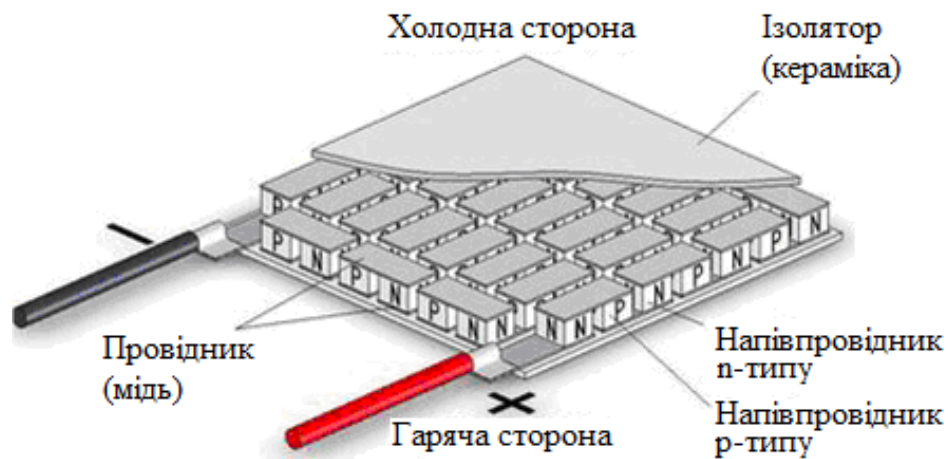


Рис. 5.2 – Однокаскадний термоелектричний модуль Пельтьє

Для отримання більш низьких температур застосовуються багатокаскадні модулі (рис. 5.3), які складаються з кількох однокаскадних модулів з послідовним тепловим з'єднанням між ними. Наприклад, чотирикаскадні термоелектричні модулі дозволяють досягти різниці температур до 140 °.

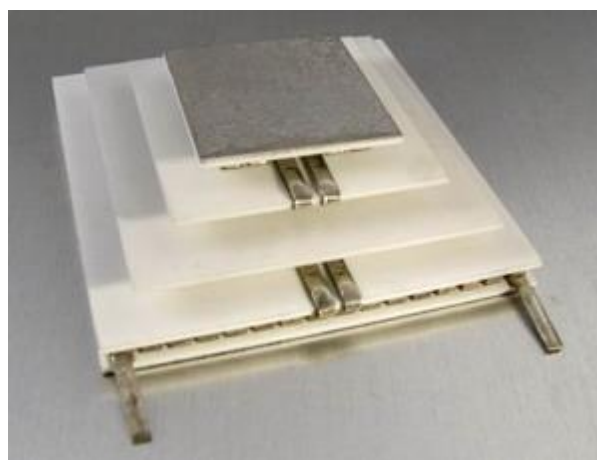


Рис. 5.3 – Чотирикаскадний термоелектричний модуль Пельтьє

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Визначення характеристик елементів Пельтьє»: елемент Пельтьє МТЕС1127105, резистор $R = 10$ Ом, мультиметр DT-9208 (або вольтметр), два датчики температури LM335, вентилятор S8025M, блок живлення з регульованою напругою $U = 5 \dots 12$ В, амперметр ЛМ-1, струбцини, радіатори алюмінієві.

Лабораторний стенд для проведення дослідних вимірювань наведено на рис. 5.4.

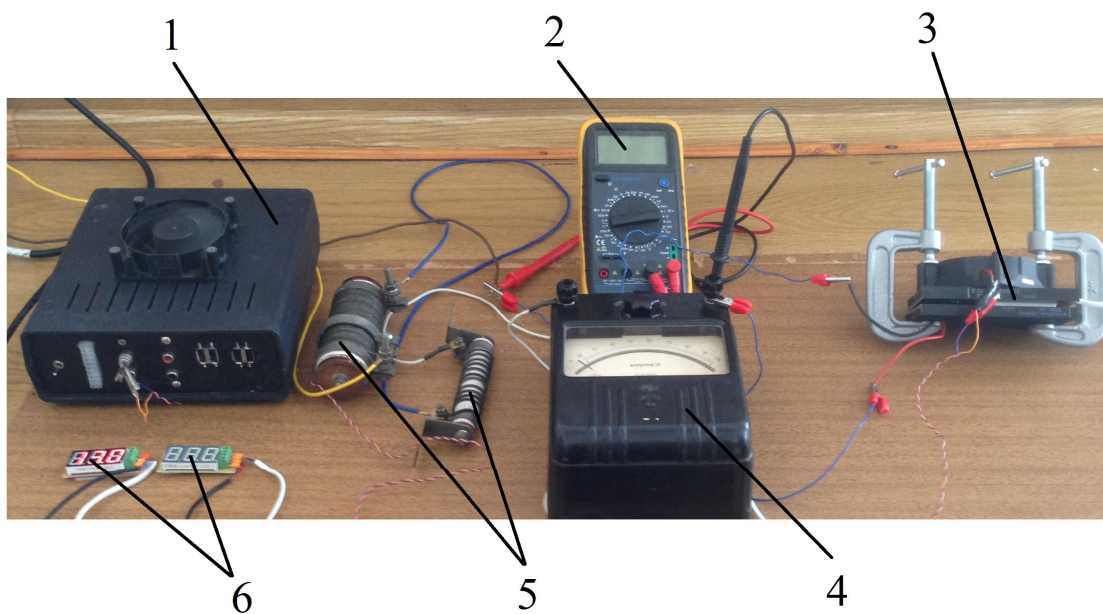


Рис. 5.4 – Лабораторний стенд для дослідження термоелектричного модуля Пельтьє та отримання експериментальних характеристик

за прямим термоелектричним ефектом:

1 – блок живлення; 2 – мультиметр; 3 – елемент Пельтьє, закріплений разом з охолоджувальним вентилятором S8025M в струбцинах; 4 – амперметр ЛМ-1;

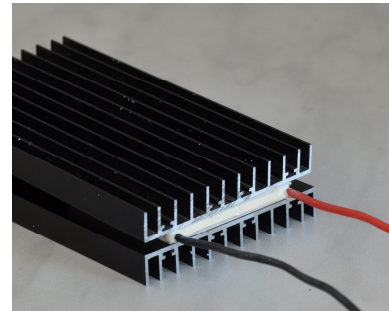
5 – резистори; 6 – датчики температури LM335

Термомодуль Пельтьє (Peltier) МТЕС1127105 (рис. 5.5) має габаритні розміри 50×50 мм. Максимальна напруга, на роботу з якою розраховано елемент Пельтьє, становить $U = 15,4$ В, максимальний струм при роботі з даним термомодулем не повинен перевищувати $I = 10$ А.

Лабораторний амперметр ЛМ-1 і мультиметр DT-9208 (рис. 5.6) використовуються для вимірювання відповідно струму та напруги в електричній схемі з термоелементом Пельтьє.



a



б

Рис. 5.5 – Термоелектричний модуль Пельтьє:

a – елемент Пельтьє (Peltier) МТЕС1127105;

б – розміщення елемента Пельтьє між алюмінієвими радіаторами



a



б

Рис. 5.6 – Амперметр ЛМ-1 (*a*) та мультиметр DT-9208 (*б*)

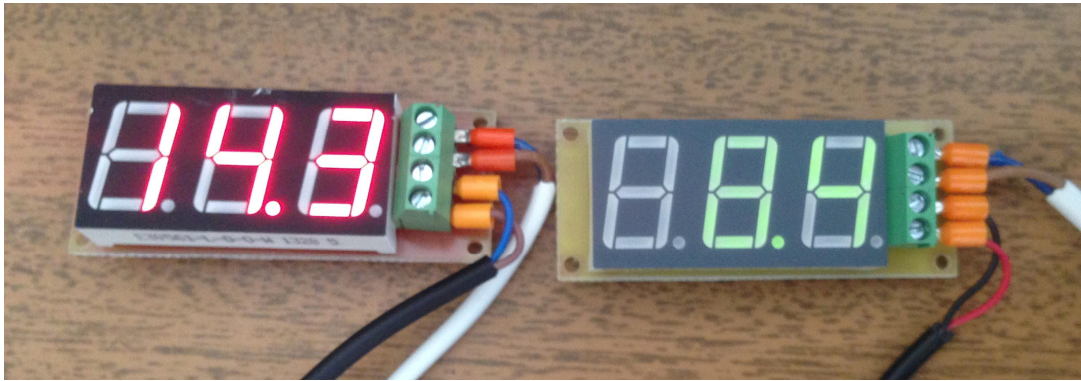


Рис. 5.7 – Датчики вимірювання температури LM335

Датчик температури LM335 (рис. 5.7) містить стабілітрон. Схема вмикання стабілітрона показана на рис. 5.8.

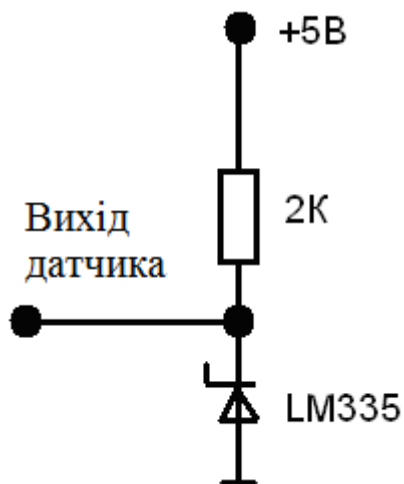


Рис. 5.8 – Схема вмикання стабілітрона датчика LM335

Датчик LM335 має нормований температурний коефіцієнт, тобто зміна температури корпусу датчик на 1 градус Кельвіна призводить до зміни напруги на 0,01 Вольт.

Порядок виконання роботи:

1. Скласти принципову електричну схему лабораторного стенда.
2. Підключити до джерела струму вентилятор радіатора.

Примітка: підключення вентилятора необхідно проводити уважно, щоб не переплутати полярність. Якщо полярність буде протилежною, то вентилятор не буде обертатися і через деякий час може згоріти.

3. Провести вимірювання поступовим збільшенням струму від нуля до максимального. Після кожної зміни струму необхідно почекати поки настане теплова рівновага і мультиметром (або вольтметром) виміряти термо-ЕРС.

4. Для повного циклу вимірювань необхідно поступово збільшити струм до максимального (близько одного ампера), потім так само поступово знизити його до нуля, змінити напрямок струму за допомогою шестиполісного ключа і повторити вимірювання.

Не слід намагатись встановлювати кожен раз одні й ті ж значення струму: це досить важко і призведе до великих втрат часу.

5. Обробка вимірювань полягає в побудові графіку залежності різниці температур на різних сторонах елемента Пельтьє від термо-ЕРС (значення напруги мультиметра (або вольтметра)).

Внаслідок інерційності показів датчиків температур, для отримання більш точних дослідних даних час вимірювання необхідно збільшувати до встановлення усталених значень (не менше 5 хвилин) на датчику температури.

В табл. 5.1 наведено форму для результатів вимірювань прямого термоелектричного ефекту Пельтьє.

Таблиця 5.1

Результати вимірювань прямого термоелектричного ефекту Пельтьє

Параметр, номер дослідку	Напруга U	Струм I	Температура t_1	Температура t_2	Різниця температур Δt

Лабораторна робота № 6. Визначення характеристик зворотного термоелектричного ефекту

Метою лабораторної роботи «Визначення характеристик зворотного термоелектричного ефекту» є ознайомлення зі зворотним термоелектричним ефектом та отримання дослідних характеристик з використанням елемента Пельтьє.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Ефект Зеєбека – явище виникнення ЕРС в замкнутому електричному колі, що складається з послідовно з'єднаних різнорідних провідників, контакти між якими знаходяться при різних температурах. Ефект Зеєбека також називають зворотним термоелектричним ефектом.

Даний ефект був відкритий у 1821 Т.І. Зеєбеком. У 1822 році він опублікував результати своїх дослідів у статті «До питання про магнітну поляризацію деяких металів і руд, що виникає в умовах різниці температур», опублікованій у доповідях Пруської академії наук.

Ефект Зеєбека полягає в тому, що в замкнутому електричному колі, що складається з різнорідних провідників, виникає термо-ЕРС, якщо місця контактів підтримують при різних температурах. Електричне коло, яке складається тільки з двох різних провідників, називається термоелементом або термопарою.

Величина утвореної термо-ЕРС в першому наближенні залежить тільки від матеріалу провідників і температур гарячого (T_1) і холодного (T_2) контактів.

У невеликому інтервалі температур термо-ЕРС можна вважати пропорційною різниці температур:

$$E = \alpha_{12}(T_2 - T_1),$$

де α_{12} – термоелектрична здатність пари (або коефіцієнт термо-ЕРС).

У найпростішому випадку коефіцієнт термо-ЕРС визначається лише матеріалами провідників, однак, він залежить і від температури, і в деяких випадках зі зміною температури змінює знак.

Більш коректний вираз для термо-ЕРС:

$$\varepsilon = \int_{T_1}^{T_2} \alpha_{12}(T) dT.$$

Величина термо-ЕРС становить мілівольт при різниці температур в 100 °С і температурі холодного спаю в 0 °С (наприклад, пара мідь-константан дає 4,25 мВ, платина-платинородій – 0,643 мВ, ніхром-нікель – 4,1 мВ).

Виникнення ефекту Зеєбека викликано декількома складовими:

1. Різна залежність середньої енергії електронів від температури в різних речовинах.

Якщо уздовж провідника існує градієнт температур, то електрони на гарячому кінці набувають більш високі енергії і швидкості, ніж на холодному; в напівпровідниках на додаток до цього концентрація електронів провідності зростає з температурою. В результаті виникає потік електронів від гарячого кінця до холодного і на холодному кінці накопичується негативний заряд, а на гарячому залишається некомпенсований позитивний заряд. Процес накопичення заряду продовжується до тих пір, поки утворена різниця потенціалів не викличе потік електронів у зворотному напрямку, рівний первинному, завдяки чому встановиться рівновага. ЕРС, виникнення якої визначається даним механізмом, називається об'ємною ЕРС.

2. Різна залежність від температури контактної різниці потенціалів.

Контактна різниця потенціалів викликана відмінністю енергій Фермі у контактуючих різних провідників. При створенні контакту хімічні потенціали електронів стають однаковими, і виникає контактна різниця потенціалів, що дорівнює

$$U = \frac{F_2 - F_1}{e},$$

де F – енергія Фермі;

e – заряд електрона.

На контакті тим самим існує електричне поле, локалізоване в тонкому приконтактному шарі. Якщо скласти замкнуте коло з двох металів, то напруга U виникає на обох контактах. Електричне поле буде направлено однаковою чином в обох контактах – від більшого F до меншого. Це означає, що якщо зробити обхід по замкнутому контуру, то в одному контакті обхід відбуватиметься за полем, а в іншому – проти поля. Циркуляція вектора E тим самим буде дорівнювати нулю.

Якщо температура одного з контактів зміниться на dT , то, оскільки енергія Фермі залежить від температури, U також зміниться. Але якщо змінилася внутрішня контактна різниця потенціалів, то змінилося електричне поле в одному з контактів, і тому циркуляція вектора E буде відмінною від нуля, тобто з'являється ЕРС в замкнутому електричному колі. Дана ЕРС називається контактною ЕРС. Якщо обидва контакти термоелемента знаходяться при одній і тій же температурі, то і контактна, і об'ємна термо-ЕРС зникають.

3. Фононне захоплення.

Якщо в твердому тілі існує градієнт температури, то кількість фононів, що рухаються від гарячого кінця до холодного, буде більше, ніж у зворотному напрямку. В результаті зіткнень з електронами фонони можуть захоплювати за собою останні і на холодному кінці зразка накопичуватиметься негативний заряд (на гарячому – позитивний) до тих пір, поки утворена різниця потенціалів не врівноважить ефект захоплення.

Ця різниця потенціалів є третьою складовою термо-ЕРС, яка при низьких температурах може бути в десятки і сотні разів більше розглянутих вище. У магнетиках спостерігається додаткова складова термо-ЕРС, обумовлена ефектом захоплення електронів магнонами. Цей ефект застосовується для створення термодатчиків (наприклад в комп'ютерах). Такі датчики є мініатюрними і дуже точними.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовуються в лабораторній роботі «Визначення характеристик елементів Пельтьє»: елемент Пельтьє МТЕС1127105, резистор $R = 10$ Ом, мультиметр DT-9208, два датчики температури LM335, вентилятор S8025M, блок живлення з регульованою напругою $U = 5 \dots 12$ В, амперметр ЛМ-1, струбцини, радіатори алюмінієві, лампа розжарювання потужністю 100 Вт, лабораторний автотрансформатор.

Лабораторний стенд для проведення дослідних вимірювань продемонстровано на рис. 6.1.

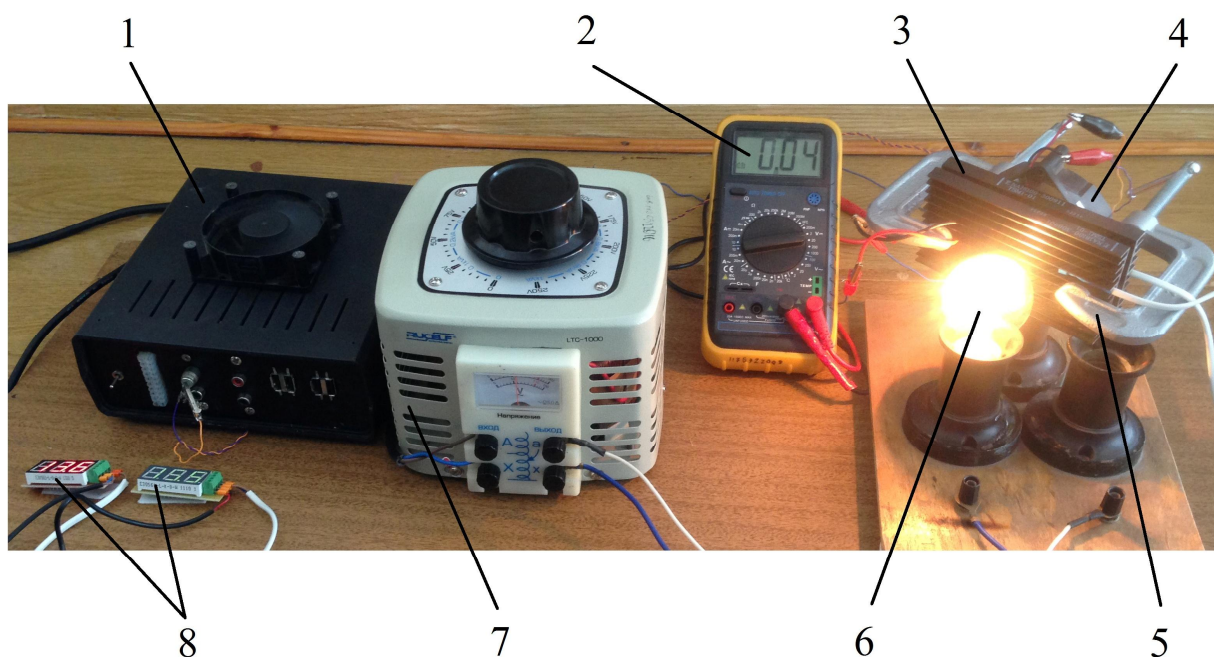


Рис. 6.1 – Лабораторний стенд для проведення дослідних вимірювань:

1 – джерело живлення; 2 – мультиметр; 3 – алюмінієві радіатори з розміщеним між ними елементом Пельтьє; 4 – охолоджувальний вентилятор; 5 – струбцини; 6 – лампа розжарювання; 7 – лабораторний автотрансформатор; 8 – датчики температури

Порядок виконання роботи:

1. Елемент Пельтьє необхідно розташувати між алюмінієвими радіаторами та разом з охолоджувальним вентилятором закріпити в струбцинах.

2. Під'єднати виводи досліджуваного зразка елемента Пельтьє до вимірювальної апаратури.

3. Зміною температури від кімнатної до 100 °С з обраним інтервалом, зняти залежність термо-ЕРС від температури.

4. Отримані дані занести в таблицю та побудувати графік залежності $U = f(\Delta t)$.

5. За графіком визначити диференціальну термо-ЕРС, тобто тангенс кута нахилу прямої, що виражає залежність термо-ЕРС від температури.

Внаслідок інерційності показників датчиків температур, для отримання більш точних дослідних даних час вимірювання необхідно збільшувати до встановлення усталених значень (не менше 5 хвилин) на датчику температури.

В табл. 6.1 наведено форму для занесення результатів вимірювань зворотного термоелектричного ефекту.

Таблиця 6.1

Результати вимірювань зворотного термоелектричного ефекту

Параметр, номер дослідду	Напруга U	Температура t_1	Температура t_2	Різниця температур Δt

Лабораторна робота № 7. Вивчення конструкцій сонячних теплових колекторів

Метою лабораторної роботи «Вивчення конструкцій сонячних теплових колекторів» є ознайомлення з особливостями будови сучасних плоских сонячних теплових колекторів.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Конструкція плоских сонячних колекторів зображена на рис. 7.1.

Існує велика кількість полімерів, які потенційно можуть бути використані в конструкції плоского сонячного колектора – поліпропілен, поліметилметакрилат, полікарбонат, полисульфон, поліестерсульфон, поліамід, аморфний поліамід, волокнисті пластики, полівінілхлорид, поліметілпропілен, акрил.

Довгострокове використання сонячних колекторів у відкритому середовищі висуває ряд жорстких вимог до конструкційних матеріалів.

Під час вибору полімерних матеріалів необхідно керуватися наступними вимогами:

- мінімальна оптична прозорість матеріалу не нижче 75%;
- робочі температури (стійкість матеріалів) в діапазоні від -35 до + 130 °С;
- стабільність до ультрафіолетового випромінювання.

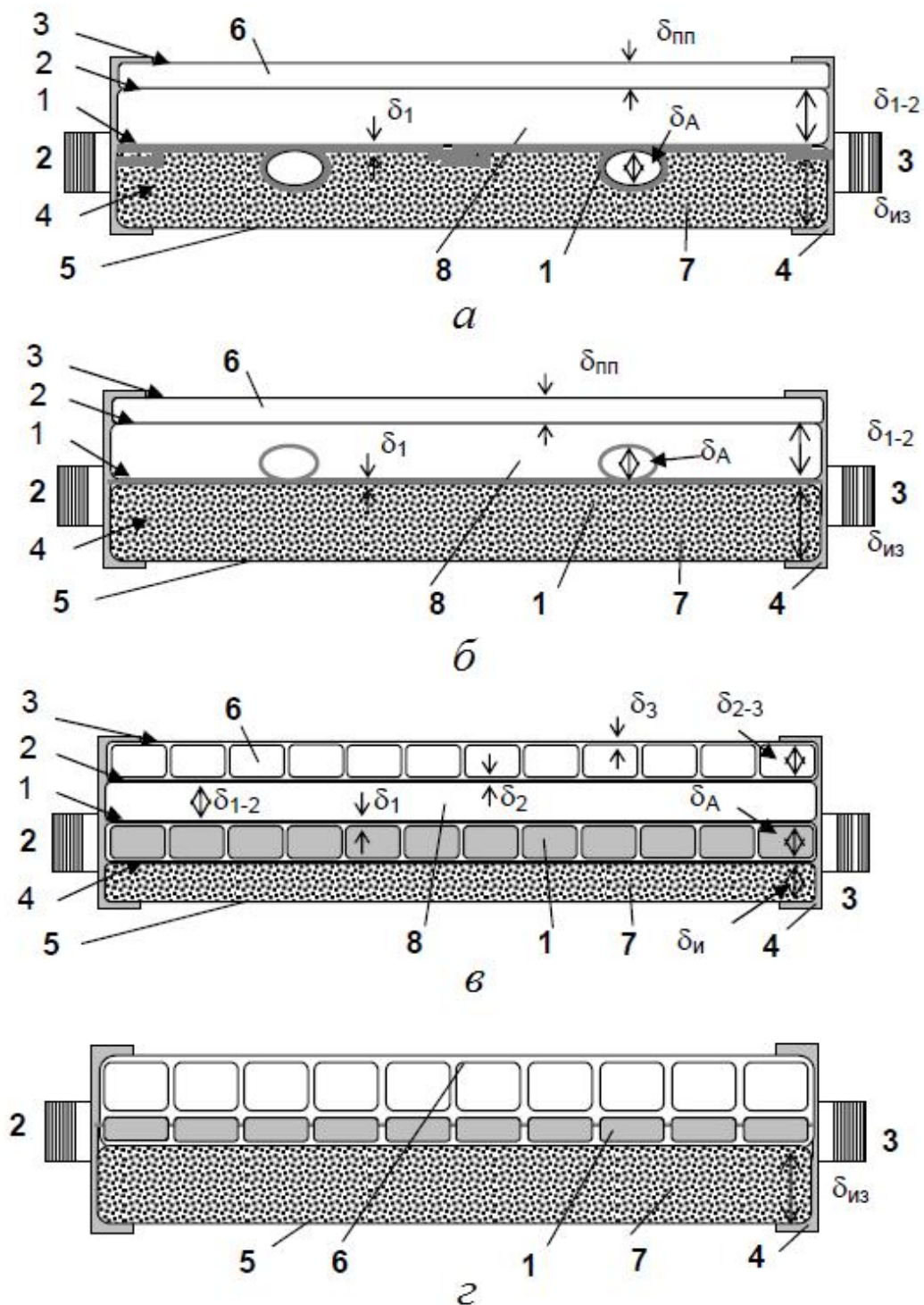


Рис. 7.1 – Конструкція плоских сонячних колекторів:

a – плоский сонячний колектор-абсорбер (СК-А); *б* – перехідний тип плоского мідно-полімерного колектору (СК-М); *в* – полімерний тип сонячного колектора з полікарбонату та з повітряним зазором (СК-П);
г – полімерний тип сонячного колектора з полікарбонату без повітряного зазору (СК-П)

Позначення, що використані на рис. 7.1:

1 – трубний реєстр абсорбера (багатоканальна полімерна плита для сонячного колектора);

2, 3 – труби гідравлічного колектора;

4 – корпус сонячного колектора;

5 – металевий лист;

6 – прозора ізоляція;

7 – теплоізоляція;

8 – повітряний зазор.

Аналіз полімерів свідчить про те, що лише деякі з них придатні для такого специфічного застосування. Поліпропіленові й полістиролові пластмаси непридатні через погані оптичні властивості, полісульфон і поліестерсульфон стабільні до ультрафіолетового випромінювання, але мають небажаний жовтий колір і занадто низьку оптичну прозорість для такого застосування. Аморфний поліамід можна зробити досить прозорим, але він чутливий до гідролізу і нестабільний до ультрафіолетового випромінювання. Акрил характеризується відмінною стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, але крихкий і використовується тільки при температурах нижче 90 °С.

Сонячний колектор – основний елемент сонячної установки, в якому сонячне випромінювання перетворюється на теплову енергію. Всі сонячні колектори мають спільну деталь – поверхневий або об'ємний поглинач тепла, яке може відводитися з колектора, або акумулюватися в ньому. Сонячний колектор першого типу називаються проточними, другого типу – з тепловим акумулятором.

Найбільше поширення у світовій практиці отримали плоскі сонячні колектори (flat plate solar collector) через простоту конструкції і дешевизну. До числа принципівих переваг таких сонячних колекторів у порівнянні з колекторами інших типів відноситься їх здатність вловлювати як пряму (променисту), так і розсіяну сонячну енергію і, як наслідок цього, можливість

стаціонарної установки сонячних колекторів без необхідності в складних системах стеження за Сонцем.

Загальний недолік сонячних колекторів відкритого типу – високі тепловтрати, внаслідок тепломасообміну між теплоносієм і світлопрозорим склінням. Кращі теплотехнічні показники мають рідинні проточні колектори з поглиначами у вигляді плоскої панелі з каналами. Виконують такі панелі з металу, пластмас або ламінованих тканин. Можна істотно збільшити ефективність сонячних колекторів застосуванням селективних покриттів, що забезпечують високу поглинаючу здатність по відношенню до сонячного випромінювання і низьку власну випромінювальну здатність. Основними характеристиками будь-яких сонячних колекторів є рівень робочих температур θ , оптичний ККД, коефіцієнт втрат U , Вт/(м²·°С) і загальний ККД.

Як полімер придатний до використання в конструкції сонячного колектора було обрано полікарбонат. Плита сотового полікарбонату має у своєму складі два паралельних листа з поперечними перегородками в цілісній єдиній структурі. Температурний діапазон експлуатації для полікарбонату: від -40 до +120 °С, що дозволяє використовувати його у «відкритих» системах. Максимальне термічне розширення (при $\Delta T=80$ °С) становить 2,5 мм/м. Світлопропускна здатність полімерів має велике значення для їх вибору як прозорого покриття сонячних колекторів. Панелі полікарбонату мають світлопропускання 70-82 %, в залежності від їх товщини. Панелі товщиною 4 мм з найбільшим світлопропусканням обирають як прозоре покриття (конструкція сонячного колектору на рис. 7.1, *в, з*), тому у них найбільше світлопропускання в порівнянні з панелями великої товщини.

Полікарбонат стійкий до багатьох хімічних речовин, в тому числі до мінеральних кислот високої концентрації, до багатьох органічних кислот, нейтральних і кислих розчинів солей, багатьох жирів, парафіну, насичених аліфатами і циклоаліфатами, крім метилового спирту. Полікарбонат руйнується водним або спиртовим розчином лугів, аміаком або його розчинами й амінами. Ступінь чутливості до впливу хімічних сполук залежить від таких факторів, як

концентрація, температура, тривалість контакту з поверхнею панелі, тиск, а також напруження в панелі. Це робить полікарбонат прийнятним для створення сонячного колектора (СК-П) і особливо колектора-регенератора (СК-Р), де має місце прямий контакт матеріалу і абсорбенту.

Основна маса сонячних колекторів виробляється з кольорових металів (алюміній, мідь) – абсорбер і корпус. Прикладом такого колектора може слугувати сонячний колектор-абсорбер (СК-А), наведений на рис. 7.1, а. Як абсорбер тут використовуються труби з суцільнотягнутими ребрами, що виконані методом екструзії з алюмінієвого сплаву. Як прозоре покриття використовується віконне скло товщиною 4 мм. Вага колектора площею $1,1 \text{ м}^2$ становить 23 кг. У СК-А труби абсорбера з'єднані з гідравлічним колектором методом аргонового зварювання. Питання про ресурс алюмінію в відкритому середовищі і в середовищі теплоносія залишається відкритим. Спосіб виготовлення абсорбера (методом екструзії, як єдиний виріб «труба/ребро») призводить до мінімального термічного опору. Алюмінієвий корпус вимагає застосування гумової прокладки для скла.

Використання сотових полікарбонатних панелей як скла дозволяє знизити вагу сонячного колектора. На рис. 7.1, б зображено сонячний мідно-полімерний колектор з металевими (мідними) трубами (СК-М), в якому скляне прозоре покриття замінено на полікарбонатну плиту сотової структури. Як абсорбер були використані мідні профільовані труби, щільно притиснуті до металевого листа жорстким затискачем. Оптимальним є використання теплопровідного клею або пайки для кріплення труб абсорбера до металевого листа. Для зменшення термічного опору в місці контакту труба-металевий лист були виготовлені спеціальні профільовані труби для збільшення площі дотику. Вага такого сонячного колектора становить 15 кг/м^2 площі колектора. Використання полікарбонатної сотової плити дозволило відмовитися від використання гумових прокладок і від необхідності спеціальних кріпильних елементів, що спростило конструкцію і зменшило вартість виробу. Товщина мідно-полімерного сонячного колектора склала 60 мм у порівнянні з 108 мм для

алюмінієвого зразка СК. Конструкція такого сонячного колектору захищена патентами України №№74521, 74522.

Використання кольорових металів, їх обробка та з'єднання є основним фактором високої собівартості металевих сонячних колекторів. Створення повністю полімерного сонячного колектору стало наступним кроком на шляху використання полімерних матеріалів в конструкції сонячних колекторів. На рис. 7.1, в, г наведено сонячний колектор типу СК-П, повністю виконаний з полімерних матеріалів. Як прозоре покриття (ПП) і абсорбер А (теплоприймач) тут застосовуються плити сотового полікарбонату різних товщин: для прозорого покриття – 4 мм, для абсорбера – 8-10 мм.

В деяких конструкціях рекомендується використовувати як ізоляцію також плиту сотового полікарбонату, тому що він володіє характеризується якісними теплоізоляційними властивостями.

Для виробництва традиційних металевих сонячних колекторів, в яких абсорбер виконаний з алюмінію або міді, використовується аргонове зварювання або пайка для з'єднання труб абсорбера з гідравлічним колектором і для з'єднання трубок абсорбера з ребрами. При використанні сотових полікарбонатних плит як абсорбера, виникають проблеми його з'єднання з гідравлічним колектором, тому потрібно враховувати коливання температур і, пов'язані з цим, термічні розширення матеріалів.

В розроблених схемах альтернативних систем як зігрівальні джерела використовуються геліосистеми з плоскими сонячними колекторами. Зазвичай геліосистема містить систему сонячного колектора, теплоізолюваний бак-теплоакумулятор і систему опускних і підйомних трубопроводів. Циркуляція теплоносія здійснюється природним чином за рахунок різниці густини середовища в опускній і підйомній частинах геліосистеми, або примусово за допомогою насоса.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Експериментальне обладнання та вимірювальна апаратура, що використовується в лабораторній роботі «Вивчення конструкцій сонячних теплових колекторів»: плоскі сонячні колектори, лабораторний годинник, два термодатчика LM335.

Лабораторні плоскі сонячні колектори кафедри електротехнологій і електропостачання МНАУ рис. 7.2.



Рис. 7.2 – Лабораторні плоскі сонячні колектори кафедри електротехнологій і електропостачання МНАУ

Термодатчики були занурені на різній глибині в баку. Термодатчик 1 – на глибині 20 см від рівня води, а термодатчик 2 – на відстані 20 см від дна бака висотою 1 м.

В табл. 7.1 наведено форму для занесення дослідних даних нагріву води у баку геліоустановки об'ємом 100 літрів.

Дослідні дані вимірів температури сонячних колекторів 13 липня 2014 року

Час, год. хв.	Термодатчик 1, °С	Термодатчик 2, °С

Лабораторна робота № 8. Вивчення конструкцій і моделювання характеристик сонячної колекторів

Метою лабораторної роботи «Чисельне моделювання сонячної геліоустановки» є отримання робочих характеристик сонячної геліоустановки шляхом чисельного моделювання.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

У ряді випадків, в тому числі при моделюванні електротехнічних пристроїв, виникають задачі розрахунку електромагнітних і температурних полів. Подібні задачі можна розв'язувати чисельним розрахунком полів.

Чисельне моделювання також називають комп'ютерним моделюванням. Це означає, що комп'ютер використовується як засіб, для чисельного розрахунку і відображення отриманих результатів.

Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіше і зручніше досліджувати в силу їх можливості проводити обчислювальні експерименти, в тих випадках коли реальні експерименти утруднені через фінансові або фізичні перешкоди або можуть дати непередбачуваний результат. Логічність і формалізованість комп'ютерних моделей дозволяє виявити основні чинники, що визначають

властивості досліджуваного об'єкта-оригіналу (або цілого класу об'єктів), зокрема, досліджувати відгук модельованої фізичної системи на зміни її параметрів і початкових умов.

Побудова комп'ютерної моделі базується на абстрагуванні від конкретної природи явищ або досліджуваного об'єкта-оригіналу і складається з двох етапів – спочатку створення якісної, а потім і кількісної моделі.

Комп'ютерне моделювання полягає в проведенні серії обчислювальних експериментів на комп'ютері, метою яких є аналіз, інтерпретація і зіставлення результатів моделювання з реальною поведінкою досліджуваного об'єкта і, за необхідності, подальше уточнення моделі і т.д.

До основних етапів комп'ютерного моделювання відносяться:

- постановка задачі, визначення об'єкта моделювання;
- розробка концептуальної моделі, виявлення основних елементів системи і елементарних актів взаємодії;
- формалізація, тобто перехід до математичної моделі; створення алгоритму та написання програми;
- планування та проведення комп'ютерних експериментів;
- аналіз та інтерпретація результатів.

Розрізняють аналітичне та імітаційне моделювання. При аналітичному моделюванні вивчаються математичні (абстрактні) моделі реального об'єкта у вигляді алгебраїчних, диференціальних та інших рівнянь, а також передбачають здійснення однозначної обчислювальної процедури, що призводить до їх точного розв'язання. При імітаційному моделюванні досліджуються математичні моделі у вигляді алгоритму (-ів), що відтворює функціонування досліджуваної системи шляхом послідовного виконання великої кількості елементарних операцій.

Для плоских сонячних колекторів з відносно простими геометричними формами внутрішніх і зовнішніх границь комп'ютерне моделювання можна здійснити шляхом чисельного розрахунку за методом кінцевих елементів

(МКЕ) з використанням спеціально розробленого програмного забезпечення, наприклад, FEMM (Finite Element Method Magnetics).

FEMM – це набір програм для вирішення електростатичних, магнітних і типових задач у двомірному наближенні.

Експериментальне обладнання, вимірювальна апаратура та порядок роботи з ними

Лабораторний стенд сонячної геліоустановки для аналізу ефективності роботи характеристик плоских сонячних колекторів (рис. 8.1) складається з двох основних частин з'єднаних трубками для руху теплоносія. Перша частина лабораторного стенду у вигляді бака з водою, що нагрівається, розташована безпосередньо в приміщенні лабораторії, а друга частина – на даху будівлі Інженерного-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету.



а



б

Рис. 8.1 – Лабораторний стенд теплової геліоустановки для вимірювання плоских сонячних колекторів: *а* – перша частина стенду;
б – друга частина стенду (сонячні колектори)

Перша частина лабораторного стенду містить, насамперед, ємність з теплоносієм (бак-теплоаккумулятор) і циркуляційний насос.

Друга частина стенду складається з трьох плоских сонячних колекторів, що закріплені на спеціальних опорах під кутом до горизонталі (близько 35 °С).

Опори разом з закріпленими на них плоскими сонячними колекторами встановлюються таким чином, щоб їхня поверхня була піддана максимальній кількості сонячного опромінення протягом світлового дня. Для цього поверхні колекторів необхідно повертати в південному напрямі.

Також, слід зазначити, що для збереження цілісності сонячних колекторів, необхідно систему тримати заповненою робочою рідиною, а колектори накривати захисними чохлами або поверхнями.

Результати моделювання, проведених в лабораторній роботі

Результати комп'ютерного моделювання розподілу температури у поперечному перерізі сонячного колектора в програмному забезпеченні FEMM показано на рис. 8.2.

Аналізуючи отримані результати чисельного моделювання, можна зробити висновок, що робоча плоска поверхня сонячного колектора нагрівається до найбільшого значення 335,3 К (62,3 °С) (поле фіолетового кольору на рис. 8.2), а в місцях розташування трубок з охолоджувальною рідиною нагрів менший – приблизно біля 300 К (27 °С).

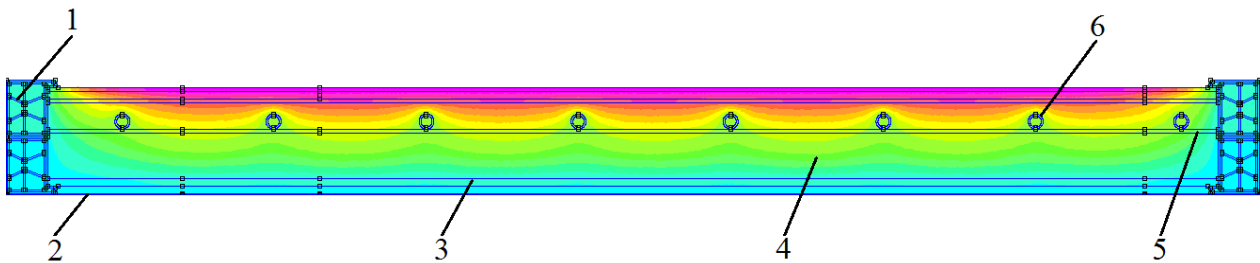
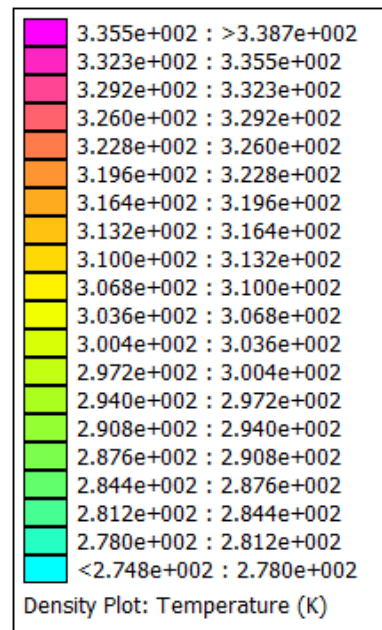


Рис. 8.2 – Ілюстрація результатів комп'ютерного моделювання розподілу температури у поперечному перерізі сонячного колектора в програмному забезпеченні FEMM: 1 – багатокамерний корпус з металопласта; 2 – нижня стінка корпусу – оцинкована сталь 0,8 мм; 3 – OSV 10 мм; 4 – пінопласт 50 мм; 5 – оцинкована сталь 0,8 мм; 6 – трубка мідного змійовика, заповнена теплоносієм

Найменший нагрів за результатами моделювання в місцях сонячного колектора, виділених голубим кольором, а саме на його бокових і тильних поверхнях – 274,8 К (1,8 °С).

Лабораторна робота № 9. Вивчення характеристик сонячної електростанції

Метою лабораторної роботи «Вивчення характеристик сонячної електростанції» є ознайомлення з основними технічними характеристиками сонячних електростанцій.

Короткі теоретичні відомості за темою лабораторної роботи

Сонячна електростанція – інженерна споруда, що призначена для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. Способи перетворення сонячної випромінювання різні й залежать від конструкції електростанції.

Всі сонячні електростанції поділяють на кілька типів:

1. Сонячні електростанції баштового типу.
2. Сонячні електростанції тарельчатого типу.
3. Сонячні електростанції, що використовують фото батареї.
4. Сонячні електростанції, що використовують параболічні концентратори.
5. Комбіновані сонячні електростанції.
6. Аеростатні сонячні електростанції.
7. Сонячно-вакуумні електростанції.

Сонячні електростанції баштового типу побудовані на принципі отримання водяної пари з використанням сонячної радіації. У центрі станції стоїть вежа висотою від 18 до 24 метрів (залежно від потужності і деяких інших параметрів висота може бути більше або менше), на вершині якої знаходиться резервуар з водою. Цей резервуар пофарбований в чорний колір для поглинання теплового випромінювання. Також в цій вежі перебуває насосна група, що доставляє пар на турбогенератор, який знаходиться поза вежі. По колу від башти на деякій відстані розташовуються геліостати.

Геліостат – дзеркало площею в кілька квадратних метрів, що закріплене на опорі і підключене до загальної системі позиціонування. Тобто, в залежності від положення сонця, дзеркало буде змінювати свою орієнтацію в просторі. Основне і найважче завдання – це позиціонування всіх дзеркал станції таким чином, щоб у будь-який момент часу всі відбиті промені від них потрапили на резервуар. У ясну сонячну погоду температура в резервуарі може досягати 700 °С. Такі температурні параметри використовуються на більшості традиційних теплових електростанцій, тому для отримання енергії використовуються стандартні турбіни. Фактично на станціях такого типу можна отримати порівняно великий ККД (близько 20%) і високі потужності.

Сонячні електростанції тарельчатого типу використовують принцип отримання електроенергії, схожий з баштовими сонячними електростанціями, але є відмінності в конструкції самої станції. Станція складається з окремих модулів. Модуль складається з опори, на яку кріпиться фермова конструкція приймача і відбивача. Приймач знаходиться на деякому віддаленні від відбивача, і в ньому концентруються відбиті промені сонця. Відбивач складається з дзеркал у формі тарілок (звідси назва), радіально розташованих на фермі. Діаметри цих дзеркал досягають 2 метрів, а кількість дзеркал – декількох десятків (залежно від потужності модуля). Такі станції можуть складатися як з одного модуля (автономні), так і з декількох десятків (робота паралельно з мережею).

Сонячні електростанції, що використовують фото батареї, в даний час дуже поширені, оскільки в загальному випадку станція складається з великої кількості окремих модулів (фотобатарей) різної потужності і вихідних параметрів. Дані сонячні станції широко застосовуються для енергозабезпечення як малих, так і великих об'єктів (приватні котеджі, пансіонати, санаторії, промислові будівлі і т.д.). Встановлювати фотобатарей можна практично скрізь, починаючи від покрівлі і фасаду будівлі і закінчуючи спеціально виділеними територіями. Встановлені потужності теж коливаються

в широкому діапазоні, починаючи від постачання окремих насосів, закінчуючи електропостачанням міст.

Принцип роботи сонячних електростанцій полягає в нагріванні теплоносія до параметрів, придатних до використання в турбогенераторі. Конструкція даної електростанції наступна: на фермовій конструкції встановлюється параболоциліндричне дзеркало великої довжини, а у фокусі параболі встановлюється трубка, по якій тече теплоносій (найчастіше масло). Пройшовши весь шлях, теплоносій розігрівається і в теплообмінних апаратах віддає теплоту воді, яка перетворюється на пару і поступає на турбогенератор.

Сонячні електростанції, що використовують двигун Стірлінга, представляють собою електростанцію з параболічними концентраторами, у яких у фокусі встановлений двигун Стірлінга. Існують конструкції двигунів Стірлінга, які безпосередньо перетворюють коливання поршня в електричну енергію, без використання кривошипно-шатунного механізму. Це дозволяє досягти високої ефективності перетворення енергії. Ефективність таких електростанцій досягає 31,25 %. В якості робочого тіла використовується водень або гелій.

Часто на сонячних електростанціях різних типів додатково встановлюють теплообмінні апарати для отримання гарячої води, яка використовується як для технічних потреб, так і для гарячого водопостачання та опалення. У цьому і полягає суть комбінованих сонячних електростанцій. Також на одній території можлива паралельна установка концентраторів і фотобатарей, що теж вважається комбінованою сонячною електростанцією.

Сонячно-вакуумні електростанції використовують енергію повітряного потоку, що штучно створюється шляхом використання різниці температур повітря в приземному шарі повітря, що нагрівається сонячними променями в закритій прозорими стеклами ділянці, і на деякій висоті. Складаються з накритого скляним дахом ділянки землі і високої вежі, біля основи якої розташована повітряна турбіна з електрогенератором. Вироблювана потужність зростає з ростом різниці температур, яка збільшується з висотою башти.

Шляхом використання енергії нагрітого ґрунту побідні електростанції здатні працювати майже цілодобово, що є їх серйозною перевагою

Запаси нафти і газу в світі стрімко виснажуються, а рівень забруднення повітря все зростає. Це змушує людство активно шукати альтернативні джерела енергії. Важливим кроком на цьому шляху виразно стане запуск найбільшою і найпотужнішою в світі сонячної електростанції потужністю 550 МВт. Нова електростанція отримала назву Toraz Solar Farm, вона розташовується в США, в Каліфорнії. Пластини споруди займають 25 км² (рис. 9.1). Потужність в 550 МВт є безпрецедентною для сонячної енергетики. Для порівняння, Південноукраїнська атомна електростанція, що розташована в Миколаївській області, виробляє біля 3000 МВт, а це означає, що сонячна електростанція Toraz Solar Farm виробляє біля 18 % потужності Південноукраїнської електростанції.

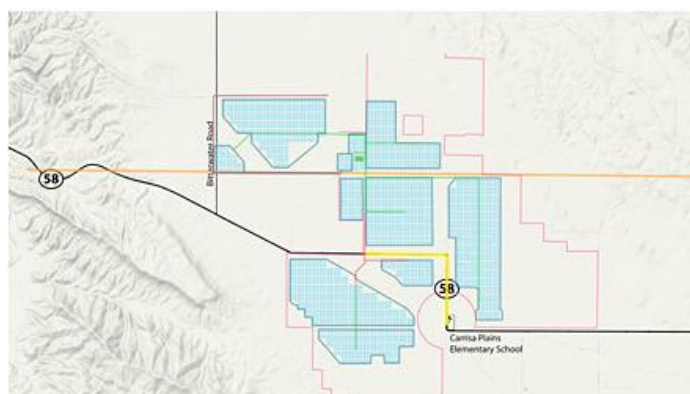


Рис. 9.1 – Схема сонячної електростанції Toraz Solar Farm

Сонячна електростанція Toraz Solar Farm забезпечить енергією понад 160 тисяч будинків і промислових підприємств в районі. Вартість будівництва склала близько 2,5 мільярдів доларів. При цьому найбільшою в світі електростанцією Toraz Solar Farm залишиться недовго. Уже в середині наступного року в рамках цього ж проекту в США буде запущена електростанція ще більшої потужності. Відзначається, що запуск Toraz Solar Farm дозволить скоротити викиди вуглекислого газу в атмосферу як мінімум на 380 тисяч тон на рік, що сповільнить глобальне потепління і поліпшить екологію регіону.

Найбільшими сонячними електростанціями України є електростанції «Перове» і «Охотниково», що розташовані в Криму з потужностями відповідно 105,56 МВт і 82,65 МВт, електростанції «Кілія», «Долинівка» та «Староказацьке», що розташовані в Одеській області з потужностями відповідно 54,8 МВт, 43 МВт та 43 МВт.

Розрахункове завдання лабораторної роботи

Студентам запропонована виконати розрахунок за тематикою лабораторної роботи.

Приклад розрахункового завдання.

На сонячній електростанції баштового типу встановлено $n = 243$ геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_{\Gamma} = 64 \text{ м}^2$. Геліостати віддзеркалюють сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $H_{\text{пр}} = 2,5 \text{ МВт/м}^2$. Коефіцієнт віддзеркалення геліостатів $R_{\Gamma} = 0,8$, коефіцієнт поглинання $A_{\text{пр}} = 0,95$. Максимальне опромінення дзеркала геліостата $H_{\Gamma} = 600 \text{ Вт/м}^2$.

Визначити площу поверхні приймача $F_{\text{пр}}$ і теплові втрати в ньому, що визвано випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія становить $t = 700 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Ступінь чорноти приймача $e_{\text{пр}} = 0,95$, коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла $C_0 = 0,48 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K}^4)$.

Розв'язок розрахункового завдання.

Дана задача присвячена використанню сонячної енергії на електростанціях баштового типу з використанням геліостатів, що відправляють сонячні промені на приймач, в якому, в кінцевому рахунку, отримують перегрітий водяний пар для роботи парової турбіни.

Енергія, що отримується приймачем від сонця через геліостати (Вт) може бути визначена за формулою:

$$Q = R_{\Gamma} A_{\text{пр}} F_{\Gamma} H_{\Gamma} n,$$

де H_{Γ} – опромінення дзеркала геліостата в $\text{Вт}/\text{м}^2$ (для типових умов $H_{\Gamma} = 600 \text{ Вт}/\text{м}^2$);

F_{Γ} – площа поверхні геліостата, м^2 ;

n – кількість геліостатів;

R_{Γ} – коефіцієнт віддзеркалення дзеркала концентратора, $R_{\Gamma} = 0,7 \div 0,8$;

$A_{\text{пр}}$ – коефіцієнт поглинання приймача, $A_{\text{пр}} < 1$.

Підставимо, числові значення та виконаємо чисельний розрахунок:

$$Q = R_{\Gamma} A_{\text{пр}} F_{\Gamma} H_{\Gamma} n = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 64 \cdot 600 \cdot 243 = 7091712 \text{ Вт} = 7,1 \text{ МВт}.$$

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітлюваність на ньому $H_{\text{пр}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$:

$$F_{\text{пр}} = Q / H_{\text{пр}}.$$

Підставимо, числові значення та виконаємо чисельний розрахунок:

$$F_{\text{пр}} = 7091712 / (2,5 \cdot 10^6) = 2,837 \text{ м}^2.$$

В загальному випадку температура на поверхні приймача може досягати $t_{\text{пов}} = 1160 \text{ К}$, що дозволяє нагріти теплоносії до $700 \text{ }^\circ\text{С}$. Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна обчислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{\text{пром}} = e_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4, \text{ Вт}/\text{м}^2,$$

де T – абсолютна температура теплоносія, К ;

$e_{\text{пр}}$ – ступінь чорноти сірого тіла приймача;

C_0 – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

За умовою задачі температура теплоносія дана в градусах Цельсія і становить $700 \text{ }^\circ\text{С}$, отже, для отримання абсолютної температури виконаємо перерахунок:

$$T = 700 + 273 = 973 \text{ К}.$$

Підставимо, числові значення та виконаємо чисельний розрахунок:

$$q_{\text{пром}} = e_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4 = 0,95 \cdot 0,48 \cdot (973/100)^4 \approx 4087,11 \text{ Вт}/\text{м}^2.$$

Всі шукані за умовою задачі параметри розраховано, розрахунок можна вважати завершеним.

Рекомендована література

1. Андрижиевский А. А. Энергосбережение и энергетический менеджмент / А. А. Андрижиевский, В. И. Володин. – Минск : Высш. шк., 2005. – 294 с.
2. Васильев Ю. С. Основное энергетическое оборудование гидроэлектростанций / Ю. С. Васильев, И. С. Саморуков, С. Н. Хлебников. – СПб. : СПбГТУ, 2002. – 134 с.
3. Веденов А. Г. Строительство биогазовых установок. Краткое руководство / А. Г. Веденов, А. Н. Маслов. – Бишкек : Евро, 2006. – 28 с.
4. Величко С. А. Энергетика навколишнього середовища України / С. А. Величко. – Х. : ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2003. – 52 с.
5. Костенко М. В. Техника высоких напряжений / М. В. Костенко. – М. : Высш. шк., 1993. – 528 с.
6. Непорожний П. С. Введение в специальность. Гидроэнергетика / П. С. Непорожний, В. И. Обрезков. – М. : Энергоиздат, 1982. – 304 с.
7. Рензо Д. Ветроэнергетика / Д. Рензо; [пер. с англ. Я.И. Шефтер]. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.
8. Фатеев Е. М. Ветро двигатели и ветроустановки / Е. М. Фатеев. – М. : ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 1948. – 544 с.
9. Фокин В. М. Основы энергосбережение и энергоаудита / В. М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 256 с.
10. Янсон Р. А. Ветроустановки / Р. А. Янсон. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – 36 с.

Навчальне видання

**АЛЬТЕРНАТИВНІ ПОНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА
ЕНЕРГІЇ В АПК:**

Методичні рекомендації

Укладач:

Кириченко Олександр Сергійович

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 3.

Тираж ___ прим. Зам. № ___

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54029, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.02.2013 р.