

Міністерство освіти і науки України
Чернігівський промислово-економічний коледж
Київського національного університету технологій та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник директора з НР

_____ С.В.Бондаренко

_____ 20__ р.

**Методичні вказівки і завдання щодо виконання
практичних занять з дисципліни
«Енергозбереження»
для студентів 4 курсу
спеціальності 5.05070104 «Монтаж і експлуатація
електроустаткування
підприємств і цивільних споруд»**

Уклав

Ю. В. Алійник

Розглянуто на засіданні
циклової комісії
спеціальних електротехнічних дисциплін
Протокол №__ від _____ 20__ року

Голова циклової комісії

В. В.Олійник

Інструкція для виконання практичної роботи №1

Тема: Дослідження порівняльних характеристик електричних джерел світла.

1. Мета:

1.1 Вивчити пристрій і принцип дії найбільш поширених типів електричних джерел світла.

1.2 Ознайомитися з найважливішими параметрами джерел електричного світла.

1.3 Провести порівняльну оцінку, на основі експериментальних даних, роботу ламп розжарювання і люмінесцентних ламп.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Стенд для виконання практичної роботи.

2.4 Люксметр.

2.5 Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи.

3 Теоретичні відомості

Світло представляє собою електромагнітні хвилі довжиною $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7} \text{ м}$. 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 $\Phi_{\text{маг}}$ - енергія, що переноситься електромагнітними хвилями за 1 секунду через довільну поверхню. Одиниця вимірювання потоку випромінювання, $\text{Дж}/\text{с} = \text{Вт}$.

Енергетична освітленість $E_{\text{эн}}$ (щільність потоку випромінювання) - відношення потоку випромінювання до площі рівномірно опромінюваної їм

поверхні. Одиниця вимірювання енергетичної освітленості - $Вт/м^2$.

Світловий потік Φ - потік випромінювання, що оцінюється за його дією на людське око. Людське око неоднаково чутливе до потоку світла з різними довжинами хвиль (найбільш чутливе очко при денному освітленні до світла з довжиною хвилі 555 нм). Одиницею виміру світлового потоку з точки зору сприйняття людським оком (яскравості) є люмен (лм). Світловий потік в 1 лм білого світла дорівнює ($1 Вт = 217 лм$).

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 прямо пропорційна світловому потоку і зворотно пропорційно 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 вище температура тіла, тим швидше рухаються атоми або молекули. При зіткненні один з одним частина їх 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 у збуджений стан під впливом зовнішніх причин, а потім, при переході порушеної центру на більш низький енергетичний рівень, що випускають квант люмінесцентного вивчення. Речовини, до яких

відбувається люмінесценція, називаються люмінофорами.

Електричні джерела світла, їх конструкції і параметри

Електричними джерелами світла є лампи розжарювання і газорозрядні (люмінесцентні, низького і високого тиску).

Найважливішими характеристиками ламп є:

- Номінальна напруга;
- Споживана потужність;
- Світловий потік (потужність видимого випромінювання,

вимірюється в люменах);

- Середній термін служби.

Економічність лампи оцінюють світловою віддачею – значенням світлового потоку, що припадає на одиницю потужності лампи (лм/Вт), Для ламп розжарювання світлова віддача складає **7–19 лм/Вт**. для люмінесцентних 40—80 л м/Вт.

Лампа розжарювання була винайдена А.М. Лодигіним в 1873 р, досі немає пристрою з подібним спектром випромінювання. З цієї причини спостерігається широке застосування ламп розжарювання. 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 у середньому становить близько 1000 годин, обмежуване терміном служби спіралі, яка працює при великих

температурах. Строк служби ламп розжарювання зменшується при впливі на них вібрацій, частих включеннях і виключеннях, не вертикальному положенні.

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

Незважаючи на зазначені недоліки, в даний час лампи розжарювання знаходять все ще широке поширення в зв'язку з їх простотою в експлуатації, надійністю, компактністю і низькою вартістю. Лампи розжарювання можуть бути вакуумними і газонаповненими.

Великою популярністю в даний час користується різновид ламп накачування - галогенні лампи, термін служби яких досягає приблизно 2000 годин і які характеризуються високим значенням світловіддачі. Це відбувається за рахунок того, що до складу газового заповнення колби **галогенною лампи** розжарювання додається йод, який за певних умов забезпечує зворотний перенос випарувалися частинок вольфраму спіралі зі стінок колби лампи на тіло розжарення.

Газорозрядні лампи відрізняються більш високою світловіддачею, так як в них електрична енергія перетворюється в енергію оптичного випромінювання за рахунок електричного розряду в газах або парах металів.

Люмінесцентна лампа представляє собою запаяну з обох кінців скляну трубку, внутрішня поверхня якої покрита тонким шаром люмінофора. З лампи відкачано повітря, і вона заповнена інертним газом аргоном при дуже низькому тиску. В лампу поміщена крапля ртуті, яка при нагріванні перетворюється в ртутні пари. Вольфрамові електроди лампи, як правило, мають вигляд спіралі. Паралельно спіралі розташовуються два жорстких нікелевих електрода, кожен з яких з'єднаний з одним з кінців спіралі. При подачі на електроди напруги в газовому середовищі лампи виникає електричний тліючий розряд, зокрема між жорсткими електродами і спіраллю, який далі поширюється на всю порожнину лампи.

У циліндричному балоні такої лампи проходить електричний розряд у парах ртуті. Збуджені атоми ртуті випускають потужні потоки

електромагнітного випромінювання, основна енергія якого лежить в ультрафіолетовій частині спектра. Поглинаючи це випромінювання, атоми люмінофора випромінюють світло у видимій частині спектру і достатньою мірою відтворюють спектр денного світла.

Газорозрядні лампи працюють зі спеціальними пускорегулювальними апаратами і поділяються на люмінесцентні лампи низького і високого тиску.

Люмінесцентні лампи менше витрачають електроенергії, термін їх служби в 5 разів більше в порівнянні з лампами розжарювання. Однак лампи денного світла не витіснили лампи розжарювання, що мають суттєві недоліки. Створюваний холодним світінням дискомфорт посилюється стробоскопічним ефектом (мерехтіння ламп). Крім того, пусковий пристрій обладнання світильників виробляє шуми різної частоти, які викликають підвищену стомлюваність організму. Дросельна пускорегулююча апаратура забезпечує можливість живлення ламп денного світла від джерел електроструму частотою 50 Гц.

Одне з рішень, усувають недоліки як ламп розжарювання, так і люмінесцентних ламп, - застосування електронних пускорегулювальних пристроїв (ЕПРУ). Воно забезпечує роботу лампи денного світла зі світінням частотою 30-40 кГц, що дозволяє створювати енергоекономічні системи внутрішнього освітлення. Скорочення витрат електроенергії відбувається в результаті значного підвищення напруги живлення люмінесцентних ламп за допомогою ЕПРУ. Так, ЕПРУ забезпечуючи частоту 30-40 кГц, обумовлює споживання лампою всього 9 Вт електричної потужності замість 60 Вт, потрібних для розвитку рівної за величиною світловіддачі ламп розжарювання. Термін служби лампи зростає до 8000 годин.

Зниження споживання електроенергії при повсюдному впровадженні люмінесцентних ламп.

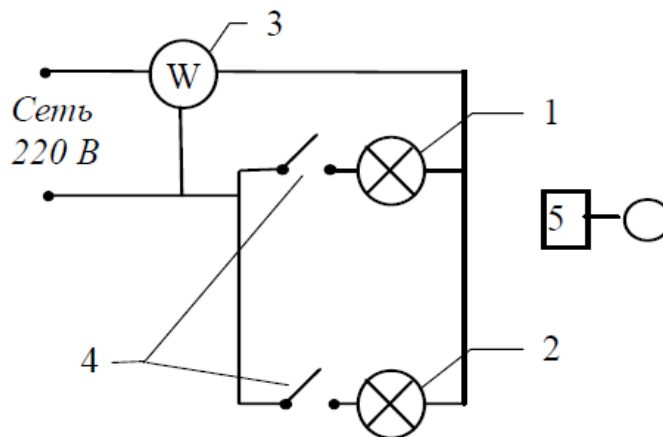


Рис. 1 Схема експериментальної установки

1 – лампа розжарювання; 2 – люмінесцентна лампа, що працює з частотою 35000 Гц;

3 – ватметр для вимірювання споживаної лампами з мережі електричної активної потужності;

4 – вимикачі; 5 – прилад для вимірювання освітленості – люксометр

4 Хід роботи

1 Вмикачем 4 вмикається лампа розжарювання.

2 Люксометром 5 вимірюється величина освітленості на поверхні включеного світильника в 5-ти точках.

3 За ватметром 3 визначається величина споживаної лампою розжарювання потужність з мережі.

4 Вмикається лампа розжарювання.

5 Вмикачем 4 вмикається люмінесцентна лампа, і виконуються для неї аналогічні вимірювання.

6 Отримані дані заносяться в таблицю 1.

7 Вихідні дані, необхідні для розрахунків, наведені в таблиці 2.

8 Необхідно визначити поверхню циліндричного світильника за виразом:

$$S = \frac{\pi d h}{4} + \pi d h, m^2,$$

де d – діаметр світильника $d = 0.095$ м;

H – висота світильника $h = 0.145$ м;

9 По результатами розрахунків зробити висновок про економічності розглянутих джерел світла і доцільності їх використання.

Таблиця 1 – Результати вимірювань

Параметри		Включене електричне джерело	
		Лампа розжарювання	Люмінесцентна лампа, що працює на частоті 35000Гц.
Освітленість E(лк) на поверхні світильника, у точках.	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 $\Phi = E \cdot S$, лм			
Потік випромінювання $\Phi_{изл} = \Phi/217$, Вт			
Споживана потужність N, Вт			
КПД джерела світла $n = \frac{\Phi_{изл}}{N} \cdot 100\%$			
Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) $E_{эн} = \frac{\Phi_{изл}}{S}$, Вт/м ²			
Світлова віддача $C_Q = \Phi/N$, лм/Вт			

Таблиця 2 – Вихідні дані

параметри		Варіанти									
		I		II		III		IV		V	
		л. н.	л. л.	л. н.	л. л.	л. и.	л. л.	л. н.	л. л.	л. н.	л. л.
1		2	3	4	5	6	1	8	9	10	11
Освітленість E (лк) на поверхні	1	1700	700	1850	850	2000	1000	2400	1200	2700	1400
	2	1900	1500	2050	1650	2200	1800	2600	2000	2800	2200
	3	1800	1050	1950	1200	2100	1350	2500	1550	3200	1750
Світильника в точках	4	2400	1450	2550	1600	2700	1750	2900	1950	3700	2150

	5	2500	1875	2650	2025	2800	2175	3300	2350	3860	2575
Споживча потужність Н, Вт	25	5	26	5,1	27	5,3	30	5,9	36	65	

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

- 6.1 Дайте визначення потоку випромінювання.
- 6.2 Що таке освітленість?
- 6.3 Дайте визначення теплового випромінювання.
- 6.4 Що таке люмінісцентне випромінювання?
- 6.5 Які основні елементи конструкції люмінісцентної лампи?
- 6.6 Які основні елементи конструкції лампи розжарювання?

Література:

1. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

Інструкція для виконання практичної роботи №2

Тема: Розрахунок економічної ефективності застосування теплових насосів.

1. Мета:

1.1 Визначення енергетичної ефективності застосування теплових насосів для утилізації теплових вторинних енергетичних ресурсів.

1.2 Визначення терміну окупності і величини прибутковості впровадження теплового насоса в систему гарячого водопостачання.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи.

3 Теоретичні відомості

Теплові насоси є найбільш ефективним обладнанням, що сприяє збільшенню обсягу і глибини використання ТВЕР промислових підприємств. Для визначення технічної можливості та ефективності їх застосування необхідно мати достовірну інформацію про параметри і режимах виходу ТВЕР, теплових навантаженнях та їх тривалості, показниках заміщаються теплогерел, тенденціях зміни вартості енергоносіїв, очікуваної технологічної та екологічної ефективності від впровадження систем утилізації та ін.

При оцінці технічних показників застосування теплових насосів тепловий потенціал ТВЕР класифікується на розрахунковий, використовуваний без шкоди для технології та навколишнього середовища протягом години ($Q_{ТВЕР}^P$, кВт) і наявний, використовуваний за рік ($Q_{ТВЕР}^Г$, ГДж).

Їх величини визначаються за формулою:

$$Q_{ТВЕР}^P = G_H \cdot \rho \cdot C_i \cdot \Delta t_{ij} \cdot R_{ij} / 3600; \quad (1)$$

$$Q_{ТВЕР}^Г = \sum_j 3,6 \cdot 10^{-3} Q_{ТВЕР}^P \cdot n_{ij}; \quad (2)$$

де G_{ij} — обсяг ТВЕР і-го виду в j -ий період року, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Δt_{ij} — середня за j -ий період року глибина охолодження потоку ТВЕР і-го виду, $^{\circ}\text{C}$;

ρ — щільність речовини, що становить потік ТВЕР і-го виду, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C_i — теплоємність потоку ТВЕР і-го виду, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C})$;

R_{ij} — коефіцієнт, що характеризує доступність утилізації ТВЕР і-го виду в j -ий період року;

N_{ij} — тривалість використання розрахункового теплового потенціалу ТВЕР і-го виду в j -ий період року, годину.

При укрупнених розрахунках теплопродуктивність теплових насосів в системах утилізації ТВЕР ($Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}$, кВт і $Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}}$, ГДж) при покритті ними теплових навантажень різних видів визначається з співвідношень:

—опалювально-вентиляційної навантаження

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (3)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,33 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (4)$$

—навантаження гарячого водопостачання

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (5)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (6)$$

—при передачі теплоти в системи централізованого теплопостачання

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (7)$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \quad (8)$$

Споживана потужність компресора теплового насоса ($P_{\text{ТН}}$, кВт) і річна витрата електричної енергії ($\mathcal{E}_{\text{ТН}}$, МВт·ч) на вироблення теплоти $Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}}$ визначаються відомими співвідношеннями:

$$P_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}; \quad (9)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = (Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}}) / 3,6 \quad (10)$$

Енергетична ефективність застосування теплових насосів розраховується за

величиною очікуваної щорічної економії первинного палива ($\Delta B, \%$), яка визначається за виразом

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ТН}} \cdot \eta_{\text{ТС}} / (\eta_{\text{ЭН}} \cdot \eta_{\text{ЗС}} \cdot \varepsilon))] \cdot 100\%, \quad (11)$$

де $\eta_{\text{ТН}}$ — ККД чинного джерела теплопостачання;

$\eta_{\text{ТС}}$ — ККД теплової мережі;

$\eta_{\text{ЭН}}$ — ККД джерела електричної енергії;

$\eta_{\text{ЗС}}$ — ККД передачі і трансформації електричної енергії;

ε — середньорічний опалувальний коефіцієнт теплового насоса.

Економічну ефективність застосування теплових насосів можна визначити за величиною наведених витрат, терміну окупності, рівню рентабельності, величиною прибутковості та ін.

Найбільш значущими складовими і розрахунках економічної ефективності є величини необхідних капітальних вкладень на впровадження теплових насосів і очікуваної економії щорічних витрат на теплопостачання.

Укрупнено витрати на придбання та під'єднання теплових насосів ($K_{\text{тну}}$) різних типів і теплопродуктивності ($Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}$) включаючи і периферійного обладнання, до тепломережі можна визначити за такими формулою:

1. для системи з тепловим насосом «вода-вода» і з гвинтовим компресором

$$K_{\text{тну}} = \begin{cases} 40000 + 152 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} & \text{при } 0 < Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} < 1044 \text{ кВт} \\ 200000 + 128 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \cdot (Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - 1044) & \text{при } Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \geq 1044 \text{ кВт;} \end{cases} \quad (12)$$

2. для системи з тепловим насосом «вода-вода» і з поршневым компресором

$$K_{\text{тну}} = 58000 + 58 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \quad \text{при } Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \leq 700 \text{ кВт;} \quad (13)$$

3. для системи з тепловим насосом «вода-вода/повітря» із поршневым компресором

$$K_{\text{тну}} = 70000 + 13 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \quad \text{при } Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \leq 500 \text{ кВт;} \quad (14)$$

4. для системи з тепловим насосом «повітря-вода» із спіральним компресором

$$K_{\text{тну}} = 6540 + 263 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \quad \text{при } Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \leq 100 \text{ кВт;} \quad (15)$$

(15)

5. для системи з тепловим насосом «вода-вода» і зі спіральним компресором
 $K_{\text{тнУ}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}$ при $Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} \leq 300$ кВт;

(16)

Величина очікуваної щорічної економії витрат (\mathcal{E}^{Γ}) при впровадженні теплових насосів визначає величиною теплового навантаження (Q), тривалістю використання розрахункової теплопродуктивності теплових насосів (n), вартістю енергоносіїв (C) та ін.

$$\text{Укрупнено величина } \mathcal{E}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{тр}} - \mathcal{E}_{\text{тн}}. \quad (17)$$

Величина $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ визначається за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = 3,385 \cdot n \cdot C_Q \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} / 1000, \quad (18)$$

де C_Q — вартість теплової енергії, у.о./ГДж;

n — тривалість використання розрахункового теплового потенціалу ТВЕР на протязі року.

Величина $\mathcal{E}_{\text{тн}}$ визначається за формулою:

$$\mathcal{E}_{\text{тн}} = 0,286 n \cdot C_{\mathcal{E}} \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}}, \quad (19)$$

де $C_{\mathcal{E}}$ - вартість теплової енергії, у .о./кВт·ч.

Використовуючи значення $K_{\text{тнУ}}$ та задаючись величиною процентної ставки i за кредитом (A), рівний не більше 0,5 ставки рефінансування Національного банку, за нижченаведеними виразами можна визначити: термін окупності ($T_{\text{ок}}$) та прибутковість (D) впровадження теплових насосів:

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{тнУ}} / \mathcal{E}^{\Gamma}; \quad (20)$$

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^{\Gamma} / (K_{\text{тнУ}} \cdot 1 + A/100) \quad (21)$$

Приклад рішення задачі по розрахунку оцінки енергетичної та економічної ефективності застосування теплових насосів

Завдання 1. Розрахувати і дати оцінку енергетичної в економічній ефективності застосування теплового насоса (ТН) в системі утилізації теплоти стічних (оборотних) вод. Споживач теплоти, виробленої ТН - гаряче водопостачання підприємства і прилеглих об'єктів. Використовується ТН типу «вода-вода» зі спіральним компресором..

Вихідні дані:

1. Об'єм ТВЕР (стічних вод) становить
2. глибина охолодження потоку ТВЕР
3. коефіцієнт доступності утилізації ТВЕР дорівнює
4. розрахункова тривалість використання теплового потенціалу ТВЕР
5. середньорічний опалювальний коефіцієнт ТН становить
6. коефіцієнт корисної дії (ККД) чинного джерела тепlopостачання дорівнює
7. ККД теплової мережі
8. ККД джерела електричної енергії
9. ККД передачі і трансформації електричної енергії
10. вартість електричної енергії
11. вартість теплової енергії
12. процентна ставка по кредиту

Розв'язання

1. Визначимо тепловий потенціал ТВЕР:

- розрахунковий, використовуваний на протязі години

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = G \cdot \rho \cdot C \cdot \Delta t \cdot \frac{R}{3600} = 167,5 \text{ кВт}$$

- наявний, використовуваний в перебігу року

$$Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} \cdot n = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 167,6 \cdot 5000 = 3017 \text{ ГДж}$$

2. Визначимо теплопродуктивність теплового насоса в системі утилізації

ТВЕР при покритті їм теплового навантаження гарячого водопостачання

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 1,4 \cdot 167,6 = 234,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} = 1,45 \cdot Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}} = 1,4 \cdot 3017 = 4375 \text{ кВт}$$

3. Визначимо споживану потужність компресора теплового насоса

$$P_{\text{ТН}} = Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{P}} = 234,6 - 167,67 = 67 \text{ кВт.}$$

4. Знаходимо річний витрата електричної енергії на вироблення теплоти

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = (Q_{\text{ТН}}^{\text{Г}} - Q_{\text{ТВЭР}}^{\text{Г}})/3,6 = (4375 - 3017)/3,6 = 377,2 \text{ МВт} \cdot \text{ч}$$

5. Енергетичну ефективність застосування ТН визначимо за величиною очікуваної щорічної економії первинного палива

$$\Delta B = [1 - (\eta_{\text{ТН}} \cdot \eta_{\text{ТС}} / (\eta_{\text{ЭН}} \cdot \eta_{\text{ЗС}} \cdot \varepsilon))] \cdot 100$$

$$= [1 - (0,85 \cdot 0,9 / (0,33 \cdot 0,9 \cdot 3,5))] \cdot 100 = 26,4\%$$

6. Визначимо Укрупнено витрати на придбання та під'єднання ТН і периферійного обладнання до тепломережі. Для теплового насоса типу «вода-вода» зі спіральним компресором

$$K_{\text{ТНУ}} = 7700 + 115 \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 7700 + 115 \cdot 234,6 = 34679 \text{ у. е.}$$

7. Визначимо величину очікуваної щорічної економії витрат \mathcal{E}^{Γ} при впровадженні теплового насоса

$$\mathcal{E}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{тр}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}}$$

Значення $\mathcal{E}_{\text{тр}}$ визначимо за формулою

$$\mathcal{E}_{\text{тр}} = 3,385 \cdot n \cdot C_{\text{Q}} \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} / 1000 = 3,385 \cdot 5000 \cdot 8,35 \cdot 234,6 / 1000 = 33154 \text{ у. е.}$$

Значення $\mathcal{E}_{\text{ТН}}$ визначимо відповідно за формулою

$$\mathcal{E}_{\text{ТН}} = 0,286 \cdot n \cdot C_{\text{Э}} \cdot Q_{\text{ТН}}^{\text{P}} = 0,286 \cdot 5000 \cdot 0,03 \cdot 234,6 = 11741 \text{ у. е.}$$

звідси

$$\mathcal{E}^{\Gamma} = \mathcal{E}_{\text{тр}} - \mathcal{E}_{\text{ТН}} = 33154 - 11741 = 21413 \text{ у. е.}$$

8. Термін окупності теплового насоса дорівнює

$$T_{\text{ок}} = K_{\text{ТНУ}} / \mathcal{E}^{\Gamma} = 34679 / 21413 = 1,62 \text{ года.}$$

9. Величина прибутковості Д від впровадження ТН в систему гарячого водопостачання підприємства складе

$$D = 100 \cdot \mathcal{E}^{\Gamma} / (K_{\text{ТНУ}} \cdot 1 + A/100) = 100 \cdot 21413 / (34679 \cdot (1 + 15/100))$$

$$= 53,7\%$$

Як впливає з наведеного прикладу, застосування теплового насоса енергетично та економічно обґрунтовано, оскільки $\Delta B = 26,4\%$, $T_{\text{ок}} = 1,62 \text{ года}$, $D = 53,7\%$.

4 Хід роботи

Розрахувати і дати оцінку енергетичної та економічної ефективності застосування теплового насоса (ТН) в системі утилізації теплоти стічних (оборотних) вод. Споживач теплоти, виробленої ТН - гаряче водопостачання підприємства і прилеглих об'єктів. Вихідні дані, необхідні для розрахунків, представлені в табл. 1.

Умовні позначення, які використовуються в цій задачі, однакові з попередньою завданням 1.

Таблиця 1

№ п/п	Параметри	Розмірність	Варіанти				
			I	II	III	IV	V
1	G	м ³ /ч	60	80	100	30	20
2	Δt	°C	10	8	12	6	18
3	R	—	0,8	0,85	0,7	0,95	0,75
4	n	ч	5000	6000	7000	3000	4000
5	ε	—	3,5	4,0	4,5	5,0	4,5
6	$\eta_{ТН}$	—	0,85	0,8	0,87	0,75	0,7
7	$\eta_{ТС}$	—	0,9	0,85	0,9	0,85	0,8
8	$\eta_{ЭН}$	—	0,33	0,35	0,34	0,36	0,32
9	$\eta_{ЗС}$	—	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
10	$C_{Э}$	у. е./кВт · ч	0,035	0,04	0,03	0,025	0,045
11	C_Q	у. е./ГДж	8,3	9,3	6,5	6,0	10,0
12	A	%	15	15	15	15	15
13	Тип ТН і тип компресора	—	вода-вода з поршневим	вода-вода / повітря з поршневим	вода-вода з гвинтовим	вода-вода / повітря з поршневим	вода-вода зі спіральним

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

6.1 Де використовуються теплові насоси?

6.2 Які є технічні показники теплових насосів?

6.3 Як визначається споживана потужність компресора теплового насоса?

Література:

1. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

Інструкція для виконання практичної роботи №3

Тема: Розрахунок економії електроенергії в освітлювальних установках приміщень при проведенні енергетичного аудиту.

1 Мета:

1.1 Визначення встановленої потужності і річного споживання електроенергії на освітлення приміщення.

1.2 Розрахунок економії електроенергії при проведенні різних заходів, спрямованих на зниження енергоспоживання.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

2.1 Аркуші паперу формату А4.

2.2 Набір креслярських приладів.

2.3 Методичні вказівки щодо виконання практичної роботи.

3 Теоретичні відомості

Останнім часом, у зв'язку із зростанням цін на енергоносії, актуальною стають проблема їх економії. Першим етапом процесу економії енергії є проведення комплексного енергетичного обстеження об'єкта (енергоаудит) та розробка на його основі енергетично доцільних заходів щодо економії енергії. Дані заходи розробляються для кожного окремого типу споживача енергії: опалення, освітлення, вентиляція, технологічні процеси тощо. Спочатку проводиться аналіз стану систем енергоспоживання, а потім - розрахунок економії енергії за певними методиками.

Система освітлення є вагомим споживачем електроенергії, особливо в адміністративних будівлях де витрачається на освітлення до 80% електроенергії від загального споживання.

Для аналізу стану системи освітлення обстежуваного об'єкта необхідно зібрати наступну інформацію:

- тип і кількість існуючих світильників;

- тип , кількість і потужність використовуваних ламп ;
- режим роботи системи штучного освітлення;
- характеристики поверхонь приміщень (коефіцієнти відбиття)
- рік установки світильників;
- періодичність чищення світильників;
- фактичний і нормований рівень освітленості ;
- значення напруги електромережі освітлення на початку і в кінці вимірювань освітленості;
- розміри приміщення ;
- середній фактичний термін служби ламп ;
- фактичне і нормоване значення коефіцієнта природної освітленості

Потім, проводиться розрахунок показників енергоспоживання на основі вище перерахованих даних отриманих в результаті інструментального обстеження об'єкта

Встановлена потужність дорівнює;

$$P_i = P_{\text{л}} * K_{\text{пра}} * n(\text{кВт})$$

де P_i - Потужність освітлювальної установки 1-го приміщення в обстежуваному об'єкті;

$K_{\text{пра}}$ – коефіцієнт втрат в пускорегулюючій апаратурі освітлювальних приладів

$P_{\text{л}}$ -потужність лампи

n - кількості однотипних ламп в освітлювальній установці 1-го приміщення

Річне споживання електричної енергії визначаються по слидуючому виразу;

$$W_e = \sum W_{ri} = \sum P_i * T_{ri} * k_{ni}, (\text{кВт} * \text{ч})$$

де W_i - сумарне річне споживання електроенергії;

W_{ri} - Річне споживання електроенергії освітлювальної установкою (ОУ)

1-го приміщення

T_{ri} кількість годин роботи системи 1-го приміщення на рік;

k_{ni} - коефіцієнт использования установленной электрической мощности в ОУ 1-го помещения.

Питоме річне споживання електроенергії одного світильника:

$$W_{\text{Гуд}} = \frac{W_T}{\sum S_i} (\text{кВт} * \text{ч} / \text{м}^2)$$

де $W_{\text{Гуд}}$ -річне питоме споживання електроенергії
 s_i -площа 1-го приміщення в досліджуваному об'єкті.

Для більш точної оцінки величини економії електроенергії по кожному з проведених заходів необхідно виконати розрахунок економії електроенергії за наведеною нижче методикою.

Спочатку визначаємо фактичне середнє значення освітленості з урахуванням відхилення напруги з мережі від номінального за висловом;

$$E_{\phi} = E_n * U_n / (U_n + k(U_n - U_{\text{ср}}))$$

де E_{ϕ} -виміряна освітленість.лк:

k - коефіцієнт враховує зміни світлового потоку лампи при відхиленні напруги мережі живлення ($k = 4$ для ламп розжарювання, $k = 2$ для газорозрядних ламп)

U_n - Номінальна напруга мережі. В;

$U_{\text{ср}}$ - Середнє фактичне значення напруги (I, і O ~ значення напруги мережі на початку і кінці виміру).

Для обліку відхилення фактичної освітленості від нормативних значень визначаємо коефіцієнт приведення:

$$k_{\text{ні}} = E_{\phi i} / E_{\text{ні}}$$

де, $k_{\text{ні}}$ - коефіцієнт приведення освітленості 1-го приміщення:

$E_{\phi i}$ -фактичне значення освітленості в 1-ому приміщенні

$E_{\text{ні}}$ - нормоване в 1-му приміщенні.

Потенціал річної економії електроенергії в освітлювальній установці обстежуваного приміщення розраховується за формулою:

$$W_r = \sum k_{\text{ні}} * \sum \Delta W_i^k, \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{год}} \right)$$

де ΔW_i^k - потенціал економії електроенергії в кВт*ч/год для 1-го приміщення і k -го заходи.

До основних заходів, які дозволяють економити електроенергію відносяться:

1 Перехід на інший тип джерела світла з більш високою світловидатністю(лм/вт)

Економія електроенергії в результаті даного заходу визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W_{Gi} * (1 - k_{noi}) \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{ГОД}} \right)$$

k_{noi} - Коефіцієнт ефективності заміни типу джерела світла:

$$k_{noi} = C_o / C_{он}$$

де C_o - світловіддача існуючого джерела світла (лм / Вт);

$C_{он}$ - Світловіддача пропонованого до установки джерела світла (лм/Вт).

2 Підвищення ККД існуючих освітлювальних приладів внаслідок їхнього чищення, Економія електроенергії в результаті даного заходу визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W_{Gi} * k_{чи} \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{ГОД}} \right)$$

де, $k_{чи}$ - коефіцієнт ефективності очищення світильників.

Значення коефіцієнт ефективності очищення світильників визначається за виразом:

$$k_{чи} = 1 - (\gamma_c - \beta_c e^{-\left(\frac{t}{t_e}\right)})$$

де γ_e, β_e, t_e - постійні для заданих умов експлуатації світильників, для розглянутої задачі приймаємо, $\gamma_e = 0.95, \beta_e = 0.054, t_e = 360$

t - тривалість експлуатації світильників між двома найближчими чистками

3 Установка енергоефективної пускорегулювальної апаратури

$$\Delta W_i = W_{Gi} * \left(1 - \frac{K_{праi}^н}{K_{праi}} \right) \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{ГОД}} \right)$$

де $K_{праi}$ – коефіцієнт втрат в ПРА існуючих світильників системи освітлення 1 -го приміщення: $K_{праi}^н$ - коефіцієнт втрат в утдаамішжммх ПРА .

4 Заміна світильників є найбільш ефективним комплексним заходом , тому що включає в себе заміну ламп , підвищення ККД світильника , оптимізацію светораспределения світильника і його розташування , Для точної оцінки економії електроенергії необхідно виробляти светотехнічний розрахунок освітленості для передбачуваних до установки світильників методом коефіцієнта використання або точковим методом . За розрахунковим

значенням встановленої потужності (з світлотехнічного розрахунку) економія електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta W_i = W_{Gi} - P_i^H * T_{Gi}$$

де P_i^H - встановлена потужність після заміни світильників;
 T_{Gi} - річне число годин роботи системи штучного освітлення 1-го приміщення.

При спрощеній оцінці (при заміні світильників на аналогічні за светораспределению і розташуванням) розрахунок проводиться за такою формулою:

$$\Delta W_i = W_{Gi} * (1 - k_{chn}), \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{год}} \right)$$

де k_{chn} – коефіцієнт враховує підвищення ККД світильника,

$$k_{chn} = \eta_i / \eta_i^H$$

де η_i - паспортний ККД існуючих світильників;

η_i^H - паспортний ККД передбачуваних до установки світильників,

У разі великого числа однотипних приміщень в обстежуваному будівлі, яка має схожі за параметрами, станом, та заходам з економії електроенергії освітлювальні установки, розрахунок проводиться за допомогою питомих показників економії електроенергії.

$$\Delta W_{уд}^j = \Delta W_i^j / S_i^j$$

де $\Delta W_{уд}^j$ - питома економія електроенергії для - типу приміщення;

ΔW_i^j - розрахункова економія електроенергії для 1-го приміщення;

S_i^j - площа 1-го приміщення.

Загальна економія електроенергії в системах освітлення обстежуваного об'єкта визначається за формулою:

$$\Delta W_{Г} = \sum_{j=1}^m \Delta W_{уд}^j * S^j \left(\text{кВт} * \frac{\text{ч}}{\text{год}} \right)$$

де S^j - загальна площа приміщень типу;

m - кількість типів приміщень.

Приклад рішення задачі по розрахунку економії електроенергії в діючих освітлювальних установках приміщень

Приклад розрахунку. Адміністративний будинок 1986 будівлі має систему освітлення фінансового відділу оснащену світильниками типу ЛПО 02

2x40 з ККД $\eta = 52\%$. У світильниках використовуються лампи типу ЛБ 40 зі світлоотдачей $C_o = 75$ лм / Вт ; кількість світильників $n = 15$ штук. Розміри приміщення 5x15x3 метра ; нормована освітленість $E_n = 300$ лк ; виміряна освітленість $E_n = 275$ лк; кількість годин роботи штучного освітлення на рік $T_r = 1300$ годин; номінальну напругу мережі $U_n = 223$ В, а під час вимірювань воно змінювалося від $U_1 = 230$ В до $U_2 = 190$ В : коефіцієнт використання установленної електричної потужності $k_n = 0,92$; на момент вимірювань минуло 360 днів з дня останньої чистки світильників.

В результаті енергоаудиту було рекомендовано замінити світильники на нові з електронною пускорегулюючою апаратурою (ЕПРУ) з коефіцієнтом втрат $K_{пра}^n = 1,1$ и ККД $\eta^n = 75\%$ обладнані люмінесцентними лампами TL-D 36/84 со світловий отдачей $C_{он} = 93$ лм/Вт .

1 Визначимо встановлену потужність освітлювальної установки в приміщенні фінансового відділу

$$P = P_l * K_{пра} * n = 40 * 1.2 * (15 * 2) = 1440 \text{ Вт}$$

Коефіцієнт потерь в пускорегулюючій апаратурі освітлювальних приборів с люмінесцентними лампами.

2 Річне енергоспоживання в цьому приміщенні дорівнює:

$$W_r = P * T_r * k_y = 1440 * 1300 * 0.92 = 1772 \text{ кВт * ч/год}$$

3 Визначимо економію електроенергії за рахунок переходу на люмінесцентні лампи зниженої потужності типу TL-D36/84

$$\Delta W_1 = W_r * (1 - k_{не}) = 1772 * (1 - 75,93) = 337 \text{ кВт * ч/год}$$

4 Економія електроенергії за рахунок чистки світильників:

– величина коефіцієнт ефективності чистки світильників дорівнює (чисельні значення коефіцієнтів, що входять у вираз для визначення $k_{ч}$ наведені вище):

$$k_{ч} = 1 - \left(\gamma_c + \beta_c e^{-\left(\frac{t}{tc}\right)} \right) = 1 - \left(0.95 + 0.054 * e^{-\left(\frac{360}{360}\right)} \right) = 1 - (0.95 + 0.02) = 0.03$$

$$\Delta W_2 = W_r * k_{\text{ч}} = 1772 * 0,03 = 53 \text{ кВт} * \text{ч/год}$$

5 Визначимо економію електроенергії внаслідок установки електронних ПРА с $K_{\text{пра}}^{\text{н}} = 1.1$ складе:

$$\Delta W_3 = W_r * \left(1 - \frac{K_{\text{пра}}^{\text{н}}}{K_{\text{пра}}}\right) = 1772 * \left(1 - \frac{1,1}{1,2}\right) = 148 \text{ кВт} * \text{ч/год}$$

6 Визначимо економію електроенергії за рахунок встановлення нових світильників з вищим КПД=75% але з аналогічним світлорозподілом

$$\Delta W_4 = W_r * (1 - k_{\text{св}}) = 1772 * (1 - 52,75) = 543$$

7 Визначаємо фактичне середнє значення освітленості з урахуванням відхилення живлячої напруги в мережі від номінальної величини

-середнє фактичне значення напруги за час наміри одно

$$U_{\text{ср}} = \frac{U_1 + U_2}{2} = \frac{(230 + 190)}{2} = 210 \text{ В}$$

фактичне середнє значення освітленості за час вимірювання дорівнює

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{нф}} * \frac{U_{\text{н}}}{U + k(U_{\text{н}} - U_{\text{ср}})} = 275 * \frac{220}{220 + 2 * (220 - 210)} = 252 \text{ лк}$$

Загальний потенціал годовою економії електроенергії в освітлювальній установці фінансового відділу становитиме

$$W_r = k_n * \sum \Delta W_i = 252/300 * 1081 = 908 \text{ кВт} * \text{год/рік.}$$

4 Хід роботи

Адміністративний будинок має систему приміщень освячену світильниками типу ЛПО 02 2*40 с ККД $\eta = 52\%$ і коефіцієнт втрат в пускорегулюючій апаратурі $K_{\text{пра}} = 1,2$. Світильники працюють від електромережі з номінальною напругою $U=220 \text{ В}$. В світильниках використовуються лампи типу ЛБ 40 $S=75\text{лм/Вт}$. Коефіцієнт використання встановленої електричної потужності $k_{\text{н}} = 0,92$,

Кількість світильників в кожному приміщенні штук; нормована освітленість дорівнює, $E_{\text{н}}$ лк. а виміряна $E_{\text{ф}}$ лк. Кількість годин роботи штучного освітлення на рік дорівнює T годин.

Напруга в електромережі під час вимірювань освітленості змінилася від величини U до $U_{\text{в}}$ на момент вимірювань пройшло t днів з дня останньої чистки світильників.

В результаті енергоаудиту було рекомендовано замінити світильники на нові мають ККД рівній $\eta^{\text{н}}$ та електронну пускорегулюючі апаратуру ЕПРУ з коефіцієнтом втрат рівним $K_{\text{пра}}^{\text{н}}$ а також обладнані люмінесцентними лампами зі світловою віддачею $S_{\text{он}}$

Вихідні дані необхідні для розрахунків наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Дані для розрахунку

№ п/п	Пара- метри	Размер- ність	Варианти				
			I	II	III	IV	V
1	E_H	лк	300	350	400	350	450
2	E_{II}	лк	250	300	320	280	380
3	n	шт.	15	17	20	16	23
4	U_1	в	220	230	235	230	225
5	U_2	в	200	220	200	190	195
6	$C_{он}$	лм/Вт	90	85	93	95	100
7	t	дней	150	200	300	400	350
8	$K_{пра}^H$	–	1,05	1,1	1,15	1,12	1,08
9	η^H	%	70	75	80	85	78
10	$T_{Г}$	час	1400	1500	1600	1450	1550

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

6.1 Дайте визначення поняття енергоаудиту.

6.2 З якою метою проводиться енергоаудит?

6.3 Яку інформацію необхідно знати для аналізу системи освітлення обстежуваного об'єкту?

6.4 Який порядок розрахунку показників енергоспоживання?

Література:

1. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.

Інструкція для виконання практичної роботи №4

Тема: Пряме перетворення сонячної енергії в електричну.

1. Мета:

- 1.1 Ознайомитися з показниками, що характеризують сонячне випромінювання.
- 1.2 Вивчити принцип перетворення сонячної енергії в електричну.
- 1.3 Дослідити характеристику сонячного модуля на холостому ході.
- 1.4 Дослідити вольт-амперну характеристику сонячного модуля.

2 Матеріально-технічне та навчально-методичне забезпечення:

- 2.1 Аркуші паперу формату А4.
- 2.2 Набір креслярських приладів.
- 2.3 Методичні вказівки щодо виконання самостійної роботи.

3 Теоретичні відомості

Сонце є основним джерелом енергії, що забезпечує існування життя на Землі. Внаслідок реакцій ядерного синтезу в активному ядрі Сонця досягаються температури до 107 К. При цьому поверхня Сонця має температуру близько 6000 К. Електромагнітним випромінюванням сонячна енергія передається в космічному просторі і досягає поверхні Землі. Вся поверхня Землі одержує від Сонця потужність близько 1,2-1017 Вт. Це еквівалентно тому, що менше однієї години отримання цієї енергії достатньо, щоб задовольнити енергетичні потреби всього населення Земної кулі протягом року. Максимальна щільність потоку сонячного випромінювання, що приходить на Землю, становить приблизно 1 кВт/м². Для населених районів в залежності від місця, часу доби і погоди, потоки сонячної енергії змінюються від 3 до 30 МДж/м² на день.

Для характеристики сонячного випромінювання використовуються наступні основні величини.

Потік випромінювання - величина, що дорівнює енергії, що переноситься електромагнітними хвилями за одну секунду через довільну

поверхню. Одиниця вимірювання потоку випромінювання, Дж/с=Вт.

Щільність потоку випромінювання (енергетична освітленість) - величина, що дорівнює відношенню потоку випромінювання до площі рівномірно навчальної їм поверхні. Одиниця виміру щільності потоку випромінювання - Вт/ м².

Світловий потік. Світловим потоком називається потік випромінювання, що оцінюється за його дією на людське око. Людське око не однаково чутливе до потокам світла з різними довжинами хвиль. Зазвичай при денному освітленні око найбільш чутливе до світла з довжиною хвилі 555 нм. Тому однакові по потужності потоки випромінювання, але різних довжин хвиль викликають різні світлові відчуття у людини. Одиницею виміру світлового потоку з точки зору сприйняття людським оком (яскравості) є люмен (лм). Світловий потік в 1 лм білого світла дорівнює $4,6 \times 10^3$ Вт (або **1Вт-217лм**).

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

Прилади, призначені для вимірювання освітленості, називаються люксметрами.

Таблиця 1 – Освітленість, створювана різними джерелами

Джерела	Освітленість, дк	Освітленість, Вт/ м2
Сонячне світло опівдні (сер. широти)	100000	460
Сонячне світло взимку	10000	46
Хмарне небо влітку	5000-20000	23-92
Хмарне небо взимку	1000-2000	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
Повний Місяць, опромінення поверхня Землі	0,2	0,92-103

У зв'язку з великим потенціалом сонячної енергії надзвичайно привабливим є максимально можливе безпосереднє використання її для потреб людей.

При цьому найбільш оптимальним видається пряме перетворення сонячної енергії в найбільш поширену у використанні електричну енергію. Це стає можливим при використанні такого фізичного явища, як фотоефект.

Фотоефектом називаються електричні явища, що відбуваються при освітленні речовини світлом. Розрізняють три види фотоелектричного ефекту: зовнішній, внутрішній і вентильний (р-п переходу) фотоефекти. Зовнішній фотоефект полягає у випусценні електронів з поверхні речовини на яку падає світло. Внутрішній фотоефект пов'язаний з зміною електричної провідності речовини при поглинанні нею світла . Вентильний фотоефект пов'язаний з переміщенням зарядів через кордон розділу напівпровідників з різними типами

провідності (p-n). Найбільш поширеним напівпровідником, використовуваним для створення сонячних елементів, є кремній.

Розглянемо структуру сонячного елемента з p-n переходом. Вона включає в себе: шар напівпровідника з n-провідністю і шар напівпровідника з p-провідністю. На кордоні двох розділів напівпровідників утворюється p-n перехід.

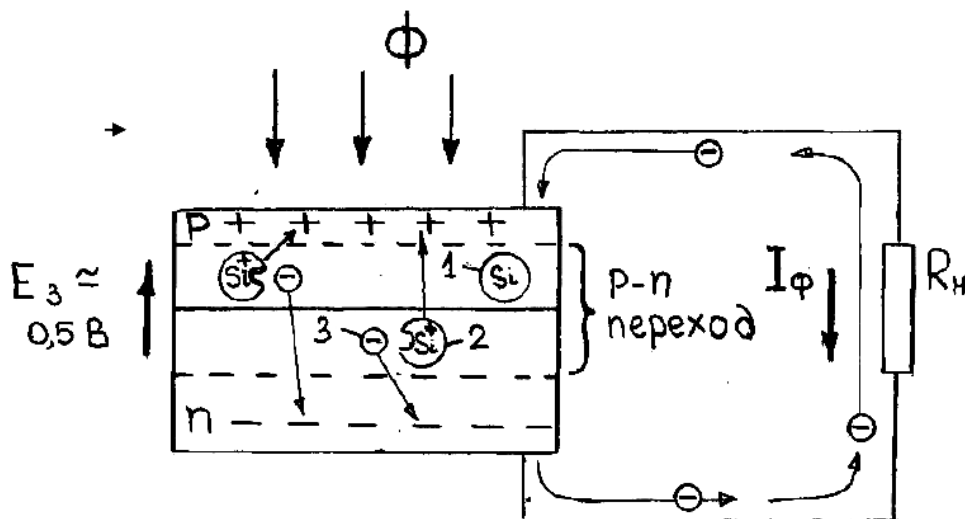


Рисунок 1 – Структура сонячного елемента

При освітленні p-n перехід сонячним світлом, фотони світла проникають через напівпрозорий шар p-напівпровідника в p-n перехід іонізують атоми кремнію (Si) 1, створюючи при цьому нові пари носіїв заряду-дірок (p) 2 і електрони (n) 3. Утворені в зону p-n переходу, електрони 3 під впливом потенційного поля E переносяться в область n - напівпровідника, а дірки, відповідно, в область p - напівпровідника. Це призводить до утворення надлишку дірок в шарі p і електронів у шарі n . Різниця потенціалів між шарами n і p викликає проходження зовнішнього ланцюга R фотоструму I, обумовленого рухом електронів з області n - напівпровідника з зовнішнього ланцюга в область p-напівпровідника.

Сонячні елементи характеризуються коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну, який являє собою відношення падаючого на елемент потоку випромінювання до максимальної потужності вироблюваної ним електричної енергії. Кремнієві сонячні елементи мають коефіцієнт перетворення 10-15 %. Сонячні елементи послідовно з'єднуються в сонячні

модулі, які у свою чергу паралельно з'єднуються в сонячні батареї як зображено на рис. 2.

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.

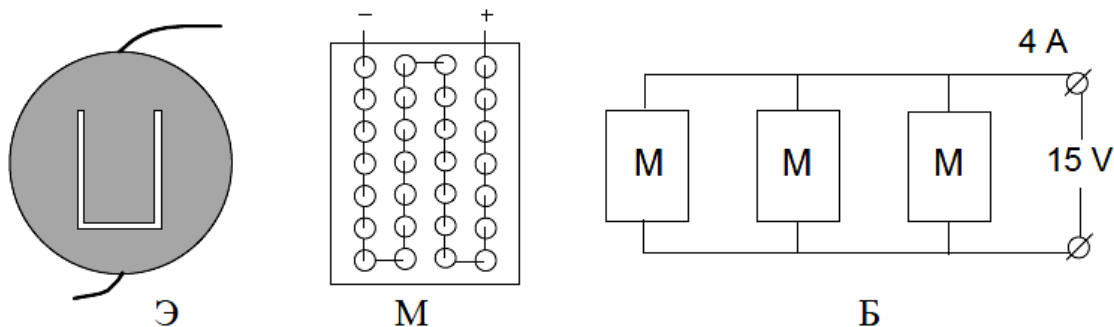


Рисунок 2 – Елементи сонячної установки:

Э – сонячний елемент; М – сонячний модуль; Б – сонячна батарея

За останні роки світовий продаж сонячних модулів склав за сумарною потужністю 25МВт в 1986 році і близько 60 МВт - у 1991 році. Повна вартість сонячних елементів з 1974 по 1984 рік 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 долара США на 1 Вт плюс допоміжної апаратури 2 долара США на 1 Вт при опроміненні місцевості 20 МДж/ м² в день і довговічності сонячних батарей 20 років вартість виробляємої ними електроенергії становить приблизно 16 центів США за 1 кВт (4,4 цента за МДж). Це цілком конкурентоздатно з електроенергією, що виробляється дизель генераторами, особливо у віддалених районах, де вартість доставки палива і 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.

Основні компоненти сонячної енергетичної установки зображено на рис.

З і включають в себе: Б - сонячну батарею з приладами контролю і управління;
- акумуляторну батарею; І - інвертор для перетворення постійного струму сонячної батареї в змінний струм промислових параметрів, споживаний більшістю електричних пристроїв.

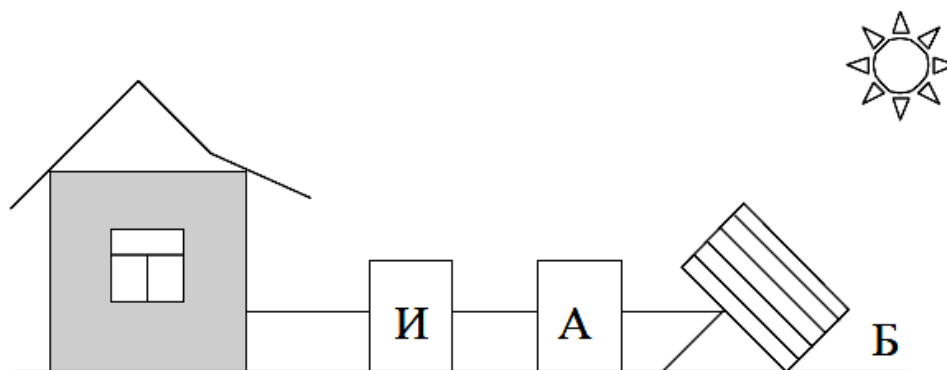


Рисунок 3 – Сонячна енергетична установка

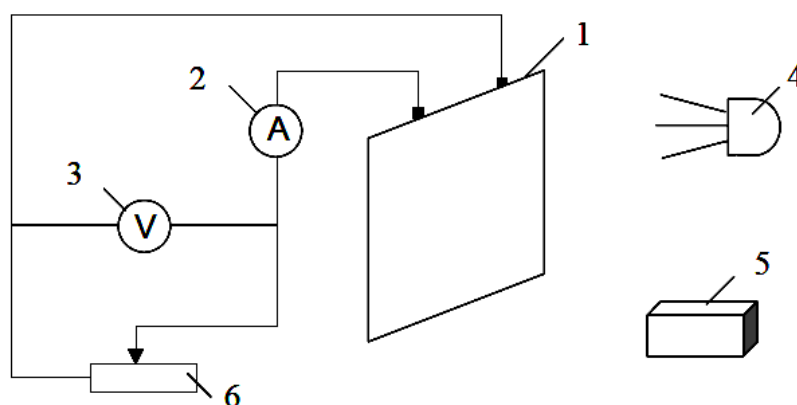


Рисунок 4 – Схема експериментальної установки

1 – сонячний модуль; 2 – амперметр; 3 – вольтметр; 4 – штучне джерело світла;
5 – люксметр; 6 – реостат (регульоване навантаження)

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

4 Хід роботи

1 Визначення світлової характеристики сонячного модуля.

1.1 Визначення світлової характеристики сонячного модуля проводиться

наступним чином;

-встановлюється джерело світла на пряме випромінювання на поверхню сонечною модуля;

-люксметром проводиться вимірювання освітленості сонячного модуля;

-за показаннями вольтметра визначається ЕРС що виробляється сонячним елементом:

- робляться аналогічні вимірювання при косому падінні випромінювання на поверхню модуля, повертаючи джерело світла на 10, 20, 30, 40, 50 градусів.

1.2 Вихідні дані, необхідні для розрахунку світлової характеристики сонячного модуля, наведені в табл. 4.

1.3 Обчислити щільність потоку випромінювання W (енергетичну освітленість) використовуючи співвідношення між $лк$ і $Вт/м^2$ для білого світла, $W = 4,6 \cdot 10^{-3} \cdot E$

1.4 Обчислити ЕРС, вироблювану одним сонячним елементом ЕРС-1, розділивши ЕРС модуля на число елементів 36, не входять до нього.

1.5 Всі результати занести в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати вимірювань і обчислення

Кут падіння випромінювання , град	E як	$\mathcal{E}С$ B	W , $Вт/м^2$	$\mathcal{E}С-1$, B
0				
10				
20				
30				
40				
50				

1.6 Побудувати графік залежності ЕРС сонячного модуля від густини потоку випромінювання, що падає на його поверхню W .

2 Визначення вольт-амперної характеристики сонячного модуля

2.1 Для визначення вольт-амперної характеристики сонячного модуля до ланцюга модуля підключається навантажувальний резистор (6). За

допомогою реостата, перемішуючи рухомий контакт реостата, змінюється опір навантаження в ланцюзі і проводиться вимірювання напруги U на сонячному модулі вольтметром V (3) і струму I , що протікає по ланцюгу, з допомогою амперметра A (2). Джерело світла встановлюється на пряме випромінювання на поверхню сонячного модуля. З ростом навантаження встановлюється величина струму і зменшується напруга яка виробляється модулем.

2.2 Вихідні дані для розрахунку вольт-амперної характеристики сонячного модуля, наведенні в табл. 5.

2.3 Для кожного вимірювання обчислити електричну потужність в ланцюзі $P_e = I * U$.

2.4 Всі дані занести в табл. 3.

Таблиця 3 – Дані вимірювань

Щільність потоку випромінювання, Вт/ м ²	Номер вимірювання	Напруга U , В	Струм I , А	Потужність P_e , Вт
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			

2.5 Побудувати вольт-амперну характеристику (графік залежності I від C) сонячного модуля при даній щільності потоку випромінювання, значення якої взяті з попередньої серії вимірювань.

2.6 Відзначити найбільше значення потужності, що виробляється сонячним модулем.

2.7 Визначити коефіцієнт перетворення сонячної енергії в електричну $K_f = W / P_e$.

5 Висновки:

6 Контрольні питання:

6.1 Дайте визначення потоку випромінювання.

6.2 Дайте визначення енергетичної освітленості.

6.3 Дайте визначення світлового потоку.

6.4 Наведіть структуру сонячного елемента з р-п переходом.

6.5 Які елементи входять до сонячної установки?

6.6 Що показує вольт-амперна характеристика сонячного модуля?

Література:

1. Закладний О. М., Праховник А. В., Соловей О. І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К: Кондор, 2005. – 408 с.