

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Кропивницький 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт

для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Затверджено на засіданні кафедри
автоматизації виробничих процесів,
протокол № 10 від 19 квітня 2023 р.

Кропивницький 2023

Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / [уклад. : О. П. Голик, Р. В. Жесан, В. О. Зубенко] / за ред. Р. В. Жесана. Кропивницький : ЦНТУ. 2023. 76 с.

Укладачі: Голик О. П., кандидат технічних наук, доцент;
Жесан Р. В., кандидат технічних наук, доцент;
Зубенко В. О., кандидат технічних наук, доцент.

Рецензент: Каліч В. М., кандидат технічних наук, професор.

Затверджено на засіданні кафедри автоматизації виробничих процесів, протокол № 10 від 19 квітня 2023 р.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 <i>Визначення витрат води для розрахунку параметрів гідроенергетичної установки</i>	10
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 <i>Визначення енергетичних потреб споживача</i>	18
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 <i>Побудова графіків електричних навантажень</i>	24
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 <i>Вивчення принципу роботи сонячних колекторів та сонячних батарей</i>	37
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 <i>Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки</i>	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	70

ВСТУП

Історично так склалося, що потреби людства в енергії, в більшій мірі, задовольняються за рахунок традиційних паливних копалин – нафти, газу, вугілля. Та останнім часом великого значення почали набувати негативні процеси, пов'язані з паливною енергетикою. По-перше, виникла стійка тенденція до постійного зростання вартості енергії. По-друге, велика частка впливу енергетичної галузі на навколишнє середовище тепер починає порушувати природні процеси у глобальному масштабі. По-третє, запаси викопних палив суттєво зменшилися, а в перспективі взагалі будуть вичерпані (за експертними оцінками, у межах 100-150 років).

У світових ринкових умовах первинні паливно-енергетичні ресурси вже зараз не в усіх країнах можуть у повній мірі забезпечити потреби в енергії. Тому важливим стає енергозбереження та використання поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії.

Для того, щоб підтримувати сучасний рівень добробуту, людству доведеться перейти на нові системи енергопостачання. А фахівцю у галузі енергетики необхідно володіти сучасними знаннями щодо вирішення комплексних спеціалізованих задач і практичних проблеми, пов'язаних із виробництвом, передачею та розподіленням електричної енергії, використанням поновлюваних (відновлюваних) джерел та енергозбереженням.

Навчальна дисципліна *«Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії»* відноситься до дисциплін вільного вибору і викладається для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 1-го освітнього рівня «бакалавр» в обсязі 3 кредитів ЄКТС (90 год.) у 8-му навчальному семестрі.

Мета навчальної дисципліни *«Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії»* полягає у забезпеченні здобувачів вищої освіти комплексом знань, умінь та навичок, необхідних для застосування в професійній діяльності в сфері використання різних видів енергії та різноманітних енергетичних пристроїв і обладнання; ознайомленні з існуючими та перспективними методами енергозбереження; принципами, способами та особливостями використання поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії, що застосовуються для задоволення потреб сучасного виробництва; формуванні навичок системного підходу до створення й використання сучасних енергетичних засобів, наукових досліджень, адміністративно-організаційного управління.

Завдання навчальної дисципліни *«Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії»* полягає у засвоєнні здобувачами вищої освіти в обсязі даної програми: класифікації джерел енергії та палива, принципів і методів енергозбереження, експлуатації сучасних енергетичних засобів, вивчення можливостей і перспектив поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії, створення та дослідження їх моделей у сучасних програмних пакетах, у відповідності до вимог національних та міжнародних стандартів.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- стан та перспективи розвитку енергетичної галузі;
- поняття, визначення та термінологію щодо категорій «енергія», «паливо», «енергетичні засоби», «енергозбереження», «поновлювані джерела енергії»;
- класифікацію палив та джерел енергії;
- методи побудови та дослідження графіків навантажень;
- елементи розрахунку засобів енергетики, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві;
- методи, аналізу, синтезу та оптимізації функціональних вузлів та електричних схем;

вміти:

- робити обґрунтований вибір видів енергії, палива та енергетичних засобів;
- розраховувати основні елементи сучасних засобів енергетики;
- будувати та досліджувати графіки енергопостачання (енергоспоживання) споживачів енергії;
- моделювати та досліджувати роботу енергетичних засобів у сучасних програмних пакетах;
- обґрунтовано обирати елементи схем електричних принципів;
- застосовувати на практиці методи оптимізації схем.
- формувати у суспільстві нову свідомість в сфері використання поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії.

Програма навчальної дисципліни «*Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії*» складається з двох змістових модулів (одинадцяти тем):

Змістовий модуль 1

Тема 1. Основні поняття та визначення.

Тема 2. Потенціал потреби і проблеми сучасної енергетики.

Тема 3. Паливо.

Тема 4. Сільські електричні станції.

Тема 5. Графіки енергетичних навантажень.

Змістовий модуль 2

Тема 6. Використання сонячної енергії.

Тема 7. Використання вітрової енергії.

Тема 8. Мікробіологічне отримання метану.

Тема 9. Використання енергії хвиль та припливів.

Тема 10. Використання геотермальної енергії.

Тема 11. Елементи теорії енергозбереження.

Результатом вивчення навчальної дисципліни є використання набутих знань в курсовому та дипломному проектуванні, а також у подальшій практичній діяльності.

Метою лабораторного практикуму є практичне вивчення, закріплення та поглиблення базових знань, отриманих під час лекційних занять.

Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кільк. годин
<u>Змістовий модуль 1</u>		
1	Тема 4. Сільські електричні станції.	
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 <i>Визначення витрат води для розрахунку параметрів гідроенергетичної установки.</i>	2
2	Тема 5. Графіки енергетичних навантажень.	
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 <i>Визначення енергетичних потреб споживача.</i>	2
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 <i>Побудова графіків електричних навантажень.</i>	2
Разом за змістовим модулем 1		6
<u>Змістовий модуль 2</u>		
3	Тема 6. Використання сонячної енергії.	
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 <i>Вивчення принципу роботи сонячних колекторів та сонячних батарей.</i>	2
4	Тема 7. Використання вітрової енергії.	
	ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 <i>Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки.</i>	2
Разом за змістовим модулем 2		4
Усього годин		10

Для оцінювання успішності виконання кожної лабораторної роботи, згідно кредитно-модульної системи, використовується головний критерій: *вчасно захищеною вважається робота, захист якої студентом відбувся в межах часу, передбаченого для цієї роботи в робочій навчальній програмі та згідно з розкладом занять.*

Загалом, якість засвоєння матеріалу здобувачем вищої освіти здійснюється, у відповідності до «Положення про організацію освітнього процесу в Центральнотукаїнському національному технічному університеті» та «Положення про систему забезпечення якості освітньої діяльності та якості вищої освіти у Центральнотукаїнському національному технічному університеті» і оцінюється за допомогою поточного контролю (експрес-контролю) знань, рубіжного (модульного) контролю успішності та семестрового підсумкового контролю.

Поточний контроль (експрес-контроль) знань студентів в ході лабораторного практикуму проводиться шляхом опитування теоретичного матеріалу, перевіркою підготовки до лабораторних занять, перевіркою виконання лабораторних робіт та оцінкою результатів захисту кожної роботи.

Рубіжний (модульний) контроль успішності здобувачів вищої освіти

проводиться під час всіх видів аудиторних занять по завершених темах, які передбачені навчальним планом, станом на 6-й та 12-й тиждень кожного навчального семестру.

На 1-й рубіжний (модульний) контроль виносяться теми 1-5 та лабораторні роботи №№ 1-3.

На 2-й рубіжний (модульний) контроль виносяться теми 6-11 та лабораторні роботи №№ 4, 5.

Загальна кількість балів, виділених для оцінки результатів під час одного рубіжного контролю робочою програмою навчальної дисципліни, при семестровому підсумковому контролі у формі заліку складає 50 балів.

Семестровий підсумковий контроль знань проводиться з метою визначення рівня досягнення здобувачами вищої освіти запланованих результатів навчання, що визначені робочою програмою навчальної дисципліни. Здобувач вищої освіти вважається допущеним до семестрового підсумкового контролю, якщо він виконав усі види робіт, які передбачені навчальним планом, та виконав умови контракту.

Результати поточних та рубіжних (модульних) контролів є складовими оцінки семестрового підсумкового контролю. Семестровий підсумковий контроль проводиться у формі заліку, у терміни, передбачені графіком освітнього процесу. Здобувачі мають бути повідомлені про кількість набраних ними протягом семестру балів до початку екзаменаційної сесії.

Максимально можлива оцінка за результатами семестрового підсумкового контролю знань становить 100 балів.

Критерії оцінки заліку:

– «зараховано» – студент має стійкі знання про основні поняття дисципліни, може сформулювати взаємозв'язки між поняттями.

– «не зараховано» – студент має значні пропуски в знаннях, не може сформулювати взаємозв'язку між поняттями, що вивчаються в курсі, не має уявлення про більшість основних понять дисципліни, що вивчається.

Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою для заліку
90-100	A	зараховано
82-89	B	
74-81	C	
64-73	D	
60-63	E	
35-59	FX	не зараховано з можливістю повторного складання
0-34	F	не зараховано з обов'язковим повторним вивченням дисципліни

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Визначення витрат води для розрахунку параметрів гідроенергетичної установки

Мета роботи: Ознайомитися з принципом роботи гідроенергетичної установки та визначити, згідно варіанту, витрати води за двома методами.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загальна інформація. На гідравлічних електричних станціях (гідроелектростанціях або ГЕС) для одержання електроенергії перетворюють енергію водяних потоків (рік, водоспадів тощо).

В даний час на ГЕС виробляється близько 15 % всієї електроенергії. Більш інтенсивне будівництво цього виду станцій стримується великими капіталовкладеннями, великими термінами будівництва і специфікою розміщення гідроресурсів територією країни.

Згідно із Законом України «Про електроенергетику», залежно від потужності, ГЕС поділяють на:

- потужні (від 25 МВт до 250 МВт і вище);
- середні (до 25 МВт);
- малі (від 1 МВт до 10 МВт);
- міні-ГЕС (від 200 кВт до 1 МВт);
- мікро-ГЕС (до 200 кВт).

На сьогодні водяні ресурси використовуються в переважній більшості за допомогою потужних ГЕС (в основному, на Дніпрі та Дністрі). Хоча окремі територіальні громади розгорнули активну роботу із відновлення малих, міні- та мікро-ГЕС, які у великій кількості використовувалися у 20-40-х роках минулого сторіччя у якості сільських колгоспних і радгоспних автономних електростанцій.

Потенційні гідроенергоресурси України оцінюються у 41,8 млрд. кВт·год.; економічно ефективні – у 17,0 млрд. кВт·год.; з них використовуються – близько 12,0 млрд. кВт·год.

Первинними двигунами на ГЕС є гідроенергетичні установки (гідротурбіни), що приводять у рух синхронні гідрогенератори. ККД гідротурбін досягає 90 %.

На відміну від інших енергетичних установок ніякі принципові обмеження (термодинамічні чи динамічні) не заважають енергії падаючої води цілком перетворитися в механічну енергію, крім втрат на видалення води з турбіни. Але, перш, ніж будувати ГЕС, необхідно попередньо оцінити потужність водяного потоку у передбачуваному місці майбутнього будівництва.

Для обрахунку витрат води маємо такі початкові величини:

- Q – об'єм води, що падає на лопать в одиницю часу (витрати води);
- ρ – густина води.

Перемноживши ці дві величини, одержимо масу води за одиницю часу. А ввівши до співвідношення висоту падіння води (перепад висот або напір) H та прискорення вільного падіння g , зможемо визначити енергію водяного потоку за

одиницю часу, тобто потужність, якою володіє водяний потік у даному конкретному місці P_0 :

$$P_0 = Q \cdot \rho \cdot H \cdot g . \quad (1.1)$$

Оскільки g є сталою величиною, а ρ , хоча і змінюється незначно за сезонами, проте в середньому протягом року також може вважатися сталою для конкретної місцевості, то вираз (1.1) можна записати у вигляді:

$$P_0 \equiv Q \cdot H . \quad (1.2)$$

Отже, потужність водяного потоку пропорційна витратам води Q і напору H .

При обраному місці розташування гідроелектростанції, H є відомою величиною, а витрата води, при заповнених водоводах, практично постійна.

Оскільки реальна потужність гідротурбіни близька до теоретичної, рівняння (1.1) визначає максимальну потужність необхідного енергетичного устаткування. Місце розташування гідроелектростанції має забезпечувати досить високу витрату Q і напір H .

Зазвичай для цього потрібно, щоб річний рівень опадів, що випадають досить рівномірно протягом року, був не менше 40 см, певний рельєф місцевості й територія для водосховища. Якщо ці умови виконуються, гідроенергія, майже напевно, буде найбільш придатним джерелом для одержання електроенергії. Однак, для того щоб направити воду в турбіни, необхідно виконати великий обсяг будівельних робіт (спорудження греблі, водоводів, шлюзів, рибопропускних каналів і т. п.). Вартість цих робіт часто перевищує вартість гідроенергетичного устаткування електростанції.

Коли ми маємо у своєму розпорядженні водяний потік, який можна було б використовувати в гідроенергетиці, то насамперед треба хоча б грубо (з точністю близько 50 %) оцінити його гідроенергетичний потенціал. Якщо отримана груба оцінка нас задовольняє, необхідно провести більш детальні дослідження, що включають збір даних принаймні за декілька років, а також техніко-економічні розрахунки. У протилежному випадку, якщо наближені розрахунки засвідчили нестачу гідроенергії, подальші дослідження, а, тим паче, будівництво ГЕС є недоцільними.

Із співвідношень (1.1) та (1.2) видно, що для оцінки теоретичної потужності P_0 необхідно знати витрату потоку Q і можливу висоту його падіння (напір) H .

Наприклад, при $Q = 40$ л/с і $H = 20$ м, максимальна потужність водяного потоку $P_0 = 8$ кВт. Ця потужність цілком може задовольняти потреби в енергії для великої кількості побутових споживачів.

Вимірювання напору H . У потоках з великим ухилом для вимірювання напору H підходить метод триангуляції, а для більш рівнинних місць використовують нівелір або теодоліт і геодезичні рейки.

Слід відзначити, що потужність потоку, який натікає на турбіну, визначається не геометричним (чи повним) напором H_t , вимірним одним з названих вище способів, а наявним (або робочим) напором H_a :

$$H_a = H_t - H_f , \quad (1.3)$$

де H_f – втрати напору на тертя в каналах і водоводах на шляху до турбіни.

При раціональному виборі водоводів, можна домогтися співвідношення:

$$H_f \leq \frac{H_t}{3} . \quad (1.4)$$

Втрати H_f пропорційні довжині водоводу, тому найкраще, щоб потік у ньому був стрімким.

Вимірювання витрат води Q . Потік води, що надходить на турбіни, як правило, менше витрат ріки, що, у свою чергу, не однакові в періоди посухи й повені. Для енергетики важливі мінімальні витрати ріки (у сухий сезон), для того, щоб турбіни, розраховані за ними, працювали цілий рік у нормальному режимі. Необхідно також знати і максимальні витрати (у період повені), для того, щоб уникнути ушкоджень гідроелектростанції.

Методи вимірювання витрат Q набагато складніші за методи вимірювання напору H і залежать від величини та швидкості розглянутого потоку. Виходячи з фізичного змісту витрат, можна скористатися трьома рівнозначними співвідношеннями:

$$Q = \frac{V}{\Delta t} , \quad (1.5)$$

де V – об'єм води, що проходить за час Δt ;

$$Q = \bar{u} \cdot A , \quad (1.6)$$

де \bar{u} – середня швидкість течії води; A – площа поперечного перерізу;

$$Q = \int u \cdot n \cdot dA , \quad (1.7)$$

де u – швидкість течії води; n – одинична нормаль елементарної ділянки площею dA .

Методи вимірювання витрат, в основі яких лежать дані рівняння, названі відповідно *основним*, *модифікованим* і *розрахунковим*. Відомо також, що, якщо поперек потоку розташувати поріг або водозлив, то рівень води у цьому місці буде залежати від її витрат. На цьому заснований ще один метод визначення витрат – *водозливний*. Розглянемо суть цих методів за допомогою **Рис. 1.1**.

Основний метод (див. **Рис. 1.1, а**). Весь потік перекривається дамбою (греблею) або спрямовується в який-небудь резервуар. В обох випадках можна визначити витрати, знаючи наповнюваний об'єм і час його наповнення – співвідношення (1.5). Цей метод точний, не вимагає ніякої інформації про параметри потоку і найбільш придатний для малих потоків, особливо для невеликих водоспадів.

Модифікований метод I (див. **Рис. 1.1, б**). Базується на застосуванні співвідношення (1.6). До (1.3) входить середня швидкість потоку \bar{u} . Оскільки на дні річки швидкість потоку через тертя дорівнює нулю, значення \bar{u} буде трохи менше швидкості потоку на поверхні u_s . Наприклад, для прямокутного поперечного перерізу русла ріки:

$$\bar{u} \approx 0,8 \cdot u_s \quad (1.8)$$

А поверхневу швидкість u_s неважко визначити за переміщенням плавучого предмета, що знаходиться на поверхні води (на *Рис. 1.1, б*) – гілочка). Для одержання найбільш точного результату, швидкість u_s слід визначати на прямолінійній ділянці русла і при сталому його перерізі.

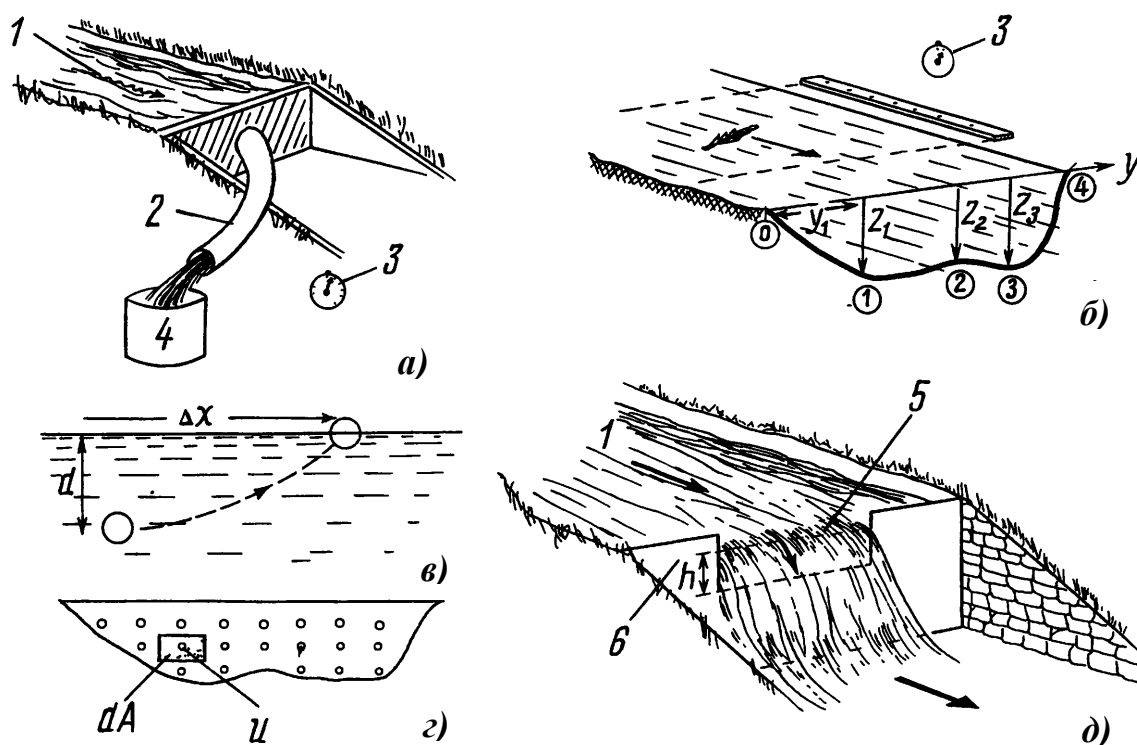


Рисунок 1.1 – Методи вимірювання витрат:

а) основний метод; б) модифікований метод I; в) модифікований метод II; г) розрахунковий метод; д) водозливний метод;
1 – водяний потік; 2 – відвідна труба; 3 – секундомір; 4 – ємність;
5 – виріз; 6 – водозлив

Площу поперечного перерізу A можна обчислити, вимірявши глибину потоку z_i в декількох точках перерізу та просумувати площі трикутників і трапецій, що складають цей переріз (див. *Рис. 1.1, б*), а саме:

$$A = \frac{y_1 \cdot z_1 + (y_2 - y_1) \cdot (z_1 + z_2) + (y_3 - y_2) \cdot (z_2 + z_3) + (y_3 - y_4) \cdot z_3}{2} \quad (1.9)$$

Модифікований метод II (див. *Рис. 1.1, в*). Як і модифікований метод I, базується на застосуванні співвідношення (1.6). Цей метод визначення швидкості потоку не вимагає вимірів часу й придатний для швидких потоків. Метод полягає в тому, що плавучий предмет (наприклад, тенісний м'яч) занурюють на визначену глибину і потім відпускають. Час його спливання на поверхню з заданої глибини не залежить від швидкості горизонтального переміщення і може бути визначений попередньо в лабораторних умовах. Вимірюючи горизонтальне переміщення предмета до моменту виринання на поверхню і знаючи час спливання, визначаємо швидкість потоку. Неважко помітити, що цим способом ми визначаємо середню

швидкість (якщо бути зовсім точним, то середню швидкість за глибиною, а не за перетином, але це розходження є досить невеликим, і ним можна знехтувати).

Розрахунковий метод (див. **Рис. 1.1, з**). Цей метод найбільш точний і використовується професійними гідрологами на великих ріках. У ньому поперечний переріз потоку розбивається на велику кількість елементарних ділянок площею dA й усередині кожної ділянки вимірюється швидкість u_i . Інтеграл у співвідношенні (6.3), що визначає витрати, замінюється сумою величин $u_i \cdot dA$ у всіх ділянках.

Водозливний метод (див. **Рис. 1.1, д**). Якщо необхідні систематичні вимірювання витрат потоку протягом, наприклад, року, можна побудувати дамбу з вирізом визначеної форми. Така дамба називається тонким водозливом. Висота потоку води h у площині вирізу пропорційна витратам Q . Для визначення величини витрат, у лабораторних умовах проводиться тарування моделі такого водозливу, і результати тарувальних вимірів поміщають у довідник.

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У лабораторній роботі необхідно провести віртуальне експериментальне дослідження і визначити витрати води за модифікованим методом I та модифікованим методом II.

Для цього використовується файл комп'ютерного моделювання *Experiment.rar* (додається). З ним на домашньому ПК або у комп'ютерному класі необхідно виконати наступні дії:

- розархівувати;
- в утвореному каталозі Experiment запустити на виконання файл *FlashPla.exe*;
- у віконці, що відкриється, виконати пункти меню: File → Open;
- у новому віконці необхідно вказати шлях до файлу *Experiment.swf* з каталогу Experiment (для цього можна натиснути віртуальну кнопку «Browse...» і обрати у браузері єдиний, присутній там, файл *Experiment.swf* та натиснути «Відкрити» і «Ok»);
- ввести номер варіанту і провести 2 моделювання початкових даних для розрахунку:
 - а) для модифікованого методу I;
 - б) для модифікованого методу II;
- після завершення кожного моделювання записати одержані початкові дані для розрахунків.

Зовнішній вигляд головного вікна модуля «*Experiment*» зображено на **Рис. 1.2**. Тут вводиться номер варіанту та обирається один з методів: модифікований метод I (гілочка) або модифікований метод II (м'ячик).

Примітка: Номер варіанту обирається за двома останніми цифрами у номері залікової книжки студента або за порядковим номером студента у списку журналу групи (за погодженням із викладачем).

У результаті віртуального моделювання одержуються індивідуальні дані для розрахунків. Наприклад, на **Рис. 1.3** наведено один з варіантів одержаних даних

за модифікованим методом I.

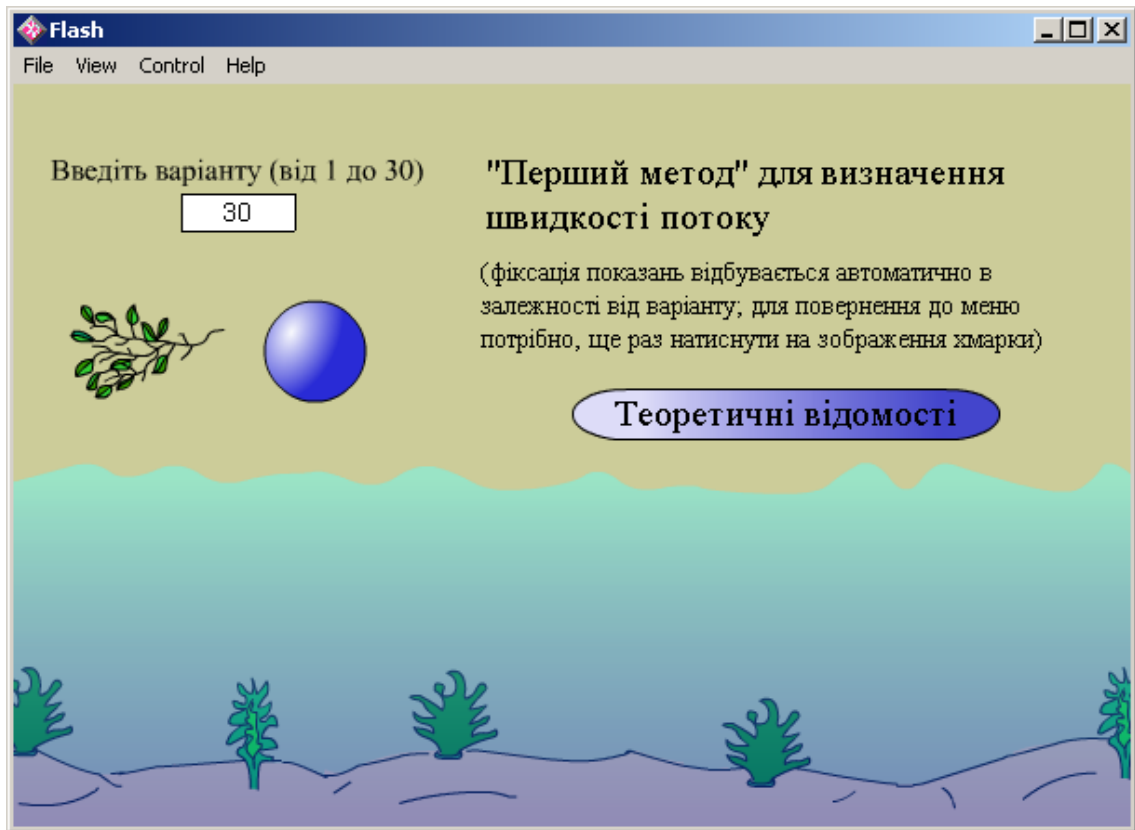


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд головного вікна модуля «Experiment»

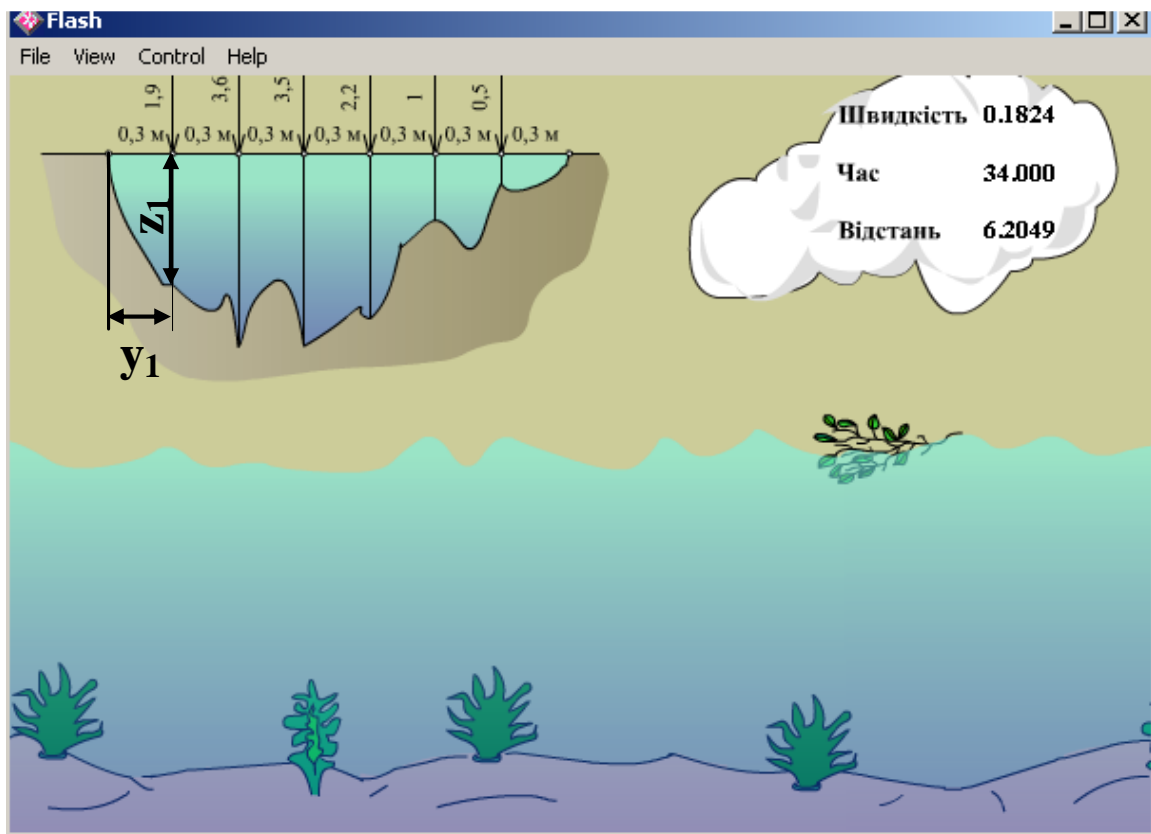


Рисунок 1.3 – Результати віртуального експериментального дослідження за модифікованим методом I

На основі одержаних індивідуальних даних, можна обчислити, за співвідношенням (1.6), витрати води для двох потоків: для 1-го – за модифікованим методом I та для 2-го – за модифікованим методом II.

ХІД ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Провести, за допомогою модуля «*Experiment*», віртуальне експериментальне дослідження і визначити індивідуальні початкові дані для розрахунку витрат води (швидкість, час, відстань, лінійні розміри поперечного перетину потоку) за модифікованим методом I.
2. Провести, за допомогою модуля «*Experiment*», віртуальне експериментальне дослідження і визначити індивідуальні початкові дані для розрахунку витрат води (швидкість, час, відстань, лінійні розміри поперечного перетину потоку) за модифікованим методом II.
3. Побудувати (у масштабі) поперечні перетини:
 - 1-го потоку (для модифікованого методу I);
 - 2-го потоку (для модифікованого методу II).
4. На основі індивідуальних початкових даних, обчислити, за співвідношенням (1.6), витрати води для двох потоків:
 - 1-го потоку (для модифікованого методу I);
 - 2-го потоку (для модифікованого методу II).
5. Зробити висновки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають гідравлічною електричною станцією? Які є синоніми цього поняття?
2. Як класифікуються ГЕС за потужністю?
3. Обсяги гідроенергоресурсів України? Де вони зосереджені?
4. Що називають гідроенергетичною установкою? Її призначення?
5. Яким чином обирають місце розташування гідроелектростанції? Що при цьому попередньо визначають?
6. Від чого залежить потужність, якою володіє водяний потік у конкретному місці?
7. Що називається напором води?
8. Що називається витратами води?
9. Які існують методи вимірювання напору води? Особливості їх застосування?
10. Які існують методи вимірювання витрат води?
11. Назвіть переваги та недоліки кожного з методів вимірювання витрат води.

СКЛАД ЗВІТУ

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.
3. Номер варіанту.

4. Мета роботи.
5. Короткі теоретичні відомості.
6. Результати проведеного віртуального експериментального дослідження (швидкість, час, відстань, лінійні розміри поперечного перетину потоку):
 - 1-го потоку (для модифікованого методу I);
 - 2-го потоку (для модифікованого методу II).
7. Побудовані (у масштабі) поперечні перетини:
 - 1-го потоку (для модифікованого методу I);
 - 2-го потоку (для модифікованого методу II).
8. Обчислення витрат води для двох потоків:
 - 1-го потоку (для модифікованого методу I);
 - 2-го потоку (для модифікованого методу II).
9. Висновки, у відповідності з метою роботи.

Примітка: *Звіт з лабораторної роботи має бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм) з полями: вгорі та внизу – 15 мм; ліворуч – 25 мм; праворуч – 10 мм.*

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення енергетичних потреб споживача

Мета роботи: Дослідити енергетичні потреби споживача шляхом визначення потужностей приймачів електричної енергії на об'єкті.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загальна інформація. Від електричних мереж у сільських районах живиться велика кількість різноманітних *споживачів електричної енергії*.

Споживач електричної енергії – це *приймач електричної енергії* або група приймачів, об'єднаних технологічним процесом і розташованих на певній території.

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називають апарат, агрегат, механізм, пристрій, призначений для перетворення енергії з електричної у інший її різновид.

У сільських районах знаходяться наступні споживачі електричної енергії:

- а) житлові будинки сільських населених пунктах та розподілених окремих фермерських господарствах;
- б) підприємства інфраструктури з обслуговування населення (лікарні; ФАПи; школи; пекарні; магазини; пральні та ін.);
- в) виробничі споживачі агропромислового комплексу (тваринницькі ферми; зерноочисні пункти; сховища с/г продукції – зерна, овочів, фруктів; теплиці; млини; м'ясокомбінати; молокозаводи; консервні заводи; гаражі; котельні тощо);
- г) інші споживачі, серед яких можуть бути і промислові підприємства.

При плануванні електропостачання, енергетиками до особливої групи відносяться великі підприємства з виробництва с/г продукції на промисловій основі, в першу чергу, тваринницькі комплекси, птахофабрики, тепличні комбінати. Схеми їх електропостачання відрізняються від типових схем у районах розподіленого с/г навантаження і наближені до схем електропостачання промислових підприємств.

Для проектування електричних ліній, підстанцій та станцій необхідно знати *електричні навантаження* окремих споживачів, а, інколи, і окремих електроприймачів.

Під *електричним навантаженням* розуміють показник потужності для заданої схеми живлення або сумарну потужність набору електричного обладнання.

У споживачів можуть бути абсолютно різні вимоги до енергопостачання: роду струму, частоти, потужності, безперебійності тощо. Зокрема, перерва в електропостачанні може призводити до різних несприятливих наслідків.

На окремих промислових об'єктах можуть бути електроприймачі, перерви в електропостачанні яких неприпустимі навіть на порівняно короткий проміжок часу. Якщо розглядати цю проблему у прив'язці то сільського господарства, то

припинення, навіть на короткий період часу, енергопостачання, наприклад, інкубатора призводить до масової загибелі зародків курчат і багатотисячних збитків від втрати продукції птахівництва. А перебої у постачанні електроенергією систем вентиляції зерносховищ, пташників чи інших тваринницьких приміщень неминуче призводить до утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, і тоді вже йдеться не лише про матеріальні збитки, а й про пряму небезпеку життю працюючих людей.

Відповідно до характеру збитку, що можуть бути завдані окремому підприємству при раптових перервах в електропостачанні, за Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), всім електроспоживачам привласнюють певну *категорію*:

I – електроспоживачі, порушення електропостачання яких спричиняє небезпеку для життя людей, значний збиток народному господарству, ушкодження устаткування, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення особливо важливих елементів народного господарства;

II – електроспоживачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з масовим недовипуском продукції, простоем робітників, механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної діяльності значної кількості жителів населених пунктів;

III – всі інші електроспоживачі, які не підходять під визначення I і II категорій, що допускають перерви в електропостачанні без істотного збитку, протягом часу, необхідного для ремонту чи заміни електроустаткування, що вийшло з ладу.

Електричне навантаження в сільському господарстві, як і в інших галузях економіки, – величина, що безперервно змінюється (одні споживачі використовують енергію, інші навпаки віддають). Споживана електроприймачами, наприклад електродвигунами, потужність також змінюється зі зміною навантаження робочих машин.

Крім того, зі зміною часу загальне навантаження безперервно збільшується, оскільки збільшується степінь електрифікації сільськогосподарського виробництва та побуту сільського населення.

Ці зміни, як правило, носять випадковий характер, однак вони підпорядковані імовірнісним законам, які можуть бути встановлені з тим більшою точністю, чим більше дослідних даних було використано при їх визначенні.

Таким чином, вивчення електричних навантажень в сільському господарстві є складаною самостійною задачею, яка розглядається частково та зводиться, в першу чергу, до визначення *розрахункових навантажень*, тобто найбільших значень повної потужності на вході споживача або в електричній мережі протягом інтервалу часу 0,5 год. наприкінці розрахункового періоду. Розрізняють денний S_d та вечірній S_e *максимуми навантажень* споживача (групи споживачів).

За розрахунковий період приймають час, який пройшов з моменту введення установки в експлуатацію до досягнення навантаженням розрахункового значення. В сільських електроустановках тривалість такого періоду приймають рівною 5-10 років. Необхідно також знати коефіцієнт потужності розрахункових навантажень.

Зазвичай для електроприймачів, які використовуються в сільському господарстві, показники навантаження визначають за допомогою нормативів. При побудові типових проектів та визначені навантажень, для яких відсутні методичні дані, використовують реальні *графіки електричних навантажень* об'єкта.

Приклад. Розглянемо приклад визначення енергетичних потреб об'єкта електроспоживання (електроспоживача) для зимового і літнього днів.

Припустимо, що існує об'єкт, на якому відбувається експлуатація приймачів електричної енергії, у відповідності з таблицями: **Табл. 2.1** (для характерного зимового дня) та **Табл. 2.2** (для характерного літнього дня).

Таблиця 2.1

Електроприймачі деякого об'єкта електроспоживання у зимовий день

Електроприймачі	Кількість <i>n</i> , шт.	Потужність <i>P</i> , Вт	Періоди роботи протягом доби, год.	Тривалість роботи <i>t</i> , год.
Лампи розжарювання 100 Вт	1	100	4...6	2
	2	100	16...19	3
Лампи розжарювання 60 Вт	2	60	5...9	4
	3	60	19...23	4
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	2	11	12...14	2
	2	11	20...22	2
Телевізор	1	150	6...10	4
			13...14	1
			17...22	5
Холодильник	1	540	0...24	24
Праска	1	1000	19...20	1
Персональний комп'ютер	1	80	18...21	3

Таблиця 2.2

Електроприймачі деякого об'єкта електроспоживання у літній день

Електроприймачі	Кількість <i>n</i> , шт.	Потужність <i>P</i> , Вт	Періоди роботи протягом доби, год.	Тривалість роботи <i>t</i> , год.
Лампи розжарювання 100 Вт	2	100	4...6	2
	1	100	20...21	1
Лампи розжарювання 60 Вт	2	60	5...7	2
			12...13	1
	3	60	17...18	1
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	1	11	0...22	22
	1	11	13...15	2
Телевізор	1	150	19...21	2
			6...10	4
Телевізор	1	150	13...14	1
			19...22	3
			0...24	24
Холодильник	1	540	0...24	24
Праска	1	1000	20...21	1
Персональний комп'ютер	1	80	20...22	2

Визначимо енергетичні потреби кожного обладнання, враховуючи кількість годин роботи, за формулою:

$$W_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i, \quad (2.1)$$

де P_i – потужність i -го електроприймача; t_i – час роботи i -го електроприймача; n – кількість електроприймачів i -го типу.

Скориставшись даними таблиць *Табл. 2.1* і *Табл. 2.2* та співвідношенням (2.1), визначаємо енергетичні потреби кожного електроприймача для зимового і для літнього дня. Результати зводимо до таблиці *Табл. 2.3*.

Таблиця 2.3

Енергетичні потреби деякого електроспоживача

Електроприймачі	Енергетичні потреби для зимового дня $W_{зим}$, Вт·год.	Енергетичні потреби для літнього дня $W_{літн}$, Вт·год.
Лампи розжарювання 100 Вт	800	500
Лампи розжарювання 60 Вт	1200	4500
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	88	44
Телевізор	1500	1200
Холодильник	12960	12960
Праска	1000	1000
Персональний комп'ютер	240	160

Прийнято вважати, що робота електрообладнання відбувається 200 днів за зимовим добовим графіком і 165 днів за літнім добовим графіком. Тому загальні потреби електроспоживача в електричній енергії на рік розраховуються за формулою:

$$W = 200 \cdot \sum W_{зим} + 165 \cdot \sum W_{літн}. \quad (2.2)$$

Підставивши до співвідношення (2.2) числові дані з *Табл. 2.3*, одержимо:

$$W = 200 \cdot 17788 \text{ Вт} \cdot \text{год.} + 165 \cdot 20364 \text{ Вт} \cdot \text{год.} = 6917660 \text{ Вт} \cdot \text{год.} \approx 6918 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У лабораторній роботі необхідно визначити енергетичні потреби об'єкта електроспоживання (електроспоживача) для зимового і літнього днів, згідно індивідуальних даних (за аналогією із наведеним вище прикладом).

ХІД ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Самостійно обрати електроприймачі для об'єкта споживання електричної енергії, згідно свого варіанту (див. нижче). Кількість приймачів електричної енергії повинна бути не менше 10.
2. Самостійно сформулювати години роботи приймачів – окремо для

характерного зимового та характерного літнього днів (за аналогією із **Табл. 2.1** та **Табл. 2.2**).

3. Визначити енергетичні потреби об'єкта споживання для характерних зимового та літнього днів.
4. Отримані результати звести до таблиці, аналогічної **Табл. 2.3**.
5. Визначити загальні потреби електроспоживача у електричній енергії на рік.
6. Зробити висновки.

Варіанти завдань

Об'єкт електроспоживання	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	ФАП	Хлібопекарня	Теплиця	Млин	Опалювальна котельня	Тваринницька ферма	Молокозавод	М'ясокомбінат	СТО

Примітка: *Номер варіанту обирається за останньою цифрою у номері залікової книжки студента або за порядковим номером студента у списку журналу групи (за погодженням із викладачем).*

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Поясніть поняття «приймач електричної енергії» та «споживач електричної енергії». В чому відмінність між ними?
2. Які електроспоживачі існують у сільських районах? В чому полягають їх особливості?
3. Категорії електроспоживачів, згідно ПУЕ?
4. Як Ви розумієте поняття «електричні навантаження»? Які бувають максимуми навантажень споживача?
5. Що розуміють під «розрахунковим періодом»?
6. Які Ви знаєте показники якості електричної енергії?
7. Яким чином визначають енергетичні потреби споживача для зимового і для літнього днів? Що необхідно мати у якості початкових даних?
8. Скільки часу працює електрообладнання за зимовим добовим графіком і скільки за літнім?
9. Як визначаються загальні потреби електроспоживача у електричній енергії на рік?

СКЛАД ЗВІТУ

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.

3. Номер варіанту.
4. Мета роботи.
5. Короткі теоретичні відомості.
6. Завдання до лабораторної роботи, згідно із варіантом.
7. Результати виконання завдання (у вигляді таблиць і розрахунків).
8. Висновки, у відповідності з метою роботи.

Примітка: *Звіт з лабораторної роботи має бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм) з полями: вгорі та внизу – 15 мм; ліворуч – 25 мм; праворуч – 10 мм.*

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Побудова графіків електричних навантажень

Мета роботи: Побудувати добові графіки електричних навантажень споживача для характерних зимового і літнього днів, згідно індивідуальних початкових даних. На основі цих графіків, побудувати річний графік навантаження за тривалістю, за яким визначити: максимальну споживану потужність P_{\max} , середню річну потужність $P_{\text{сер}}$, час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мах}}$, коефіцієнт запасу електрообладнання K_3 .

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загальна інформація. Зазвичай для електроприймачів, які використовуються в сільському господарстві, показники навантаження визначають за допомогою нормативів. При побудові типових проектів та визначенні навантажень, по яким відсутні методичні дані, використовують реальні *графіки електричних навантажень* об'єкта.

Графіком навантаження називають залежність активної P , реактивної Q або повної S потужності навантаження від часу. Графіки навантаження можуть бути *добовими, місячними, сезонними та річними*.

У найпростішому варіанті, графік навантаження може бути відображений самописним приладом (**Рис. 3.1**), але найбільш зручним для всіляких розрахунків є ступінчастий графік, побудований на основі показань вимірювальних приладів, що були зняті через однакові усереднені інтервали часу t_u (**Рис. 3.2**).

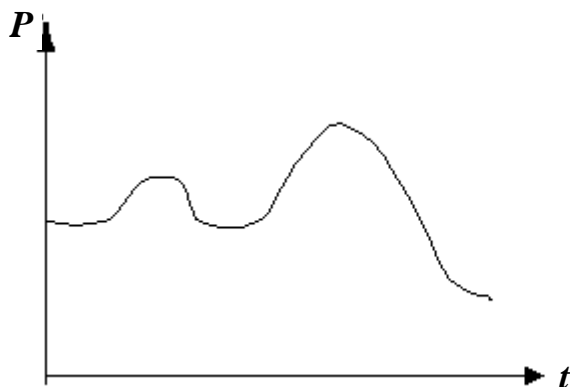


Рисунок 3.1 – Добовий графік навантаження, одержаний за допомогою самописного приладу

Оптимальна тривалість інтервалу усереднення прийнята рівною трьом сталим часу нагріву провідника t_0 , тому що за цей час перегрів провідника сягає приблизно 95 % усталеного значення:

$$t_u = 3 \cdot t_0. \quad (3.1)$$

Досить часто по вісі потужностей відкладають не абсолютні значення, а відносні – у відсотках або частинах від максимальної потужності.

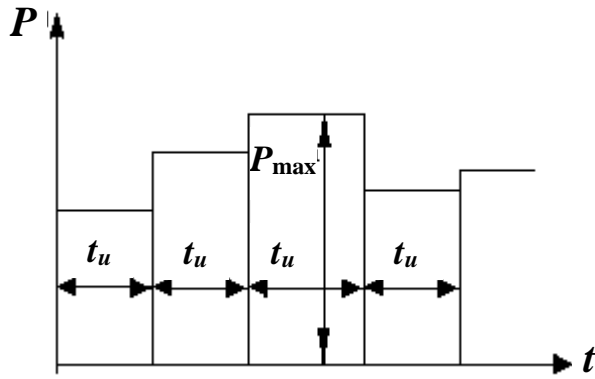


Рисунок 3.2 – Добовий графік навантаження, побудований на основі показань вимірювальних приладів:

t_u – усереднені інтервали часу; P_{\max} – максимальна потужність

У більшості випадків у різні періоди року добові графіки навантаження відрізняються один від одного. Особливо значно змінюються в середніх та північних (південних) широтах, оскільки освітлювальне навантаження змінюється, внаслідок зміни тривалості світлового дня.

При розрахунках часто обмежуються двома характерними добовими графіками для зимового та літнього днів. На **Рис. 3.3** наведено приклади *добових графіків навантаження* конкретного електроспоживача для характерних зимового (**Рис. 3.3, а**) та літнього (**Рис. 3.3, б**) днів.

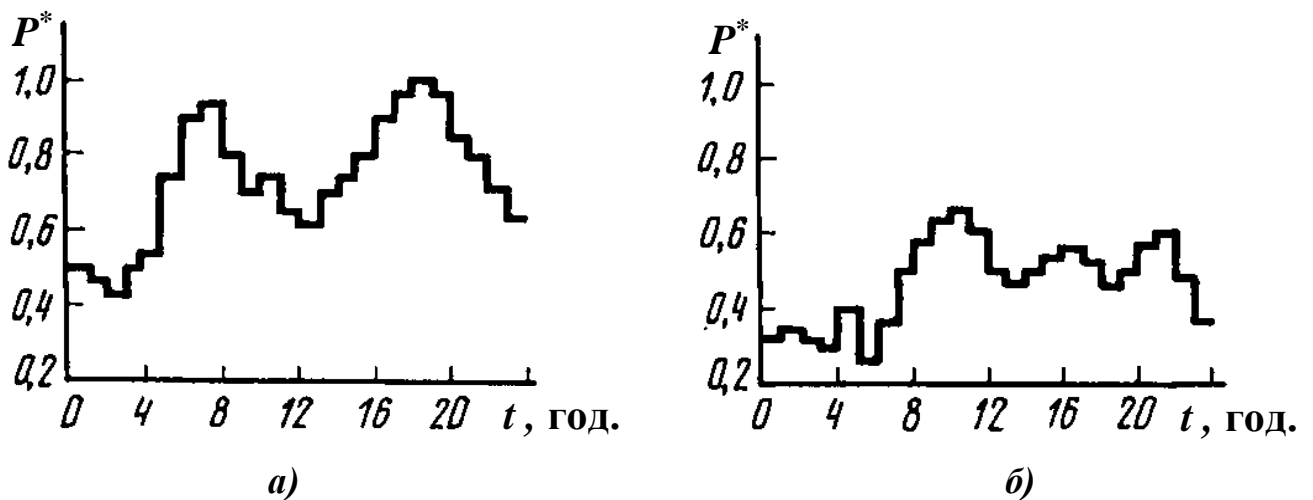


Рисунок 3.3 – Добові графіки навантаження конкретного електроспоживача:
а) для зимового дня; б) для літнього дня
 (потужність P^* у відносних одиницях – частинах від P_{\max})

Річний графік навантаження відображає зміну максимального півгодинного навантаження за місяцями року (**Рис. 3.4**).

На практиці досить інформативним і зручним у використанні є *річний графік навантаження за тривалістю*, що має вигляд «спадаючих» східців різної висоти і ширини (**Рис. 3.5**). На цьому графіку по вісі абсцис відкладають час (в році

8760 год.), а по вісі ординат – мінімальне навантаження, яке відповідає цьому часу.

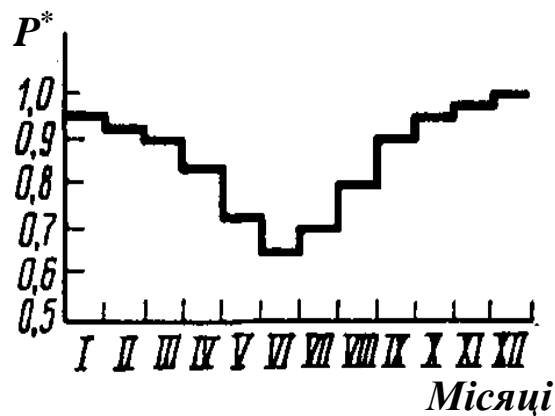


Рисунок 3.4 – Річний графік навантаження конкретного електроспоживача

Річний графік за тривалістю складають на основі добових графіків за всі 365 днів року.

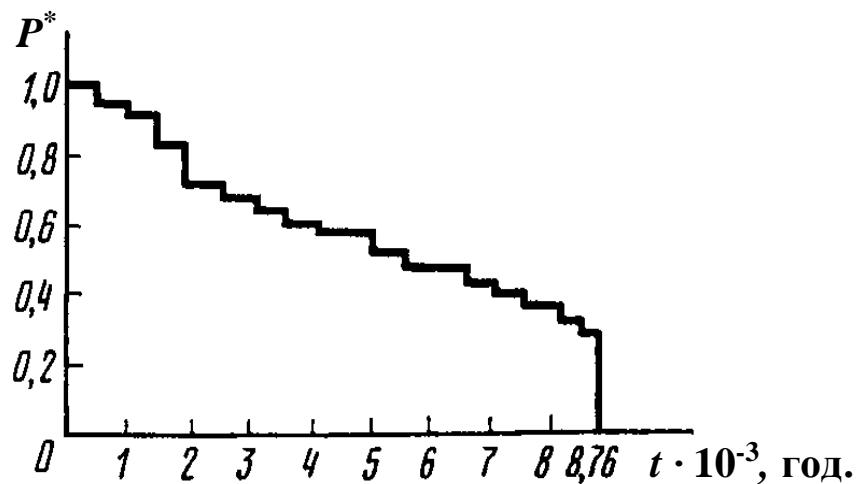


Рисунок 3.5 – Річний графік навантаження за тривалістю конкретного електроспоживача

Проте, з достатньою точністю, річний графік навантаження за тривалістю можна побудувати, використовуючи характерні добові графіки тільки двох днів року – зимового та літнього.

Виконується це наступним чином (Рис. 3.6).

Нехай є характерні добові графіки навантаження для зимового дня (див. Рис. 3.6 а)) та для літнього дня (див. Рис. 3.6 б)). На цих графіках проводяться пунктирні прямі, які відповідають навантаженням $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$. Для кожного добового графіка можна визначити, скільки годин діє дане навантаження P_i : $t_{1 \text{ зим}}, t_{1 \text{ літн}}, t_{2 \text{ зим}}, t_{2 \text{ літн}}, \dots, t_{n \text{ зим}}, t_{n \text{ літн}}$.

Якщо тепер прийняти, що сільські споживачі в середньому протягом року працюють 200 днів за зимовим добовим графіком та 165 днів за літнім, то тривалість, протягом року, дії навантажень $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ та більших за них

визначається так:

$$\begin{aligned}
 t_1 &= 200 \cdot t_{1\text{зим}} + 165 \cdot t_{1\text{літн}}; \\
 t_2 &= 200 \cdot t_{2\text{зим}} + 165 \cdot t_{2\text{літн}}; \\
 t_3 &= 200 \cdot t_{3\text{зим}} + 165 \cdot t_{3\text{літн}}; \\
 &\dots\dots\dots \\
 t_n &= 200 \cdot t_{n\text{зим}} + 165 \cdot t_{n\text{літн}}.
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

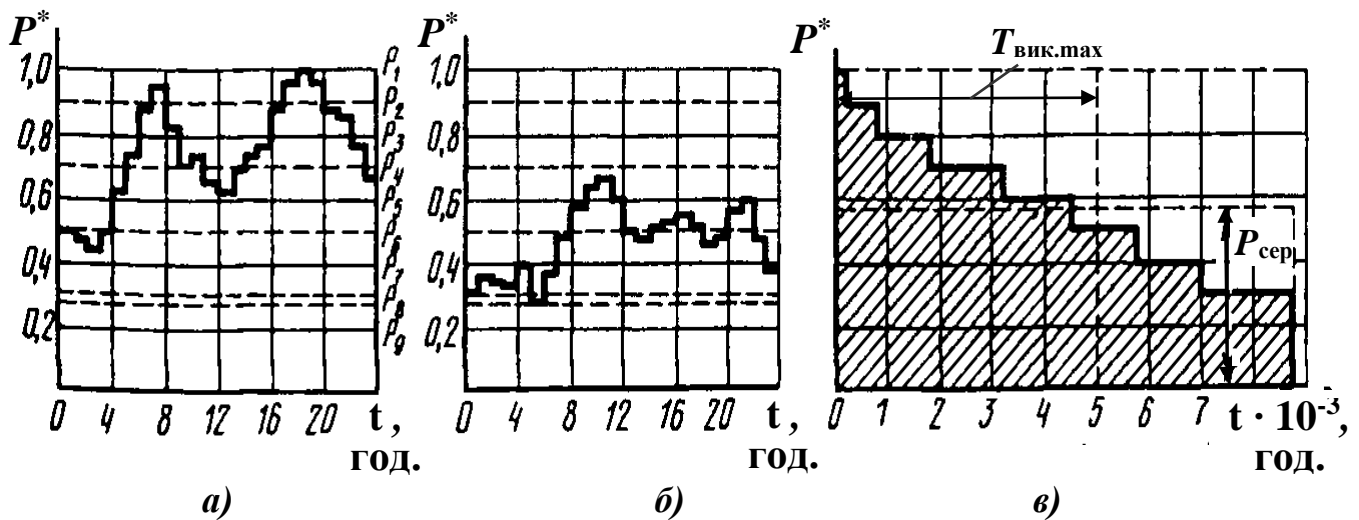


Рисунок 3.6 – Побудова річного графіка навантаження за тривалістю, за добовими графіками для зимового та літнього днів

На **Рис. 3.6 в)** наведено побудований за даними (3.2) річний графік навантаження за тривалістю. На цьому графіку $P_{\text{сер}}$ – середня річна потужність, яка дорівнює відношенню кількості енергії W , яка постачається (або споживається) за рік (тобто заштрихованій площі S під річним графіком навантаження за тривалістю) до повної кількості годин в році (8760).

На його основі можна визначити середню річну потужність $P_{\text{сер}}$, яка дорівнює відношенню кількості енергії W , яка постачається (або споживається) за рік (заштрихована площа S під річним графіком навантаження за тривалістю) до повної кількості годин в році – 8760. В результаті, на **Рис. 3.6 в)** утворюється прямокутник, позначений пунктирно, площею S , одна сторона якого (ширина) дорівнює кількості годин в році (8760), а друга – відобразить на вісі ординат значення $P_{\text{сер}}$.

Крім того, за річним графіком навантаження за тривалістю знаходять час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мах}}$. Це основа другого, позначеного пунктиром, прямокутника площею S , висота якого дорівнює максимальному навантаженню $P_{\text{мах}}$. Чим більше значення $T_{\text{вик.мах}}$, тим краще використовується електроустановка. В сільському господарстві навантаження протягом доби та року змінюється досить суттєво, зазвичай $T_{\text{вик.мах}}$ приймає значення 900-3400 год.

Важливою характеристикою ефективності енергопостачання (або енергоспоживання) є коефіцієнт запасу обладнання K_z (іноді кажуть коефіцієнт

заповнення графіка). Він дорівнює відношенню площі S , заштрихованої під річним графіком навантаження за тривалістю, до максимально можливої площі S_{max} , тобто площі прямокутника із сторонами P_{max} та $T = 8760$ год.:

$$K_3 = \frac{S}{S_{max}}. \quad (3.3)$$

K_3 приймає значення від 0 до 1. І, зрозуміло, чим він ближче до 1, тим ефективніше використовується електрообладнання.

Приклад. Побудуємо для об'єкта споживання, наведеного в лабораторній роботі № 2, добові графіки навантаження для характерних зимового та літнього днів та річний графік навантаження за тривалістю.

Для цього, скориставшись даними таблиць **Табл. 2.1** та **Табл. 2.2**, спочатку визначаємо сумарну споживану потужність для кожної години доби, окремо для зимового і для літнього днів.

Для зручності подальших побудов, необхідно перевести одержані значення щогодинних споживаних потужностей у відносні одиниці (частини від максимальної потужності P_{max}). Для цього серед усіх підрахованих значень потужностей знаходимо P_{max} й приймаємо його за 1. Всі інші значення потужностей виражаємо через частини від P_{max} , позначаємо P_i^* та розташовуємо послідовно за зменшенням. Всі результати зводимо до таблиць **Табл. 3.1** і **Табл. 3.2**. У цих таблицях позначаємо період від 00:00 до 01:00 як 1 год., від 01:00 до 02:00 як 2 год., від 02:00 до 03:00 як 3 год. і т. д.

За даними таблиць **Табл. 3.1** та **Табл. 3.2** будуємо добові графіки навантаження для зимового (**Рис. 3.7 а**) й літнього (**Рис. 3.7 б**) днів.

Таблиця 3.1

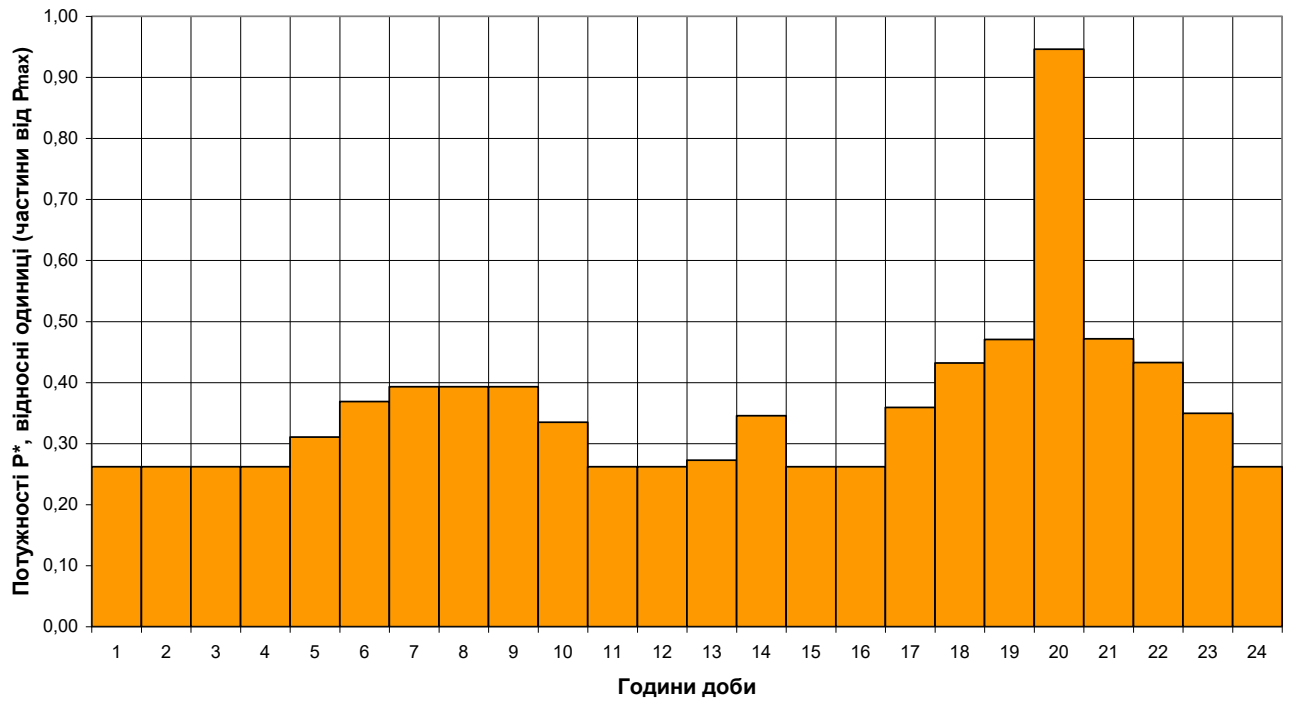
**Щогодинні потреби деякого електроспоживача в електроенергії
для зимового дня**

Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці	Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці
1	540	540	0,26	16	540	540	0,26
2	540	540	0,26	17	200	740	0,36
3	540	540	0,26		540		
4	540	540	0,26		200		
5	100	640	0,31	18	150	890	0,43
	540				540		
6	100	760	0,37	19	200	970	0,47
	120				150		
	540				540		
7	120	810	0,39	20	80	1950	0,95
	150				180		
	540				150		
8	120	810	0,39		540		
	150				1000		
	540				80		
9	120	810	0,39	21	180	972	0,47
	150				22		
	540				150		
10	150	690	0,33	22	540	892	0,43
	540				80		
11	540	540	0,26	23	180	720	0,35
12	540	540	0,26		22		
13	22	562	0,27		150		
	540			540			
14	22	712	0,35	24	180	540	0,26
	150			540			
	540			540			
15	540	540	0,26	—	—	—	—

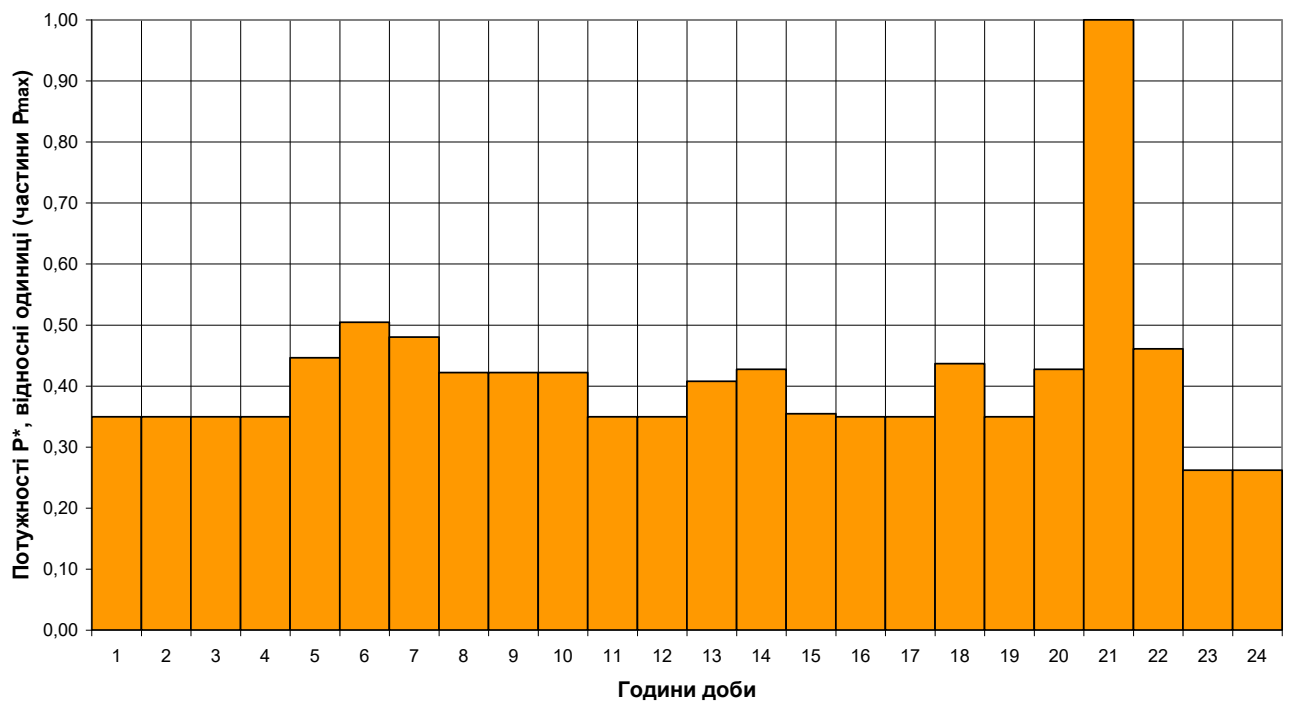
Таблиця 3.2

**Щогодинні потреби деякого електроспоживача в електроенергії
для літнього дня**

Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці	Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці
1	180	720	0,35	14	180	881	0,43
	540				11		
2	180	720	0,35		150		
	540				540		
3	180	720	0,35	15	180	731	0,35
	540				11		
4	180	720	0,35		540		
	540			180	720	0,35	
5	200	920	0,45	540			
	180			17	180	720	0,35
	540				540		
6	200	1040	0,50	18	180	900	0,44
	120				180		
	180				540		
	540			19	180	720	0,35
120	540						
7	180	990	0,48	20	180	881	0,43
	150				11		
	540				150		
8	180	870	0,42		21		
	150			100			
	540			180			
9	180	870	0,42	11			
	150			150			
	540			540			
10	180	870	0,42	1000		950	0,46
	150			80			
	540			180			
11	180	720	0,35	22	150	950	0,46
	540				540		
12	180	720	0,35		80		
	540			23	540	540	0,26
13	120	840	0,41	24	540	540	0,26
	180			—	—	—	—
	540			—	—	—	—



a)



б)

***Рисунок 3.7 – Добові графіки навантаження
(за даними таблиць Табл. 3.1 та Табл. 3.2):
а) для зимового дня; б) для літнього дня***

Тепер, на підставі характерних добових графіків навантаження (див. **Рис. 3.7**), за методикою, описаною раніше, можемо побудувати річний графік навантаження за тривалістю. Для зручності практичної побудови такого графіка

побудуємо спочатку допоміжну таблицю (*Табл. 3.3*), до якої зведемо результати виставлених за ранжиром підрахунків тривалості кожного з варіантів електроспоживання (і більшого за нього) протягом року, зважаючи на 200 днів роботи за зимовим добовим графіком і 165 днів – за літнім добовим графіком.

Таблиця 3.3

Варіанти потужностей споживача протягом року

Потужності P^*_i , відносні одиниці (частини від P_{\max})	Тривалості t потужностей P^*_i , год.	Тривалості t потужностей P^*_i та більших, год.
1,00	165	165
0,95	200	365
0,50	165	530
0,48	165	695
0,47	400	1095
0,46	165	1260
0,45	165	1425
0,44	165	1590
0,43	730	2320
0,42	495	2815
0,41	165	2980
0,39	600	3580
0,37	200	3780
0,36	200	3980
0,35	2050	6030
0,33	200	6230
0,31	200	6430
0,27	200	6630
0,26	2130	8760

На підставі *Табл. 3.3*, тепер зовсім не складно побудувати річний графік навантаження за тривалістю (*Рис. 3.8*).

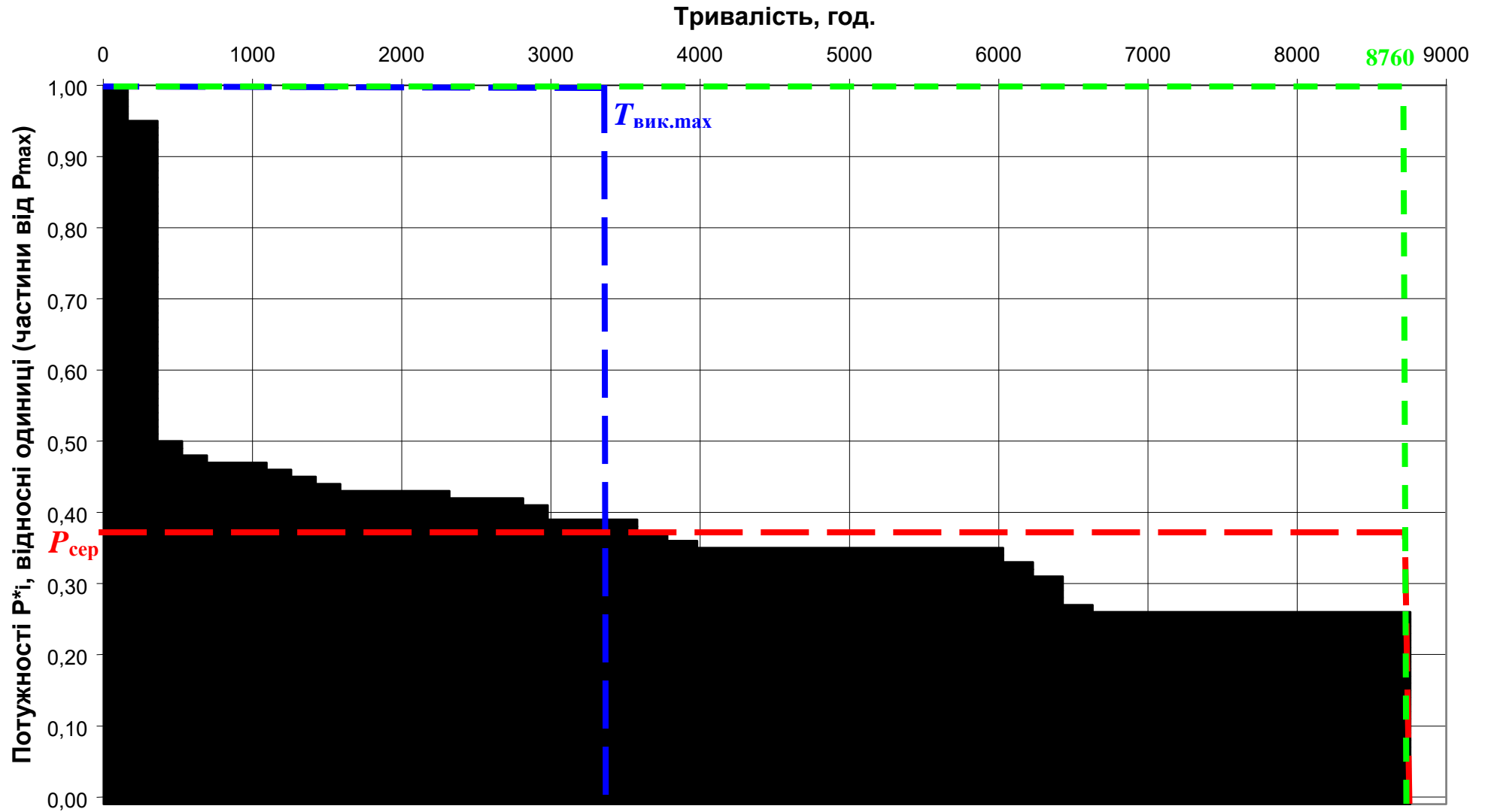


Рисунок 3.8 – Річний графік навантаження за тривалістю

Підрахувавши площу фігури під річним графіком навантаження за тривалістю, позначимо її S . Для цього необхідно знайти площі кожного з прямокутників S_i , одна сторона якого відповідає i -му варіанту потужності електроспоживання P^*_i , у відносних одиницях (частинах від P_{\max}), а друга – тривалості цієї потужності протягом року t , год., після чого всі площі прямокутників підсумувати:

$$S = \sum S_i. \quad (3.4)$$

Скориставшись двома першими стовбцями **Табл. 3.3**, за співвідношенням (3.4) отримуємо (у відносних одиницях площі):

$$S = 165,00 + 190,00 + 82,50 + 79,20 + 188,00 + 75,90 + 74,25 + 72,60 + 313,90 + 207,90 + 67,65 + 234,00 + 74,00 + 72,00 + 717,50 + 66,00 + 62,00 + 54,00 + 553,80 = 3350,20.$$

Побудувавши тепер на річному графіку навантаження за тривалістю прямокутник (червоним пунктиром), із площею S та однією із сторін, що співпадає із річним графіком навантаження за тривалістю, 8760 год. (тривалість року), знайдемо значення середньої річної потужності $P_{\text{сер}}$, у відносних одиницях (частинах від P_{\max}):

$$P_{\text{сер}} = \frac{3350,20}{8760} = 0,38.$$

З урахуванням того, що за 1,00 нами було прийнято потужність 2061 Вт, можемо записати:

$$P_{\text{сер}} = 0,38 \cdot 2061 = 783,18 \text{ Вт.}$$

А побудувавши на річному графіку навантаження за тривалістю інший прямокутник, із площею S (синім пунктиром), у якого із графіком співпадає інша сторона – потужність, у відносних одиницях (частинах від P_{\max}), знайдемо час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мах}}$, ГОД.:

$$T_{\text{вик.мах}} = \frac{3350,20}{1,00} = 3350,20 \text{ год.}$$

Залишилось відшукати коефіцієнт запасу обладнання K_3 . Для цього, спочатку, знаходимо максимально можливу площу під річним графіком навантаження за тривалістю – це площа зеленого пунктирного прямокутника із сторонами 8760 год. та $P^*_i = 1,00$ (у відносних одиницях площі):

$$S_{\text{мах}} = 1,00 \cdot 8760 = 8760,00.$$

Згідно із співвідношенням (3.3), коефіцієнт запасу обладнання K_3 дорівнює:

$$K_3 = \frac{S}{S_{\text{мах}}} = \frac{3350,20}{8760,00} = 0,38.$$

Таким чином, ми побудували для електроспоживача, за конкретними даними, характерні добові графіки навантаження для зимового та літнього днів,

річний графік навантаження за тривалістю і визначили:

- максимальну споживану потужність $P_{\max} = 2061,00$ Вт;
- середню річну потужність $P_{\text{сер}} = 783,18$ Вт;
- час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мак}} = 3350,20$ год.;
- коефіцієнт запасу обладнання $K_3 = 0,38$.

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

У лабораторній роботі необхідно для об'єкта споживання електричної енергії, розглянутого у лабораторній роботі № 2 за індивідуальними даними (згідно свого варіанту), побудувати добові графіки електричного навантаження для зимового і літнього днів, а також річний графік навантаження за тривалістю і визначити основні параметри енергоспоживання об'єкта (за аналогією із наведеним вище прикладом).

ХІД ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Для об'єкта споживання електричної енергії, розглянутого у лабораторній роботі № 2 за індивідуальними даними, згідно свого варіанту (див. **Табл. 2.4**), побудувати добові графіки електричного навантаження для зимового і літнього днів (згідно варіанту завдання Л/р № 2) побудувати добові графіки навантаження для характерних зимового та літнього днів.
2. Побудувати, на підставі добових графіків навантаження для зимового та літнього днів, річний графік навантаження об'єкта за тривалістю.
3. Визначити для об'єкта, за річним графіком навантаження за тривалістю:
 - максимальну споживану потужність P_{\max} ;
 - середню річну потужність $P_{\text{сер}}$;
 - час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мак}}$;
 - коефіцієнт запасу обладнання K_3 .
4. Зробити висновки.

Примітка: Для спрощення розрахунків та зручності побудови графіків, рекомендується скористатися можливостями програмного пакету Microsoft Office Excel або іншого подібного.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають графіком навантаження?
2. Які Ви знаєте різновиди графіків навантаження? Чим вони відрізняються?
3. Які існують способи побудови графіків навантаження?
4. В чому особливість річного графіка навантаження за тривалістю? Що відображають на його осях?
5. Принцип побудови річного графіка за тривалістю? Що є початковими даними?
6. Які параметри енергоспоживання (енергопостачання) можна визначити

за річним графіком навантаження за тривалістю? Поясніть фізичний зміст цих параметрів.

СКЛАД ЗВІТУ

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.
3. Номер варіанту.
4. Мета роботи.
5. Короткі теоретичні відомості.
6. Завдання до лабораторної роботи, згідно із варіантом.
7. Результати виконання завдання (у вигляді таблиць і розрахунків).
8. Висновки, у відповідності з метою роботи.

Примітка: *Звіт з лабораторної роботи має бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм) з полями: вгорі та внизу – 15 мм; ліворуч – 25 мм; праворуч – 10 мм.*

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Вивчення принципу роботи сонячних колекторів та сонячних батарей

Мета роботи: Дослідити пасивні та активні сонячні системи для отримання тепла. Визначити основні параметри сонячного колектора. Вивчити основні принципи отримання електричної енергії за допомогою сонячних батарей та виконати розрахунок їх основних параметрів.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загальна інформація. Прийнята у серпні 2017 р. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» оцінює річний технічний потенціал відновлюваних джерел, відходів та нетрадиційних джерел енергії приблизно у 79 млн. тон умовного палива (т у. п.). Енергетична стратегія та інші програмні документи енергетичної галузі прогнозують зростання споживання ВДЕ до 20 % від загального енергоспоживання. Велика частка відновлюваної енергії має належати сектору перетворення енергії сонячного випромінювання: якщо у 2005 р. споживання сонячної енергії в Україні становило всього 0,003 млн. т у. п., то у 2035 р. воно складатиме, за оптимістичними прогнозами, до 3 млн. т у. п. Тому вже зараз майбутнім фахівцям-енергетикам необхідно приділяти значну увагу набуттю комплексу знань, умінь та навичок щодо способів та особливостей використання сонячних енергоустановок різного типу для задоволення потреб споживачів, оптимізації параметрів таких установок, їх інтеграції у системи енергопостачання нового типу.

Основними перевагами сонячної енергії є її невичерпність, доступність, багатогранність і простота застосування, відносна сталість у більшості регіонів, можливість використання існуючого стандартного обладнання і регулярна поява нового.

До недоліків слід віднести розсіяність, періодичність, необхідність застосування технологій акумуляування та резервування і дороговартісних матеріалів.

Розглянемо основні поняття, пов'язані з використанням енергії сонця.

Сонячною установкою називається інженерна установка, яка перетворює енергію сонячного випромінювання в інші види енергії. Найчастіше на практиці відбувається перетворення у теплову енергію (за допомогою *сонячних колекторів*) та у електричну (за допомогою *сонячних батарей*).

Системи сонячного теплопостачання бувають: *пасивні* та *активні*. Кожна з цих систем може мати природну або примусову циркуляцію нагріваючої речовини, бути з акумулятором або без акумулятора теплової енергії.

Термін «пасивні» означає, що сонячна енергія акумулюється безпосередньо у будівельній споруді – в кімнаті, стінах, біля вікон, навіть якщо є вентиляція.

Термін «активні» означає, що тепло нагромаджується в нагрівачах, які розташовані за межами опалювальних приміщень.

Сонячні пасивні системи теплопостачання. Суть побудови сонячної пасивної системи теплопостачання (ПСТП) полягає у виборі накопичувального майданчика з масою m , площею F поверхні до потоку сонячного випромінювання (СВ) E і з високим опором тепловим втратам R_T , з метою отримати оптимальну кількість сонячного тепла для даної конструкції. Для здійснення цього необхідно здійснити наступні дії:

1) виконати якісно ізоляцію будинку (з високим R_T), з мінімізацією протягів і регенерацією тепла від вентиляцій; зменшити втрати тепла вночі (штори, віконця, захисні ролети тощо);

2) за рахунок конструкції будинку (розташування вікон) отримати максимальний сонячний потік, тобто одержати максимальний добуток $E \cdot F$;

3) для вертикальних стін, на які падає частина СВ, варто забезпечити коефіцієнт $\alpha > 0,8$, як для чорної поверхні.

Такий будинок повинен мати масивні стіни, що обмежить коливання *комфортної температури* $T_{кф}$. Комфортна температура будинку залежить від вмісту вологості, потоку СВ, швидкості переміщення повітря та товщини одягу людини.

Приклади сонячних ПСТП будинків з раціональною акумуляцією СВ, наведений на **Рис. 4.1**.

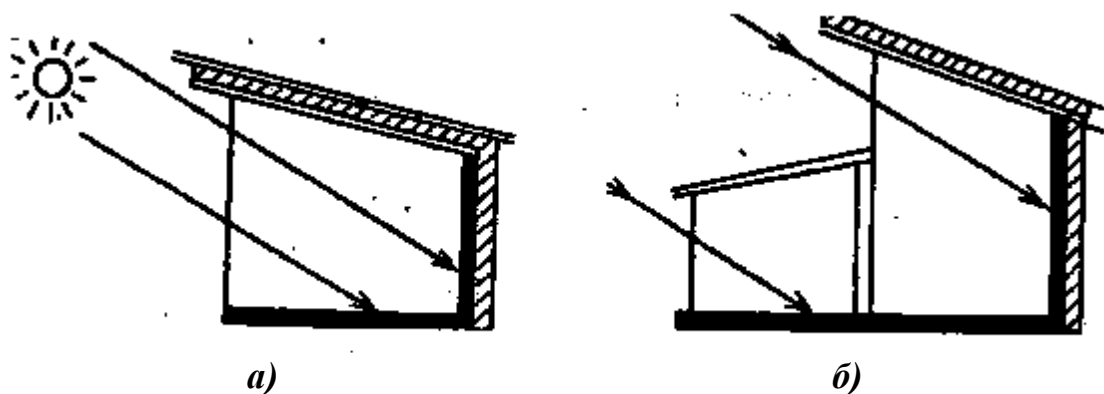


Рисунок 4.1 – Сонячні пасивні системи теплопостачання будинків:
а) схема прямого нагрівання масивної чорної поверхні з посиленою теплоізоляцією; б) нагрівання задньої стінки будинку через додаткове верхнє вікно

Для збільшення ефективності нагрівання, у пасивних нагрівних системах крім чорних поверхонь застосовують *акумулятивні стіни*.

Акумулятивна стіна конструктивно – це бетонна плита товщиною до 30 см, із зовнішнім скляним покриттям і двома щілинами (зверху і знизу), яка будується з сонячного боку. Нагріте повітря циркулює взимку, як показано на **Рис. 4.2**.

Взагалі, у сонячних ПСТП найчастіше для сприйняття СВ прийнято використовувати будівельні конструкції, зокрема, стіни (**Рис. 4.3**).

В процесі розробки конструкції ПСТП необхідно правильно обрати відстань

δ (у міліметрах) між акумулятивною поверхнею (стіною) 2 і склом (плівкою) 1 (див. *Рис. 4.3*). Для цього використовують наступні емпіричні залежності:

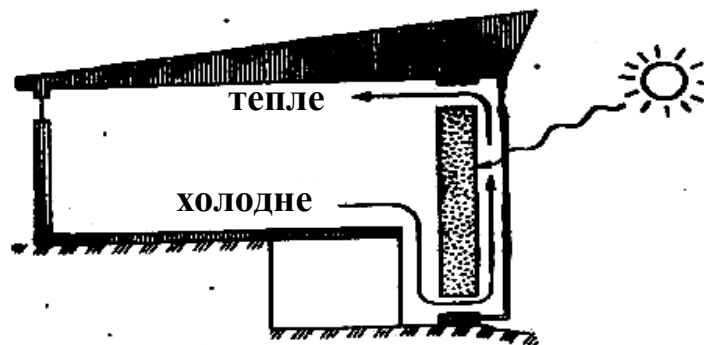


Рисунок 4.2 – Принцип дії акумулятивної стіни у будинку із сонячною пасивною системою теплопостачання

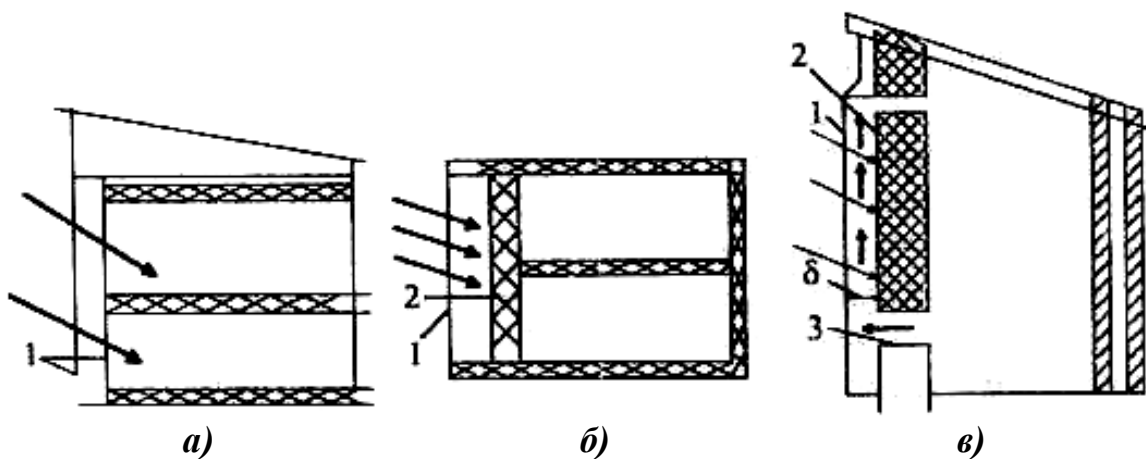


Рисунок 4.3 – Схеми організації будинків із сонячними пасивними системами теплопостачання:

а) відкрита система; б) закрита система; (1 – скло, 2 – поверхня для накопичення тепла); в) закрита система із акумулятивною стіною; 1 – скло, 2 – поверхня для накопичення тепла; 3 – канал; δ – відстань між осклінням і акумулятивною стіною

1) У випадку ламінарного руху повітря в каналі 3 (контрольований потік повітря, який переміщує повний обсяг повітря в межах певного простору з однаковою швидкістю в одному напрямку вздовж паралельних ліній потоку):

$$\delta = \frac{2 \cdot H}{N_u}, \quad (4.1)$$

де H – висота стіни; N_u – критерій Нульсета [$N_u = 0,378 \cdot (G_r)^{0,25}$]; G_r – критерій Грасгофа [$G_r = \frac{(\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta)}{\nu^2}$]; Δt – різниця температур стінки $t_{ст}$ і повітря $t_{пов}$; g – прискорення вільного падіння [$g = 9,81 \text{ м/с}^2$]; β – коефіцієнт

розширення повітря [$\beta = \frac{1}{t_{\text{пов}} + 273}$]; ν – кінематична в'язкість (з *Табл. 4.1*).

2) У випадку турбулентного руху повітря:

$$\delta = H \cdot \left(0,96 \cdot (G_r \cdot P_r)^{\frac{1}{6}} \right) \cdot \left(\frac{P_r^{\frac{2}{3}}}{2,14 + P_r^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot P_r^{-\frac{1}{6}}, \quad (4.2)$$

де G_r – критерій Грасгофа; P_r – критерій Прандтля (з *Табл. 4.1*).

Таблиця 4.1
Фізичні параметри сухого повітря для атмосферного тиску 760 мм рт. ст.

T, K	$t, \text{°C}$	$\rho, \text{кг/м}^3$	$C_p, \text{кДж/(кг} \cdot \text{K)}$	$\lambda \cdot 10^{-2}, \text{Вт/(м} \cdot \text{K)}$	$\alpha \cdot 10^{-5}, \text{м}^2/\text{с}$	$\mu \cdot 10^{-6}$	$\nu \cdot 10^{-6}, \text{м}^2/\text{с}$	P_r
253	-20	1,395	1,009	2,28	1,620	16,19	12,79	0,716
263	-10	1,342	1,009	2,36	1,745	16,68	12,43	0,712
273	0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
283	10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
293	20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
303	30	1,165	1,005	2,67	2,286	18,64	16,00	0,701
313	40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
323	50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
333	60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
343	70	1,029	1,009	2,97	2,856	20,60	20,02	0,694
353	80	1,000	1,009	3,05	2,920	21,09	21,09	0,692
363	90	0,972	1,009	3,13	2,989	21,48	22,10	0,690
373	100	0,946	1,009	3,21	3,364	21,88	23,13	0,688

Висота поверхні, сприймаючої тепло, сильно впливає на питомі масові витрати нагрітого повітря. Визначають їх з умови:

$$\frac{\alpha_F \cdot F_x}{m \cdot C_p} \geq 4, \quad (4.3)$$

де α_F – коефіцієнт теплопередачі між поверхнею стіни і повітрям [$\alpha_F = 3,5 \dots 4 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{K)}$]; F_x – площа поверхні, сприймаючої тепло, м^2 ; C_p – теплоємність повітря, $\text{Дж/(кг} \cdot \text{K)}$; m – масові витрати повітря з 1 м ширини нагрітої поверхні.

Масові витрати повітря з 1 м ширини нагрітої поверхні визначають так:

$$m = W \cdot \rho \cdot 4 \cdot \delta, \quad (4.4)$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3 ; W – швидкість руху повітря в прошарку:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot H \cdot (\rho_{\text{вх}} - \rho_{\text{вих}})}{\sum \xi \cdot \rho}}, \quad (4.5)$$

де $\sum \xi$ – сума кінцевих опорів руху повітря [$\sum \xi = 0,8 \dots 0,9$]; ρ , $\rho_{\text{вх}}$, $\rho_{\text{вих}}$ – густини повітря: середня, на вході та на виході, відповідно.

Сонячні активні системи теплопостачання. До сонячних активних систем теплопостачання (АСТП) відносяться системи із зовнішніми нагрівачами води або повітря. Основним елементом у сонячних АСТП є *сонячний колектор*.

Сонячний колектор (СК) – пристрій для збору енергії СВ у видимій та інфрачервоній частині спектру.

Колектори поділяються на дві категорії:

- з концентрацією СВ (*фокусуючі СК*);
- без концентрації СВ («гаряча скринька» або «теплова пастка»).

Розрахунок сонячної АСТП починають з визначення *площі поверхні СК* F , м², за співвідношенням:

$$F = \frac{0,287 \cdot G_{\text{г}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{х}})}{\eta \cdot \sum_{i=1}^n E_i}, \quad (4.6)$$

де $G_{\text{г}}$ – добові витрати гарячої води, кг/доба; $t_{\text{г}}$, $t_{\text{х}}$ – температури гарячої та холодної води, відповідно, °С; E_i – інтенсивність СВ, яке надходить на площину колектора, Вт·год./м²; $C_{\text{в}}$ – теплоємність води [$C_{\text{в}} = 4190$ Дж/(кг·К)]; η – ККД установки сонячного теплопостачання:

$$\eta = 0,8 \cdot \left(\theta_{\text{пр}} - \frac{8 \cdot \xi \cdot [0,5 \cdot (t_1 + t_2) - t_{\text{сеп}}]}{\sum E_i} \right), \quad (4.7)$$

де $\theta_{\text{пр}}$ – приведена оптична характеристика колектора прямої радіації [для СК з одним шаром скла $\theta_{\text{пр}} = 0,73$; для СК з двома шарами скла $\theta_{\text{пр}} = 0,63$]; t_1 , t_2 , $t_{\text{сеп}}$ – температури на вході і виході з СК та середня температура навколишнього повітря, відповідно, °С; ξ – приведений коефіцієнт теплових втрат СК, Вт/(м²·К).

Для 2-контурних і 3-контурних установок приймають значення: $t_1 = t_{\text{х}} + 5$ °С; $t_2 = t_{\text{г}}$. Для СК з одним шаром скла $\xi = 8$ Вт/(м²·К); для подвійного осклення $\xi = 5$ Вт/(м²·К).

Об'єм акумулятора теплоти V , м³:

$$V = (0,06 \dots 0,08) \cdot F. \quad (4.8)$$

Річна частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження $f_{\text{річ}} = 0 \dots 1$:

$$f_{\text{річ}} = \frac{E_i}{Q_{\text{к}}^{\text{річ}}}, \quad (4.9)$$

де $Q_K^{\text{річ}}$ – річна теплова потужність СК.

Річна теплова потужність СК $Q_K^{\text{річ}}$, Вт/м²:

$$Q_K^{\text{річ}} = F \cdot (E_i \cdot \eta - K_{\text{втр}} \cdot (t_1 - t_{\text{н.с.}})) = G_r \cdot C_b \cdot (t_2 - t_1), \quad (4.10)$$

де $t_{\text{н.с.}}$ – температура навколишнього середовища, °С; $K_{\text{втр}}$ – коефіцієнт теплових втрат, Вт/(м²·К) [визначається з довідникових даних].

Приклади.

Задача 1

Для пасивної системи опалення будинку визначимо відстань δ між акумулятивною поверхнею (стіною) та екраном (склом).

Висота поверхні $H = 2$ м; середні значення температур стіни і повітря: $t_{\text{ст}} = 40$ °С; $t_{\text{пов}} = 20$ °С.

Розв'язок.

Відстань між акумулятивною поверхнею (стіною) та екраном (склом) визначатимемо за співвідношенням (4.1). Для цього необхідно попередньо знайти значення критеріїв Грасгофа та Нульсета. А для знаходження критерію Грасгофа слід знати значення кінематичної в'язкості ν .

Для температури повітря $t_{\text{пов}} = 20$ °С з таблиці **Табл. 4.1** обираємо:

$$\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}.$$

Коефіцієнт розширення повітря β знаходимо (див. пояснення до формули (4.1)) за співвідношенням:

$$\beta = \frac{1}{t_{\text{пов}} + 273} = \frac{1}{20 + 273} = 0,003412 \text{ К}^{-1}.$$

Критерій Грасгофа G_r :

$$G_r = \frac{(\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta)}{\nu^2} = \frac{20 \cdot 9,81 \cdot 0,003412 \cdot 2^3}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} \approx 23,18 \cdot 10^9.$$

Критерій Нульсета N_u :

$$N_u = 0,378 \cdot (G_r)^{0,25} = 0,378 \cdot (23,18 \cdot 10^9)^{0,25} \approx 147,49.$$

Підставивши всі знайдені складові та початкове значення H до співвідношення (4.1), отримаємо:

$$\delta = \frac{2 \cdot H}{N_u} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{147,49} \approx 27,12 \text{ мм}.$$

Задача 2

Визначимо площу поверхні СК для добового забезпечення домоволодіння

гарячою водою $G_T = 40$ кг/доба з температурою $t_T = 40$ °С, а також об'єм теплового акумулятора V , м³. Температура холодної води $t_X = 10$ °С.

Розв'язок.

Загальну кількість теплової енергії, яка надходить щоденно на горизонтальну поверхню визначаємо з **Табл. 4.2**. Для північної широти $\varphi = 48^\circ$, наприклад, у місяці квітні маємо:

– щоденне надходження сумарної сонячної енергії

$$E = 15,21 \text{ МДж/м}^2;$$

– щоденне надходження розсіяної сонячної енергії

$$E_p = 8,18 \text{ МДж/м}^2;$$

– середньомісячна температура повітря

$$t_{\text{сер}} = 9 \text{ }^\circ\text{С}.$$

Таблиця 4.2

Щоденне надходження сумарної E та розсіяної E_p сонячної енергії і середня температура повітря $t_{\text{сер}}$ у відповідному місяці року для місцевостей північної широти

Показники	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
47° півн. шир.												
E , МДж/м ²	4,05	6,26	10,8	15,84	20,25	23,07	23,62	20,11	14,73	9,18	4,03	2,7
E_p , МДж/м ²	2,56	3,87	5,8	8,48	9,18	10	9,04	7,83	5,98	4,32	2,36	1,8
$t_{\text{сер}}$, °С	-4,5	-2,6	2,5	9,3	15,6	19,2	21,4	20,5	15,7	10	3,9	-1
48° півн. шир.												
E , МДж/м ²	3,75	5,92	10,49	15,21	19,73	22,54	22,83	19,21	14,06	8,43	3,68	2,5
E_p , МДж/м ²	2,48	3,75	5,7	8,18	9,18	10	9,22	7,8	5,94	4,28	2,27	1,75
$t_{\text{сер}}$, °С	-4,5	-2,4	2,2	9	15,5	19	21	20	15,6	9,9	3,8	-1
49° півн. шир.												
E , МДж/м ²	3,45	5,87	10,12	14,52	19,21	22,22	21,41	18,24	13,29	7,81	3,31	2,33
E_p , МДж/м ²	2,38	3,61	5,61	7,82	9,18	10	9,35	7,74	5,9	4,15	2,18	1,7
$t_{\text{сер}}$, °С	-5,5	-3,7	2,3	9,2	15,3	18,9	20,9	19,8	15,5	9,9	3,7	-0,8
50° півн. шир.												
E , МДж/м ²	3,1	5,36	9,72	13,9	18,76	21,82	2,52	17,28	12,65	7,29	2,92	2,16
E_p , МДж/м ²	2,29	3,43	5,53	7,51	9,18	10	9,45	7,69	5,84	3,91	2,08	1,62
$t_{\text{сер}}$, °С	-6,1	-5,6	-0,7	7,2	14,3	17,6	18,8	17,7	13,7	7,2	1	-3,7

Переведемо два перших обраних табличних значення у інші одиниці, що характеризують величину теплового потоку – у кВт·год.

Зважаючи на те, що 1 кВт·год. = 3,6 МДж, можемо визначити *густину потоку енергії* або *інтенсивність випромінювання* (потужність на одиницю площини, розташованої перпендикулярно до напрямку поширення електромагнітної хвилі):

– щоденна інтенсивність випромінювання сонячної енергії

$$E = 15,21 / 3,6 = 4,225 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2;$$

– щоденне надходження розсіяної сонячної енергії

$$E_p = 8,18 / 3,6 = 2,272 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2.$$

Тоді сумарну інтенсивність СВ, яке надходить на площину колектора E_i можна визначити за співвідношенням:

$$\sum E_i = 0,96 \cdot (K_{np} \cdot E_{np} \cdot \theta_{np} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p), \quad (4.11)$$

де K_{np} , K_p – коефіцієнти прямої (**Табл. 4.3**) та розсіяної радіації, в залежності від осі кута колектора [$K_p \approx 0,56 \cdot K_{np}$]; θ_p – приведена оптична характеристика колектора для розсіяної радіації [для СК з одним шаром скла $\theta_p = 0,64$; для СК з двома шарами скла $\theta_p = 0,42$].

Таблиця 4.3

Середньомісячні значення коефіцієнтів прямої K_{np} радіації для сонячних колекторів південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту

Кут нахилу колектора $\beta, ^\circ$	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
47° півн. шир.												
30	2,14	1,71	1,42	1,19	1,07	1,02	1,04	1,13	1,30	1,56	1,86	2,31
45	2,86	1,99	1,49	1,17	1,00	0,92	0,95	1,08	1,33	1,74	2,27	3,27
60	3,13	2,07	1,45	1,09	0,89	0,80	0,84	0,99	1,26	1,76	2,66	3,64
48° півн. шир.												
30	2,21	1,72	1,49	1,21	1,08	1,05	1,06	1,15	1,32	1,59	1,86	2,34
45	2,95	2,05	1,53	1,19	1,07	0,95	0,99	1,11	1,38	1,78	2,27	3,29
60	3,19	2,11	1,49	1,12	0,93	0,86	0,88	1,05	1,31	1,8	2,71	3,67
49° півн. шир.												
30	2,25	1,76	1,52	1,26	1,09	1,07	1,08	1,17	1,35	1,61	1,88	2,35
45	3,00	2,09	1,57	1,22	1,11	0,99	1,03	1,14	1,40	1,72	2,28	3,32
60	3,20	2,13	1,51	1,15	0,95	0,88	0,91	1,07	1,34	1,83	2,73	3,69
50° півн. шир.												
35	2,29	1,81	1,55	1,29	1,11	1,09	1,10	1,20	1,38	1,65	1,90	2,38

Обираємо орієнтацію СК на південь (у напрямку до екватора) з кутом нахилу 30°. Згідно **Табл. 4.3**, маємо:

– коефіцієнт прямої сонячної радіації

$$K_{np} = 1,21;$$

– коефіцієнт розсіяної сонячної радіації

$$K_p \approx 0,56 \cdot K_{np} \approx 0,56 \cdot 1,21 \approx 0,67.$$

Сумарна інтенсивність СВ, яке надходить на площину колектора, у відповідності до співвідношення (4.11):

$$\sum E_i = 0,96 \cdot (1,21 \cdot 4,225 \cdot 0,73 + 0,67 \cdot 2,272 \cdot 0,64) \approx 4,518 \text{ кВт}\cdot\text{год./м}^2.$$

За формулою (4.7), визначаємо ККД установки сонячного теплопостачання:

$$\eta = 0,8 \cdot \left(0,73 - \frac{8 \cdot 8 \cdot [0,5 \cdot (15 + 40) - 9]}{4,518 \cdot 10^3} \right) \approx 0,374.$$

Площа поверхні СК, у відповідності до виразу (4.6):

$$F = \frac{0,287 \cdot 40 \cdot 4190 \cdot 10^{-3} \cdot (40 - 10)}{0,374 \cdot 4518 \cdot 10^{-3}} \approx 0,854 \text{ м}^2.$$

Об'єм акумулятора теплоти, за співвідношенням (4.8):

$$V = 0,007 \cdot 0,854 \approx 0,06 \text{ м}^3.$$

Сонячні електричні системи. Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію набуває нині все більших темпів розвитку. По-перше, таке перетворення є досить зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії. По-друге, такий метод є екологічно чистим способом одержання електроенергії, на відміну від тих, що використовують органічне паливо, ядерну сировину чи, навіть, гідроресурси. І, по-третє, розвиток науки та технологій, одержання нанотехнологічних матеріалів і новітніх конструкцій дозволяють постійно покращувати ККД перетворювачів.

На сьогодні основою сонячної електроенергетики (*геліоенергетики* – від давньогрецьк. ἥλιος – Сонце) є застосування фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які у побуті прийнято називати сонячними елементами (СЕ) і сонячними батареями (СБ); звідси і ще одна назва сонячної електроенергетичної галузі – *фотовольтаїка* (від англ. *Photovoltaic* – фотоелектричний).

Та прийшло людство до цього не одразу, і фотоперетворювачі витримали понад сторічну конкурентну боротьбу з іншими перетворювачами, які базувались на інших засадах та фізичних ефектах перетворення сонячного випромінювання у електрику. Розглянемо дуже побіжно ці способи перетворенні і перетворювачі.

Термоіонний перетворювач. В основу роботи термоіонного перетворювача покладений ефект, винайдений Т. А. Едісоном ще у 1883 р. і названий *термоіонною емісією*. На можливість застосування цього ефекту для створення термоіонного генератора (перетворювача) вперше було вказано О. Г. Шліхтером у 1915 р. Принцип дії термоіонного генератора пояснює **Рис. 4.4**.

При нагріванні одного з електродів (катода) до досить високої температури значна частина його електронів набуває енергії, при якій вони можуть залишати катодну поверхню. Якщо поблизу знаходиться інший електрод (анод), то електрони можна спрямувати до нього і там збирати. Це можливо лише в тому випадку, якщо обидва електроди з'єднані зовнішнім колом, оскільки, в іншому випадку, зростання від'ємного заряду на аноді перешкоджає руху до нього електронів, і, за певних умов, вони не можуть його досягти. Але в термоіонному перетворювачі катод та анод з'єднані зовнішнім колом, тому потік електронів (електричний струм) проходить цим колом, здійснюючи в ньому роботу. На **Рис. 4.4** зовнішнє навантаження представлено умовним опором R , але практично це може бути будь-який пристрій. Таким чином, в термоіонному генераторі

використовується частина енергії (у випадку, що нас цікавить, – це енергія сонячної радіації), витраченої на нагрівання катода, завдяки якій у навантаженні протікає струм і здійснюється робота.

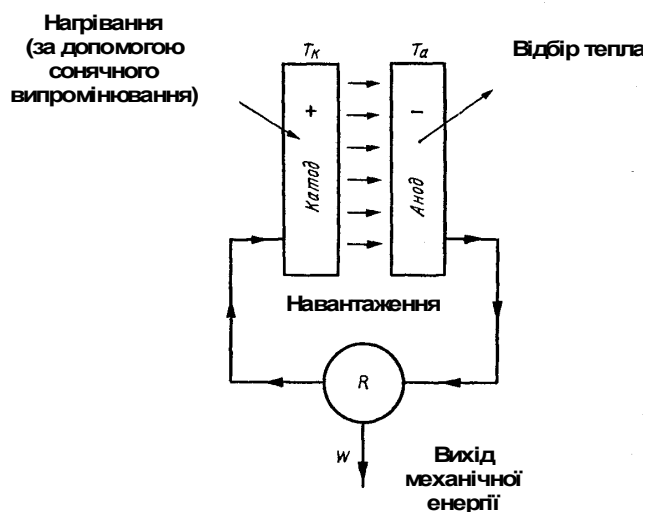


Рисунок 4.4 – Термоіонний перетворювач

Таке перетворення сонячної енергії в роботу відбувається не без втрат, і, природно, виникає питання про ККД подібного пристрою. Електрони залишають катод лише при його нагріванні, тому виникають втрати енергії через тепловипромінювання. Частина теплової енергії потрапляє на анод, який при сильному розігріванні також випромінює електрони. Якби хоча б частина з них досягла катода, це призвело б до зменшення струму в навантаженні. Тому на охолодження анода також необхідна енергія. Отже, можливості цього способу перетворення енергії, як і інших теплових машин, також не безмежні. Обмежена, очевидно, і величина його максимального практичного ККД – 29 %. Крім того, спроби підвищення потужності призводять до виникнення відчутних електромагнітних полів та паразитних напруг.

Термоелектричний перетворювач. Принцип роботи термоелектричного перетворювача базується на явищі, відкритому в 1821 р. Т. Й. Зеєбеком і названому *ефектом Зеєбека*: якщо електричне коло скласти з двох різнотипних провідників, і один із спаїв підтримувати при більш високій температурі, ніж інший, то в колі протікає електричний струм. А, при розімкненому електричному колі, на його кінцях виникає різниця потенціалів, величина якої пропорційна різниці температур. Це обумовлено тим, що кінетична енергія електронів на гарячому кінці кола виявляється більшою, ніж на холодному, тому процес дифузії електронів у напрямку холодного кінця протікає з дещо більшою швидкістю, ніж в протилежному. На холодному кінці кола надлишок електронів накопичується до тих пір, поки, під дією кулонівських сил, їх рух не перерветься. Такий розподіл зарядів і обумовлює появу різниці потенціалів на кінцях розімкненого кола. При замиканні такого кола, електрони переміщуються вздовж обох провідників (внаслідок різної концентрації електронів в провідниках, величини струмів у них є різними), колом же буде протікати деякий сумарний струм. Якщо ж у коло ввести навантаження, то отримаємо термоелектричний генератор (перетворювач).

Енергія надходить до гарячого спаю і від нього частково передається холодному спаю, а різниця енергій відповідає корисній роботі, здійснюваній у навантаженні.

На **Рис. 4.5** схематично зображена типова конструкція термоелектричного перетворювача, на основі двох різних типів провідників. Зазвичай провідники з'єднують послідовно, оскільки різниця потенціалів на виході кожної пари провідників у реальних пристроях становить лише 300...400 мкВ на одиницю різниці температур. Тому при різниці температур у 500 К вихідна напруга на кожній парі елементів не більше 1,2 В. Максимально досягнутий ККД становить 31 %.

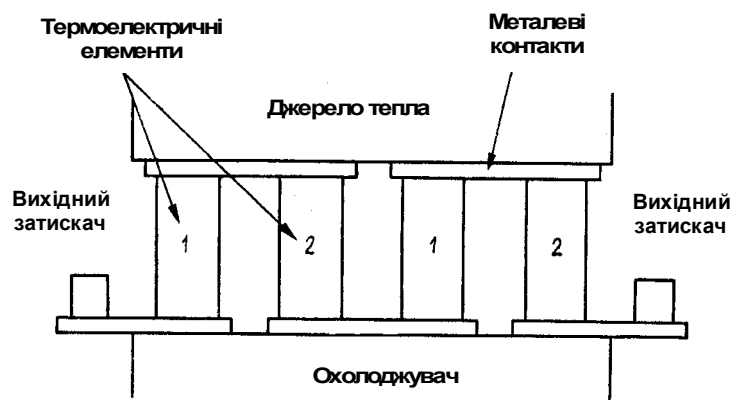


Рисунок 4.5 – Термоелектричний перетворювач

Роботу реальних пристроїв супроводжують певні незворотні явища. Можлива теплопередача від джерела до охолоджувача безпосередньо через елементи генератора. В середині елементів виділяється джоулеве тепло.

Фотоємисійний перетворювач. Фотоємисійний перетворювач базується на принципі *фотоелектричного ефекту (фотоефекту)*. Математичний опис фотоефекту був зроблений А. Ейнштейном у 1905 р., за що він був відзначений Нобелівською премією. А ще раніше, у 1887 р., Г. Р. Герц вперше повідомив про взаємодію фотона світла з електроном металу, в результаті якої електрон набуває енергії, достатньої, щоб залишити межі металу. При значній кількості таких електронів, їх можна зібрати на іншій металевій поверхні і, через зовнішнє коло, повернути до початкової поверхні, подібно до того, як це відбувається в термоіонному перетворювачі. В такому випадку відпадає необхідність у тепловій стадії перетворення енергії, оскільки енергія передається безпосередньо електрону, і, таким чином, подібна система повинна мати більш високий ККД.

На **Рис. 4.6** схематично наведений гіпотетичний фотоємисійний перетворювач. Фотони світла потрапляють на його катод, проходячи крізь дротяну сітку, яка виконує функцію анода. Щоб попередити вплив просторового заряду, електроди в генераторі розташовуються дуже близько один від одного.

При попаданні фотона на катод, його енергія поглинається електроном, який, внаслідок цього, переходить на більш високий енергетичний рівень. Якщо ж енергія електрона перевищить роботу виходу катода, електрон залишає його поверхню. Однак подібну дію мають не всі фотони, оскільки їх енергії різні.

Викликати емісію електрона можуть тільки фотони з енергією, що перевищує роботу виходу катода φ_k . При $\varphi_k = 2$ еВ, електронна емісія з катода можлива, при довжині хвилі менше 0,62 мкм. Зазвичай, в спектрі сонячного випромінювання біля поверхні Землі на частку цих довжин хвиль припадає лише близько 30 % від загальної радіації. Таким чином, якби робота виходу катода фотоемісійного пристрою складала 2 еВ, його ККД не перевищував би 30 %.

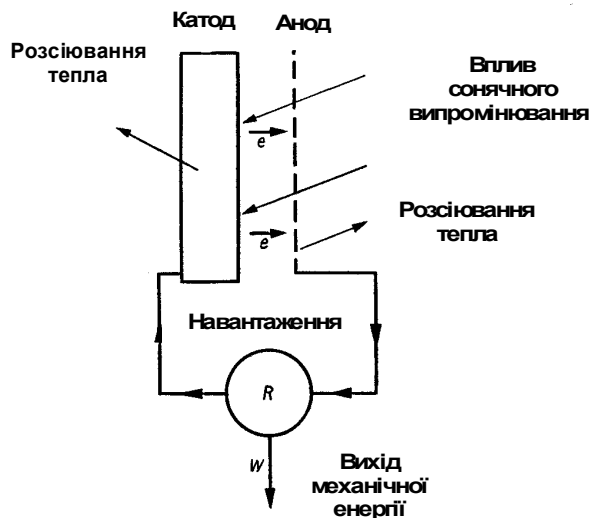


Рисунок 4.6 – Фотоемісійний перетворювач

Але, як і в термоіонному перетворювачі, при досягненні анода, внаслідок передачі енергії іонам анода, що коливаються, а також випромінювання, енергія електронів зменшується ($\varphi_k - \varphi_a$). Тоді ККД у 30 % відповідає лише максимальній величині співвідношення $(\varphi_k - \varphi_a) / \varphi_k$. При $\varphi_a = 1$ еВ, найбільше значення ККД падає до 15 %. Крім того, у фотоемісійному генераторі необхідну енергію набувають лише ті електрони, на які безпосередньо впливає випромінювання (радіація); енергія ж інших електронів, а також іонів кристалічної решітки, залишається на рівні, визначеному температурою катода. Навіть збуджений електрон швидко втрачає свою енергію в процесі взаємодії з сусідніми електронами, тому лише невелика частина збуджених поблизу поверхні катода електронів може відірватися від нього. В результаті, практичний ККД подібних пристроїв складає навіть не 15 %, а всього лише 0,15 %. Такий низький ККД фотоемісійних перетворювачів є причиною того, що при дослідженні питань отримання енергії їм відводиться незначна роль.

Фотоелектричний перетворювач. Принцип дії напівпровідникового фотоелектричного генератора (перетворювача), як і фотоемісійного, базується на *фотоелектричному ефекті*. При поглинанні фотонів сонячної радіації, електрони набувають додаткової енергії і переміщуються в зону провідності. Енергія кожного електрона збільшується на величину, яка відповідає ширині забороненої зони. Електрон залишається в цьому стані протягом досить короткого часу, потім він рекомбінується з іоном, а енергія, що при цьому звільняється, йде на підсилення коливань решітки, або ж перевипромінюється. В фотоелектричному перетворювачі збуджені світлом електрони проходять крізь напівпровідниковий матеріал і встигають віддати надлишок енергії корисному навантаженню, перш

ніж витратять його на інші взаємодії.

Будова пристрою такого типу схематично зображена на **Рис. 4.7**.

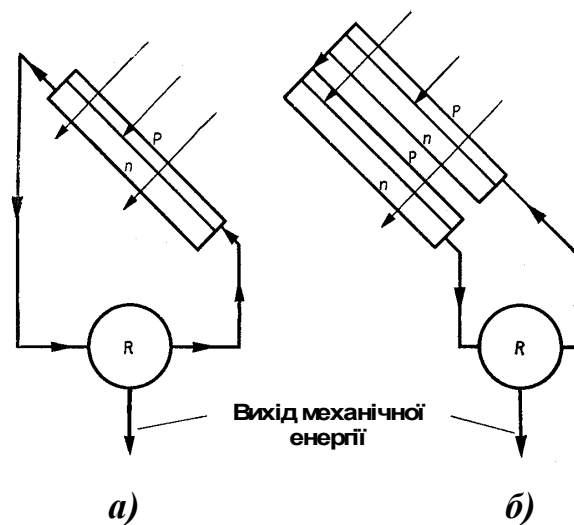


Рисунок 4.7 – Фотоелектричний перетворювач:
а) однокаскадний; б) багатокаскадний

Теоретично можливий ККД фотоелектричних перетворювачів становить близько 65 %, однак в реальних умовах він є значно нижчим. Та, з удосконаленням технологій, ККД невпинно наближається до максимально можливого.

Розглянемо процеси, що протікають у фотоелектричному перетворювачі, більш докладно. Кванти сонячного світла із енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються в напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: *електрони*, в зоні провідності, та *дірки*, у валентній зоні. Для просторового розведення зарядів, а, значить, і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує:

- в електронно-дірковому *p-n*-переході;
- в контакті метал-напівпровідник;
- в контакті двох різних напівпровідників (*гетеропереході*).

Фотогенеровані у *p*-області електрони витягуються електричним полем у *n*-область. І, навпаки, фотогенеровані в *n*-області дірки витягуються електричним полем у *p*-область. На омичних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається *напругою холостого ходу* U_{xx} . Якщо замкнути контакти, то крізь фотоелектричний перетворювач (сонячний елемент – СЕ) потече *струм короткого замикання* $I_{кз}$. Для того, щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів під'єднують навантаження, яке має електричний опір R_H . Тобто, СЕ виконує роль своерідної помпи, яка перекачує електрони у напрямку: *n*-область → зовнішнє навантаження → *p*-область.

Вольт-амперну характеристику СЕ подано на **Рис. 4.8**. Оскільки вона проходить через четвертий квадрант, то це означає, що такий пристрій є джерелом струму.

Слід відзначити, що, на відміну від хімічних джерел світла,

напівпровідникові СЕ не псуються при електричному замиканні контактів. При відповідному виборі опору навантаження, потужність, що виробляється СЕ, може досягати 80 % від добутку $U_{xx} \cdot I_{кз}$.

На **Рис. 4.8** показані також значення напруги U_M та струму I_M , для яких реалізується максимальна вихідна потужність $P_M = U_M \cdot I_M$. ККД сонячного елемента визначається як відношення максимальної вихідної потужності P_M до потужності падаючого сонячного світла P_0 :

$$\eta = \frac{P_M}{P_0} . \quad (4.12)$$

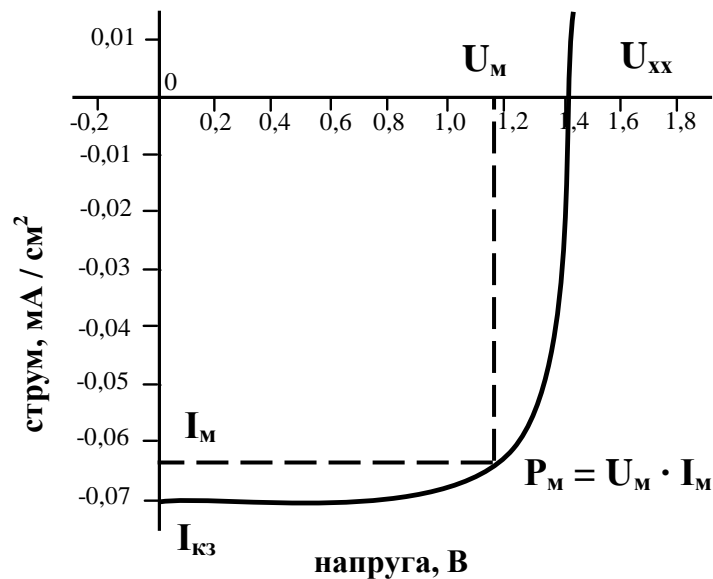


Рисунок 4.8 – Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається СЕ, тим більшим буде у нього струм $I_{кз}$. Цього можна досягти, за рахунок використання напівпровідників із меншою шириною забороненої зони (тоді підвищується частка фотонів у потоці сонячного випромінювання, які мають енергію, вищу за ширину забороненої зони напівпровідника). З іншого боку, напруга U_{xx} визначаються висотою потенціального бар'єру в p - n -переході і буде тим більша, чим більша ширина забороненої зони напівпровідника.

Оскільки, для отримання максимальної вихідної потужності СЕ, треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини U_{xx} чи $I_{кз}$ окремо, а добуток $P_M = U_M \cdot I_M$. Враховуючи розподіл енергії у спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів. Такий матеріал повинен мати ширину забороненої зони 1,3...1,5 еВ. Це, насамперед, арсенід галію ($GaAs$), теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії СЕ з цього матеріалу перевищує 31 %. Проте найбільш широкого застосування набули СЕ на основі більш дешевого матеріалу – кремнію, хоча в нього ширина забороненої зони менша оптимальної (1,1 еВ), і, тому, теоретична межа максимального ККД є меншою (до 29 %).

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90 % світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі. Перевагами кремнієвої технології є:

- достатня наявність кремнію у природі;
- його хімічна стабільність;
- відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє середовище;
- сумісність технології виробництва кремнієвих СЕ і базових процесів мікроелектроніки.

Чому ж ефективність СЕ менша за 100 %? По-перше, не всі пари носіїв струму можуть бути розведені полем. Деякі з них можуть рекомбінувати (гинути), в результаті переходу збудженого електрона із зони провідності у валентну зону. По-друге, кванти світла, з енергією, меншою за ширину забороненої зони, не поглинаються напівпровідником і не беруть участі у фотоелектричному процесі. По-третє, електрони і дірки, збуджені квантами світла, із енергією, значно більшою, ніж ширина забороненої зони, за дуже короткий час віддають надлишок енергії і опускаються до дна зони провідності (електрони) чи піднімаються до вершини валентної зони (дірки); надлишкова енергія при цьому йде не на створення струму в зовнішньому колі, а на підвищення температури напівпровідника.

Потужність СБ складається з вихідних потужностей окремих СЕ. Вихідний струм в СБ визначається кількістю E , які з'єднані паралельно, а вихідна напруга – кількістю СЕ, з'єднаних послідовно. На **Рис. 4.9** наведені можливі варіанти з'єднання СЕ.

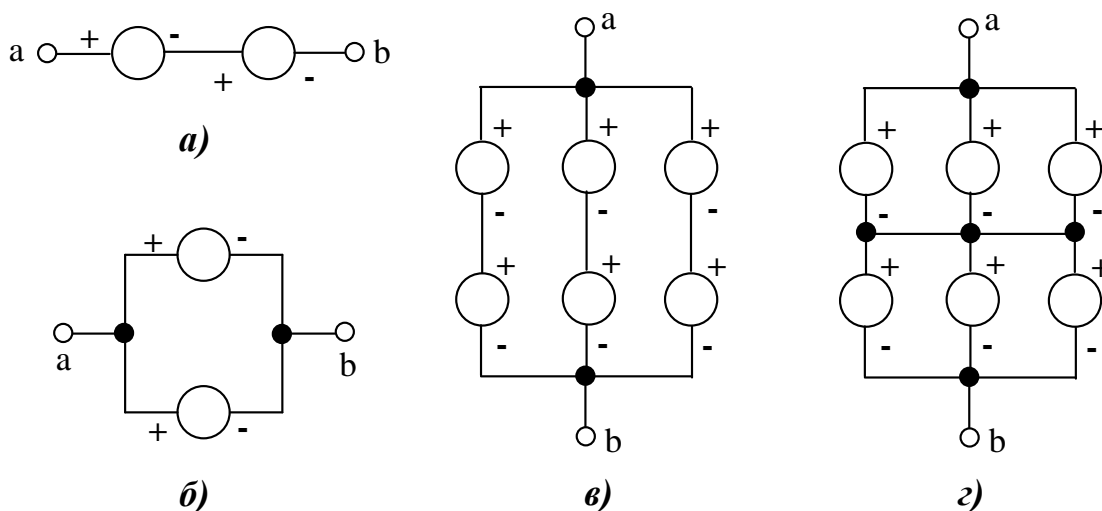


Рисунок 4.9 – Варіанти з'єднання сонячних елементів:
 а) послідовне з'єднання двох СЕ; б) паралельне з'єднання двох СЕ;
 в) паралельне з'єднання трьох кіл (кожене коло складається з двох послідовно з'єднаних СЕ); з) послідовне з'єднання двох груп СЕ (кожна група складається з трьох паралельно з'єднаних СЕ)

Введемо наступні позначення:

V_e – вихідна напруга СЕ;

I_e – максимальний вихідний струм СЕ;

P_e – максимальна вихідна потужність СЕ;

V_6 – вихідна напруга СБ;

I_6 – максимальний вихідний струм СБ;

P_6 – максимальна вихідна потужність СБ;

$N_{пр}$ – кількість паралельно з'єднаних елементів;

$N_{пс}$ – кількість послідовно з'єднаних елементів;

$N_{се}$ – загальна кількість СЕ в батареї.

Візьмемо до уваги наступні співвідношення:

$$V_6 = N_{пс} \cdot V_e ; \quad (4.13)$$

$$I_6 = N_{пр} \cdot I_e ; \quad (4.14)$$

$$N_{се} = N_{пр} \cdot N_{пс} ; \quad (4.15)$$

$$P_e = V_e \cdot I_e ; \quad (4.16)$$

$$P_6 = V_6 \cdot I_6 ; \quad (4.17)$$

$$P_6 = N_{се} \cdot P_e . \quad (4.18)$$

Приклади.

Задача 3

Маємо набір СЕ, максимальний вихідний струм кожного з яких дорівнює 0,5 А, при напрузі 0,4 В. Припустимо, що з цих СЕ побудовано СБ, причому 100 елементів з'єднані паралельно та 300 елементів – послідовно. Визначити потужність СБ.

Розв'язок.

СБ в цьому випадку матиме наступні вихідні параметри:

$$I_6 = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ А},$$

при

$$V_6 = 0,4 \cdot 300 = 120 \text{ В}.$$

Потужність батареї:

$$P_6 = 50 \cdot 120 = 6000 \text{ Вт}.$$

Для перевірки, обчислимо потужність іншим способом.

Потужність одного елемента:

$$P_e = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ Вт},$$

а всієї СБ:

$$P_6 = 0,2 \cdot 100 \cdot 300 = 6000 \text{ Вт.}$$

Запишемо даний приклад у алгебраїчній формі.

$$\text{Дано: } V_e = 0,4 \text{ В; } I_e = 0,5 \text{ А; } N_{\text{пс}} = 300; N_{\text{пр}} = 100.$$

Знайти: V_6 , I_6 , та P_6 .

Згідно наведених вище співвідношень (4.13) – (4.18), маємо:

$$V_6 = N_{\text{пс}} \cdot V_e = 300 \cdot 0,4 = 120 \text{ В;}$$

$$I_6 = N_{\text{пр}} \cdot I_e = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ А;}$$

$$P_6 = N_{\text{се}} \cdot P_e = N_{\text{пс}} \cdot N_{\text{пр}} \cdot I_e \cdot V_e = 300 \cdot 100 \cdot 0,5 \cdot 0,4 = 6000 \text{ Вт,}$$

або

$$P_6 = V_6 \cdot I_6 = 120 \cdot 50 = 6000 \text{ Вт.}$$

Задача 4

Необхідно створити СБ потужністю 100 Вт, при вихідній напрузі 120 В. Існують СЕ, розраховані на максимальну вихідну потужність 0,1 Вт, при напрузі 0,4 В. Розрахувати параметри СБ, припустивши, що втрати, пов'язані із з'єднанням елементів, відсутні.

Розв'язок.

Відомо, що кожний СЕ генерує потужність

$$P_e = 0,1 \text{ Вт,}$$

тому

$$P_6 = N_{\text{се}} \cdot P_e = 0,1 \cdot N_{\text{се}},$$

звідки

$$N_{\text{се}} = \frac{100}{0,1} = 1000 \text{ шт.}$$

Тепер визначимо кількість послідовно з'єднаних СЕ:

$$0,4 \cdot N_{\text{пс}} = 120,$$

звідки

$$N_{\text{пс}} = \frac{120}{0,4} = 300 \text{ шт.}$$

Знайдемо кількість паралельно з'єднаних СЕ.

$$N_{\text{се}} = N_{\text{пр}} \cdot N_{\text{пс}},$$

звідки

$$N_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{се}}}{N_{\text{пс}}} = \frac{1000}{300} \approx 3,33 \text{ шт.}$$

Оскільки вийшло не ціле число, необхідно прийняти один з двох реальних розв'язків:

1) при $N_{\text{пр}} = 3$ шт.:

$$N_{\text{се}} = N_{\text{пр}} \cdot N_{\text{пс}} = 3 \cdot 300 = 900 \text{ шт.},$$

а потужність СБ

$$P_6 = N_{\text{се}} \cdot P_e = 900 \cdot 0,1 = 90 \text{ Вт};$$

2) при $N_{\text{пр}} = 4$ шт.:

$$N_{\text{се}} = N_{\text{пр}} \cdot N_{\text{пс}} = 4 \cdot 300 = 1200 \text{ шт.},$$

а потужність СБ

$$P_6 = N_{\text{се}} \cdot P_e = 1200 \cdot 0,1 = 120 \text{ Вт.}$$

Як бачимо, при $N_{\text{пр}} = 3$ шт., потужність СБ є меншою, ніж задано в умові задачі, а при $N_{\text{пр}} = 4$ шт., потужність СБ є більшою, ніж потрібно. За такої ситуації доцільним є прийняття другого варіанту, оскільки головною умовою є забезпечити потужність 100 Вт (ще й гарантується певний запас потужності на деградацію СЕ, різноманітні паразитні втрати тощо).

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Розв'язати задачі 1-4, за індивідуальними завданнями, згідно варіанту.

Варіанти завдань

До задачі 1

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{ м}$	2,6	2,8	2,5	2,0	2,2	2,5	2,0	3,5	3,0
$t_{\text{ст}}, \text{ }^\circ\text{C}$	40	42	44	45	48	50	46	43	48
$t_{\text{пов}}, \text{ }^\circ\text{C}$	27	26	28	30	32	35	34	31	34

До задачі 2

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
G , кг/год.	100	45	50	110	60	120	70	80	90
t_r , °C	45	50	55	65	55	50	46	45	55
φ , °	47	48	49	50	49	48	47	50	48
Місяць року	2	7	3	8	10	1	4	5	6
Кут нахилу колектора, °	30	60	45	35	60	45	30	35	45
Кількість шарів скла, шт.	2	1	1	2	2	1	1	2	2
t_x , °C	7	6	9	5	6	8	10	3	4
t_c , °C	10	15	13	9	11	12	13	14	15
Діапазон V , м ³	0,06	0,07	0,08	0,065	0,075	0,064	0,069	0,073	0,077
K_p	0,65	0,66	0,67	0,63	0,62	0,68	0,7	0,64	0,63

До задачі 3

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
I_e , А	0,8	0,6	0,7	0,2	0,4	0,5	0,9	0,65	0,25
V_e , В	0,6	0,4	0,2	0,5	0,8	0,7	0,5	0,3	0,9
$N_{пс}$, шт.	50	70	120	75	80	300	125	200	95
$N_{пр}$, шт.	150	330	80	170	230	80	300	75	350

До задачі 4

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P_6 , Вт	200	100	250	300	240	150	350	175	270
V_6 , В	140	160	170	120	150	180	200	145	220
P_e , Вт	0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,55	0,4
V_e , В	0,6	0,4	0,8	0,5	0,7	0,3	0,2	0,75	0,9

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення наступним поняттям: «сонячна установка», «сонячний колектор», «сонячний елемент», «сонячна батарея».
2. Які існують системи сонячного теплопостачання?
3. Конструктивні елементи та принцип дії сонячних пасивних систем теплопостачання?
4. Конструктивні елементи та принцип дії сонячних активних систем теплопостачання?
5. Методи прямого перетворення сонячної енергії в електричну? Їх переваги та недоліки?
6. Принцип дії сонячного елемента?
7. Схеми з'єднань сонячних елементів?
8. Матеріали для виготовлення сонячних елементів?

СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назва роботи.
3. Мета роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи (задачі 1-4), згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Примітка: *Звіт з лабораторної роботи має бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм) з полями: вгорі та внизу – 15 мм; ліворуч – 25 мм; праворуч – 10 мм.*

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки

Мета роботи: Ознайомитись з принципом дії вітроелектричної установки та визначити основні показники її енергоефективності.

ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Загальна інформація. Історія вітроенергетики налічує понад 6000 років. Ще стародавні греки вважали, що легендарний Прометей навчив людей не тільки користуватися вогнем, але й оснастив кораблі вітрилами. До винаходу парової машини основним джерелом енергії в багатьох країнах була саме енергія вітру. Протягом сторіч торговельні й військові вітрильні судна пересувалися за рахунок енергії повітряних потоків, усюди крутилися лопати вітряних млинів.

Вітрова енергія належить до ВДЕ, зобов'язаних своїм походженням діяльності Сонця. Внаслідок нерівномірного нагріву сонячними променями земної поверхні і нижніх шарів земної атмосфери, в приземному шарі, а також на висоті 7-12 км виникають переміщення великих мас повітря, тобто утворюється *вітер*, який несе колосальну кількість енергії. Сила вітру залежить від його швидкості і змінюється в дуже широких межах. Використовуючи навіть декілька відсотків енергії вітру, можна задовольнити значну частину енергетичних потреб людства.

До переваг вітрової енергії перш за все відноситься: доступність, повсюдне поширення і практична невичерпність ресурсів. Джерело енергії не потрібно здобувати і транспортувати до місця споживання: вітер сам надходить до встановленого на його шляху вітрогенератора. Ця особливість вітру надзвичайно важлива для важкодоступних (арктичних, степових, пустельних, гірських тощо) районів, віддалених від джерел централізованого енергопостачання, і для відносно дрібних (потужністю до 100 кВт) споживачів енергії.

Основним недоліком при використанні вітру, як енергетичного джерела, є непостійність (випадковість, стохастичність) його швидкості, а, отже, і енергії в часі. Вітер характеризується не тільки багаторічною і сезонною мінливістю, але також змінює свою активність протягом доби і за дуже короткі проміжки часу (миттєві пульсації швидкості і пориви вітру).

На сьогодні існує 2 основних напрямки використання енергії вітру:

- перетворення енергії вітру в механічну роботу (класичні вітряки, водопідйомні вітроустановки тощо);
- перетворення енергії вітрового потоку в електричну енергію (за допомогою вітроелектричних або вітрогенераторних установок; при цьому електроенергія може видаватись на різних напругах, на постійному або змінному струмі, з акумулюванням і без).

Розглянемо основні поняття, пов'язані з використанням енергії вітру.

Вітроенергетикою називається галузь енергетики, що пов'язана з розробкою методів та засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову та електричну енергію.

Вітроколесо (ВК) – пристрій, який сприймає вітровий потік та перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання. *Лопать ВК* – складова частина ВК, яка створює крутний момент. *Діаметр ВК* – діаметр кола, яке описується найбільш віддаленими від осі обертання ВК частинами лопатей. *Площа, яку обмітає ВК* – геометрична проекція площі ВК, що обертається, на площину, перпендикулярну швидкості вітру. *Швидкохідність ВК* – відношення швидкості кінця лопатей до швидкості вітру.

Вітродвигун – пристрій для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ВК.

Вітроагрегат – система, яка складається з вітродвигуна, трансмісії та приводної машини (генератора, насоса та ін.).

Вітроенергетична установка – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру в інші види енергії.

Вітроелектрична установка (ВЕУ) – установка, яка призначена для перетворення енергії вітру в електричну енергію. *Автономна ВЕУ* – комплекс обладнання, який складається з ВЕУ, системи керування та пристроїв навантаження різного призначення (для електронагріву, опріснення води, заряду акумуляторних батарей та ін.), який зберігає працездатність в робочому діапазоні швидкостей вітру без зв'язку з електричною мережею. *Енергетична характеристика ВЕУ* – залежність вихідної потужності ВЕУ від швидкості вітру. *Номінальна потужність ВЕУ* – максимальне значення вихідної потужності. *Коефіцієнт корисної дії (ККД) ВЕУ* – відношення корисної енергії, яка генерується ВЕУ, до повної енергії вітру, яка проходить через площу поверхні, яку обмітає ВК.

Мінімальна робоча швидкість вітру – мінімальна швидкість вітру, при якій забезпечується робота вітроагрегату з номінальною частотою обертання на холостому ході. *Розрахункова швидкість вітру* – мінімальна швидкість вітру, при якій вітроагрегат починає розвивати номінальну потужність.

Вертикальний профіль вітру – залежність швидкості вітру за висотою в приземному шарі, яка визначається для конкретної місцевості, на основі зміни швидкості вітру на різній висоті, відносно земної поверхні.

На сьогодні існують різні види ВЕУ: роторні, карусельні, барабанні, крильчаті та ін. Проте, головна класифікація здійснюється за розташуванням вісі обертання – *горизонтально-осьові* та *вертикально-осьові*.

Горизонтально-осьовою ВЕУ називають вітродвигун, у якого вісь обертання вітроколеса розташована паралельно або майже паралельно вектору швидкості вітру.

Основними перевагами горизонтально-осьових ВЕУ є:

- можливість самостійного запуску, без допоміжного приводу (за рахунок зміни кута встановлення лопатей);

- досить великі показники коефіцієнту використання енергії вітру та швидкохідності.

Основним недоліком є необхідність орієнтації на вітровий потік.

У *вертикально-осьових ВЕУ* вісь обертання розташована перпендикулярно вектору швидкості вітру.

Вертикально-осьові ВЕУ мають такі переваги:

- незалежність відносно напрямку вітрового потоку;
- достатньо просте виготовлення лопатей;
- можливість кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що обумовлює зменшення вимог щодо міцності та жорсткості лопатей.

До недоліків можна віднести значно менші значення коефіцієнту використання енергії вітру та швидкохідності, ніж у горизонтально-осьових ВЕУ.

За рівнем генерованої потужності ВЕУ поділяють на 4 групи:

- дуже малої потужності (до 5 кВт);
- малої потужності (від 5 до 100 кВт);
- середньої потужності (від 100 кВт до 1 МВт);
- великої потужності (понад 1 МВт).

Вітроустановки кожної групи відрізняються конструктивним виконанням, типом фундаменту, способом орієнтування на вітер, системою регулювання, системою передачі вітрової потужності, способом монтажу, способом обслуговування та ін.

Будова і конструкційні особливості горизонтально-осьових ВЕУ. Найбільшого розповсюдження в більшості країн світу набули горизонтально-осьові крильчаті ВЕУ. На *Рис. 5.1* наведено загальний вигляд типової горизонтально-осьової ВЕУ, а на *Рис. 5.2* – основні елементи головки трилопатевої горизонтально-осьової ВЕУ.

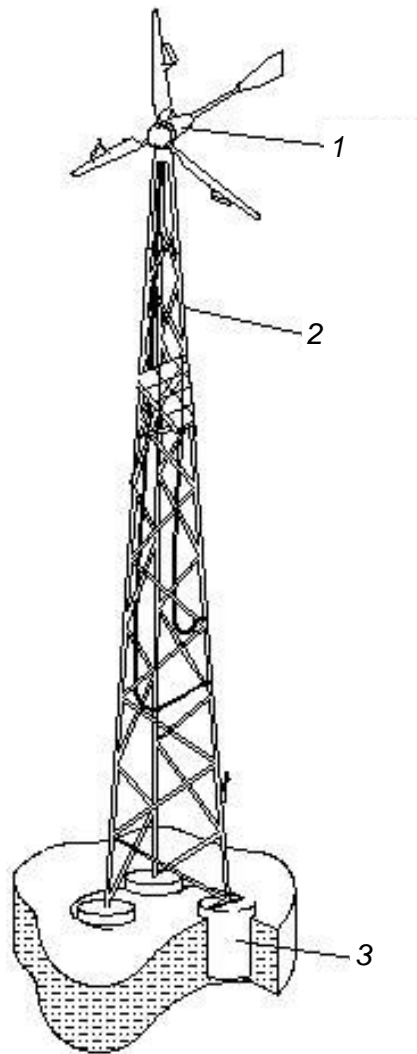
Принцип дії ВЕУ полягає у перетворенні кінетичної енергії вітру в механічну енергію, з подальшим її перетворенням в електричну (за допомогою генератора). Вітровий потік впливає на лопаті ротора, створюючи крутний момент, який передається на ротор електричного генератора.

Докладно конструкція горизонтально-осьової ВЕУ зображена на *Рис. 5.3*.

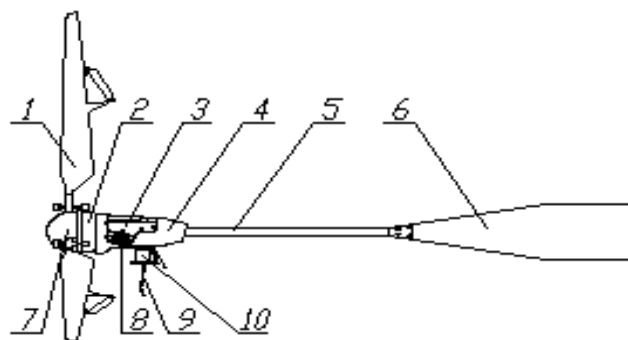
Основні агрегати з'єднані між собою центральною рамою, яка складається з пластин 21. Безпосередньо на рамі встановлюють вісь поворотного пристрою 28, вісь генератора 15, хвостову балку 23, гальмівний важіль 18 та випрямляч 19.

Генератор являє собою торцеву трьохфазну багатополосну електричну машину на постійних магнітах. Статор, що складається з магнітопроводу із обмотками 12 та корпусу 13, нерухомо закріплений на вісі 15. Ротор складається з магнітопроводу 10, магнітів 11 та двох частин корпусу – 9 і 14.

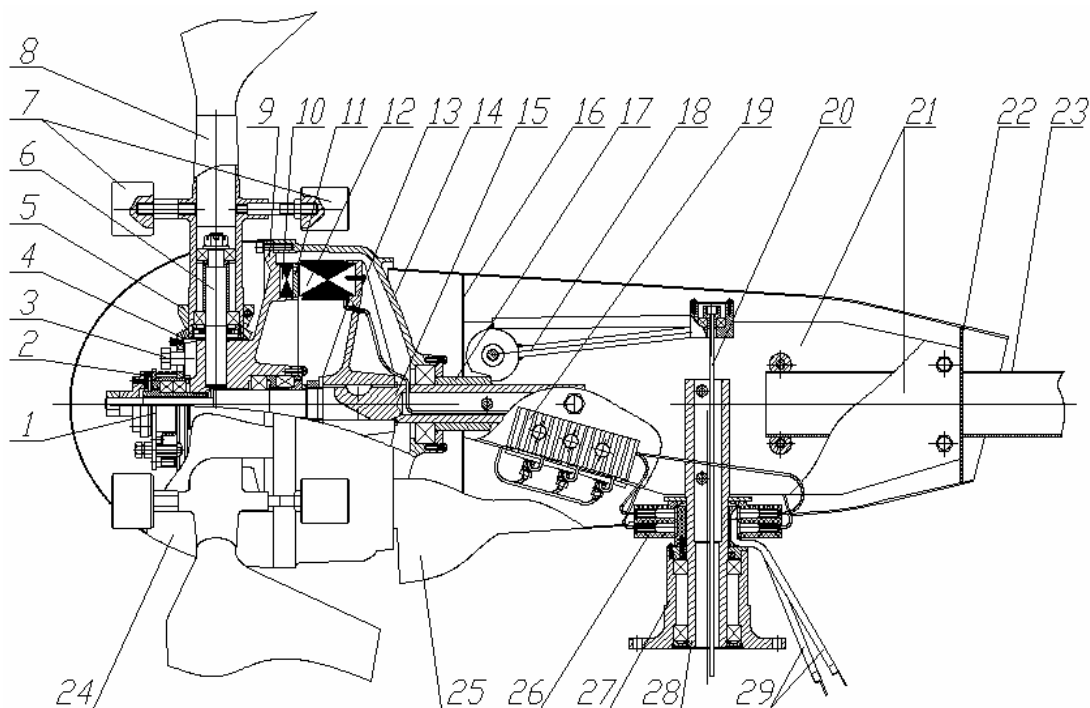
Турбіна складається з лопатей 8, маточини, яка з'єднана з ротором генератора 9, та синхронізатора. Керування турбіною здійснюється шляхом зміни кроку. Для цього кожну лопать повертають навколо осей 6, які зафіксовано за допомогою фіксаторів 3. Синхронізація повороту лопатей здійснюється за допомогою секторів 5 та шестерні 4.



**Рисунок 5.1 – Загальний вигляд типової горизонтально-осьової ВЕУ:
1 – головка; 2 – щогла; 3 – опора**



**Рисунок 5.2 – Основні елементи головки трилопатевої
горизонтально-осьової ВЕУ:
1 – турбіна; 2 – генератор; 3 – центральна рама; 4 – кожух;
5 – хвостова балка; 6 – кіль; 7 – кок (обтічник) турбіни;
8 – випрямляч; 9 – трос флюгерування турбіни;
10 – опорно-поворотний пристрій**



**Рисунок 5.3 – Конструкція горизонтально-осьові ВЕУ
(позначення у тексті)**

Опорно-поворотний пристрій необхідний для закріплення ВЕУ на щоглі, забезпечення її орієнтування на вітер та передачі електроенергії з рухомої головки ВЕУ до нерухомої щогли. Цей пристрій складається з корпусу 27, вісі 28 і струмознімача 26.

Випрямляч 19 призначений для випрямлення струму, що генерується генератором.

Кіль призначений для повороту ВЕУ навколо вертикальної вісі, згідно напрямку вітру.

Кожух захищає вузли ВЕУ від опадів, пилу та сонячних променів.

Технічні характеристики ВЕУ, які наводяться виробниками, не завжди дають змогу визначити кількість електроенергії, яку буде генерувати ВЕУ, особливо в умовах стохастичного характеру зміни вітрового потоку. Тому виникає необхідність розрахувати показники енергетичної ефективності роботи ВЕУ, з урахуванням метеорологічних умов певної місцевості.

Основні показники роботи горизонтально-осьової ВЕУ:

- швидкість вітру на висоті щогли ВЕУ;
- площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом R ;
- потужність вітрового потоку, який проходить за 1 с крізь поперечний переріз площі поверхні, яку обмітає ВК;
- коефіцієнт використання енергії вітру в номінальному режимі роботи;
- швидкохідність;
- вихідна потужність генератора при різних швидкостях вітру;
- крутний момент;

- максимальне навантаження, що діє на ВК;
- потужність ВК при різних швидкостях вітру;
- потужність ВЕУ при різних швидкостях вітру.

Для прикладу розрахунку основних показників горизонтально-осьової ВЕУ візьмемо установку марки «ВЕУ-08». У **Табл. 5.1** наведено її основні технічні характеристики.

Таблиця 5.1

Основні технічні характеристики «ВЕУ-08»

Основні характеристики	
Номінальна потужність, Вт	800
Діаметр вітроколеса, м	3,1
Номінальна частота обертів вітроколеса, об/хв.	310
Кількість лопатей, шт.	3
Номінальна напруга генератора, В	24
Рекомендована висота щогли, м	11-17
Коефіцієнт потужності вітроколеса	0,45
ККД генератора	0,85
Робочий діапазон швидкостей вітру:	
– стартова (початок роботи), м/с	2,5
– номінальна (генератор розвиває потужність 800 Вт), м/с	8,0
– максимальна експлуатаційна, м/с	50,0

Порядок розрахунку:

1. *Збір даних про швидкість вітру в конкретній місцевості.*

Ці дані можна знайти в довідниках або журналах метеоспостережень. Для розрахунку візьмемо дані по Кіровоградському регіону, зібрані протягом річного спостереження на метеостанції.

2. *Визначення швидкості вітру на висоті головки ВЕУ.*

Зазвичай головки ВЕУ, розташовані на висоті від 5 м до 50 м. Збільшення енергетичного потенціалу з висотою пояснюється зростанням швидкості вітру, яка в приземному шарі змінюється за степеневим законом:

$$V = V_{\Phi} \cdot \left(\frac{h}{h_{\Phi}} \right)^{\alpha}, \quad (5.1)$$

де V та V_{Φ} – швидкість вітру на розсіяній висоті h та на стандартній висоті флюгера h_{Φ} ; α – показник степені, який залежить від швидкості вітру.

Для Кіровоградського регіону $\alpha = 0,2$. Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. **Табл. 5.1**), висота щогли даної установки знаходиться в межах від 11 м до 17 м. При розрахунку будемо вважати, що головка ВЕУ-08 розташована на максимальній висоті щогли $h = 17$ м.

За допомогою виразу (5.1) було розраховано швидкості вітру на висоті щогли ВЕУ-08, наведені в **Табл. 5.2**.

Таблиця 5.2

Порівняльна характеристика швидкості вітру на різних висотах

Висота h , м	Швидкість вітру V , м/с													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
17	0	1,1	2,2	3,3	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	10	11,1	12,2	13,3	14,5

3. Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку.

Енергетичний потенціал визначається рівнем питомої потужності вітрового потоку, тобто потужністю, віднесеною до 1 м^2 площі та перпендикулярній напрямку вітру:

$$N(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3, \quad (5.2)$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3 ; V – швидкість вітру, м/с .

В середньому густина повітря становить $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$, але вона відчутно залежить від температури та тиску.

За допомогою виразу (5.2) було отримано залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку $N(V)$ від швидкості вітру V , представлена на **Рис. 5.4**.

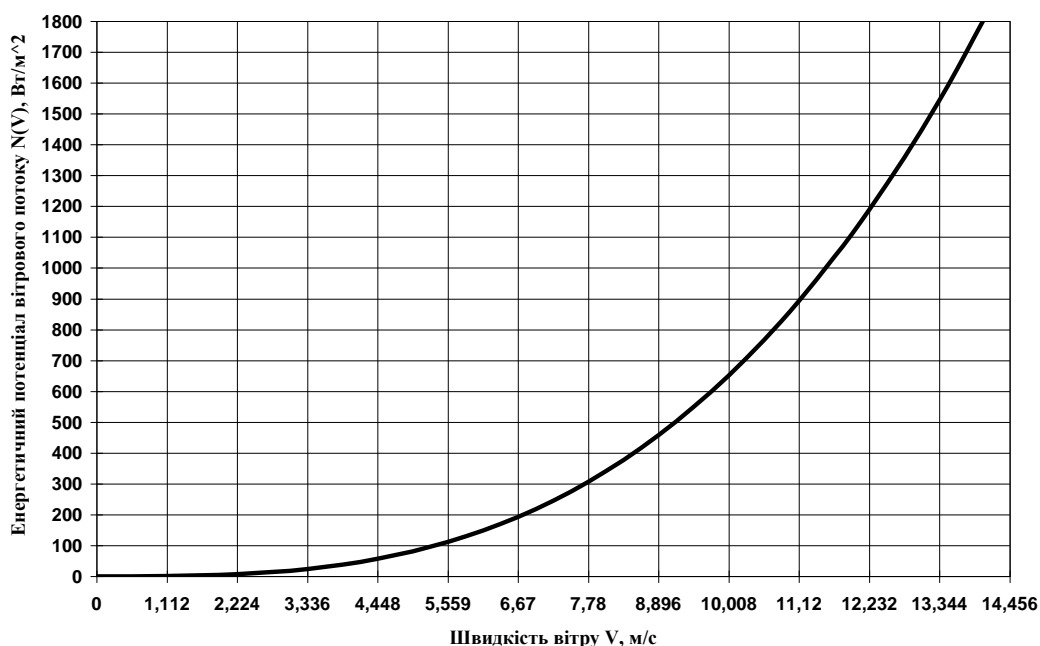


Рисунок 5.4 – Залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

4. Визначення потужності потоку P_{Π} , який проходить за 1 с крізь поперечний переріз, площею F .

Вона визначається за допомогою формули:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2}, \quad (5.3)$$

де $F = \pi \cdot R^2$ – площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом R , м² [для обраної установки $F = 7,54$ м²].

Залежність потужності вітрового потоку P_{Π} від швидкості вітру V , наведено на **Рис. 5.5**.

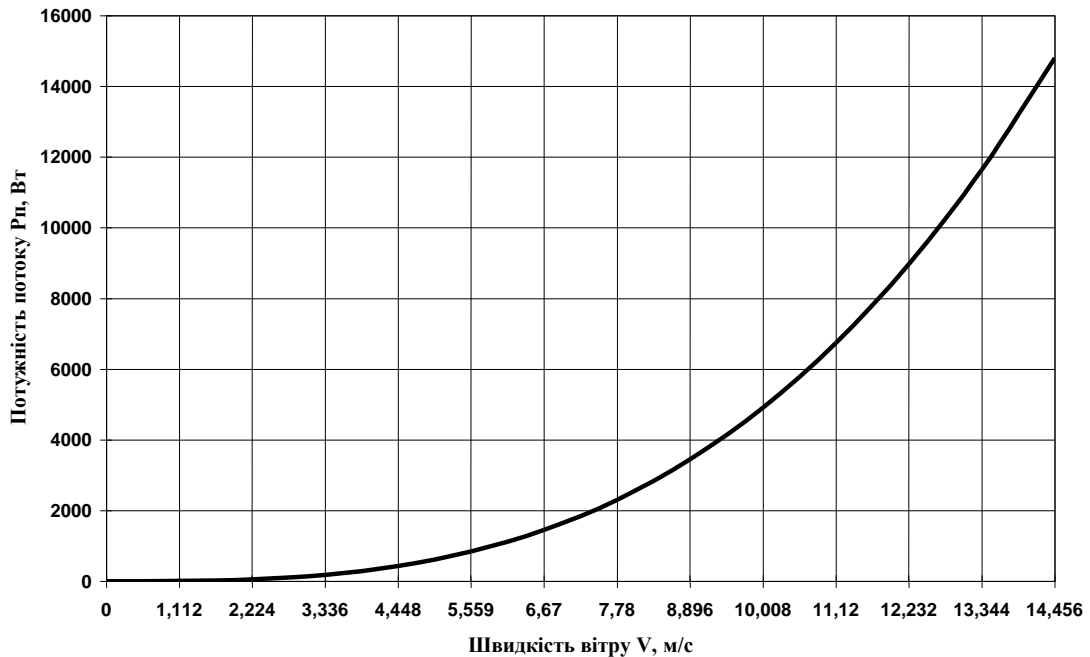


Рисунок 5.5 – Залежність потужності вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

5. *Визначення коефіцієнту використання енергії вітру (або коефіцієнту потужності ВЕУ) ξ .*

Цей параметр характеризує ефективність використання ВК енергії вітру. Він залежить від типу вітродвигуна та режиму його роботи. Його знаходять за допомогою формули:

$$\xi = \frac{P_{\text{ВК}}}{P_{\Pi}}, \quad (5.4)$$

де $P_{\text{ВК}}$ – потужність вітроколеса, Вт.

Максимальна енергія, яку можна отримати від ідеального ВК складає 59 % від кінетичної енергії повітряного потоку (згідно закону Бетца-Жуковського), тобто $\xi_{\text{max}} = 0,59$. Для сучасних горизонтально-осьових ВЕУ коефіцієнт потужності зазвичай знаходиться в діапазоні 0,41-0,49.

Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. **Табл. 5.1**), $\xi = 0,45$.

6. *Визначення швидкохідності вітроколеса Z .*

Швидкохідність ВК визначається за допомогою виразу:

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V}, \quad (5.5)$$

де ω – швидкість обертання вітроколеса, рад/с.

Також Z можна визначити за допомогою довідників. Згідно них, приймаємо $Z = 2$.

7. Визначення вихідної потужності генератора ВЕУ.

Вихідна потужність генератора ВЕУ визначається за допомогою формули:

$$P_{\text{ген}}(V) = P_{\text{ном}} \cdot \bar{P}_{\text{ген}}(V), \quad (5.6)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність генератора [зазвичай дорівнює встановленій потужності], Вт; $\bar{P}_{\text{ген}}(V)$ – коефіцієнт вихідної потужності генератора.

Крім того, для виразу (5.6) існують такі умови:

$$\begin{cases} \bar{P}_{\text{ген}}(V) = 0, & \text{при } V < V_{\text{мін}} \text{ та } V > V_{\text{макс}}; \\ \bar{P}_{\text{ген}}(V) = \bar{P}_{\text{ген}}(V), & \text{при } V_{\text{мін}} \leq V \leq V_{\text{макс}}; \\ \bar{P}_{\text{ген}}(V) = 1, & \text{при } V_{\text{ном}} \leq V \leq V_{\text{макс}}. \end{cases} \quad (5.7)$$

Згідно даних **Табл. 5.1**, умови (5.7) можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \bar{P}_{\text{ген}}(V) = 0, & \text{при } V < 2,5 \text{ та } V > 50; \\ \bar{P}_{\text{ген}}(V) = \bar{P}_{\text{ген}}(V), & \text{при } 2,5 \leq V \leq 50; \\ \bar{P}_{\text{ген}}(V) = 1, & \text{при } 8 \leq V \leq 50. \end{cases} \quad (5.8)$$

Коефіцієнт вихідної потужності генератора $\bar{P}_{\text{ген}}(V)$ розраховують за допомогою виразу:

$$\bar{P}_{\text{ген}}(V) = \frac{N(V)}{P_{\text{ген.пит}}} \cdot \xi \cdot \eta, \quad (5.9)$$

де $N(V)$ – питома потужність вітрового потоку, Вт/м²; $P_{\text{ген.пит}}$ – питома потужність генератора, Вт/м²; η – ККД перетворення механічної енергії вітроколесом в електричну, або ККД генератора [зазвичай $\eta = 0,80-0,90$].

Питому потужність генератора знаходять за допомогою співвідношення:

$$P_{\text{ген.пит}} = \frac{P_{\text{ном}}}{F}. \quad (5.10)$$

Підставивши відповідні значення у вирази (5.6), (5.9), (5.10) та врахувавши умови (5.8), одержимо залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру, яка наведена на **Рис. 5.6**.

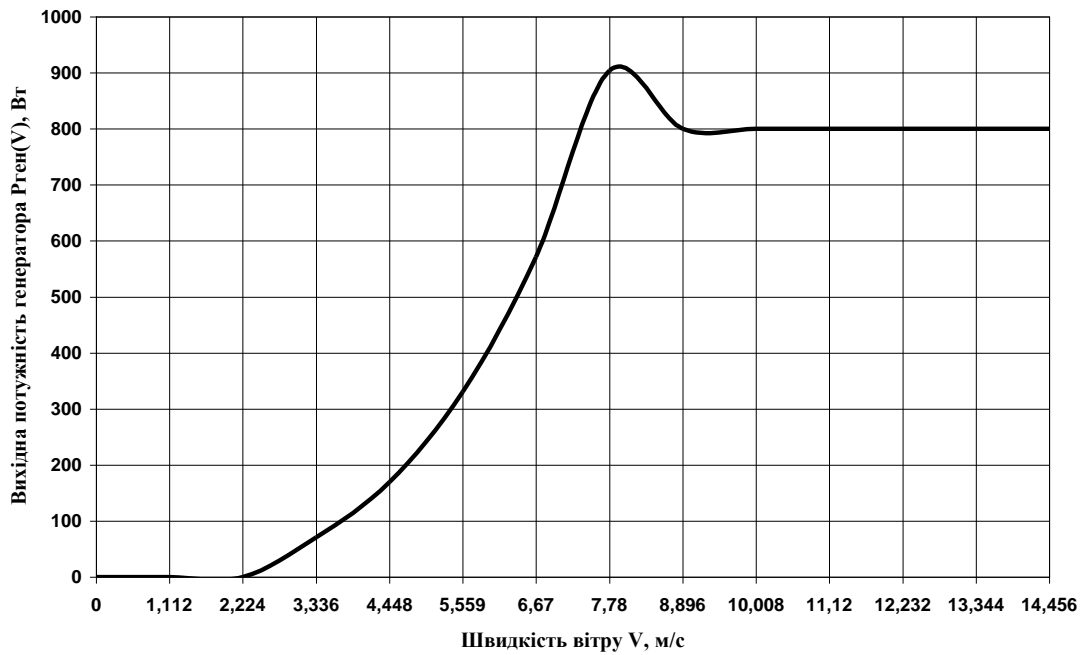


Рисунок 5.6 – Залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

8. Визначення крутного моменту M на вихідному валу ВК.

Вираз для знаходження крутного моменту, має наступний вигляд:

$$M = \frac{\xi \cdot \rho \cdot F \cdot R \cdot V^2}{2 \cdot Z} \quad (5.11)$$

9. Визначення максимального крутного моменту M_{\max} .

Максимальний крутний момент розраховують за допомогою наступного виразу:

$$M_{\max} = W_{\max} \cdot R, \quad (5.12)$$

де $W_{\max} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^2}{2}$ – максимальне навантаження, яке діє на ВК.

На **Рис. 5.7** наведено залежність максимального крутного моменту ВК M_{\max} від швидкості вітру.

10. Визначення потужності вітроколеса $P_{\text{ВК}}$.

Вона визначається за допомогою наступного виразу:

$$P_{\text{ВК}} = \xi \cdot P_{\text{П}}, \quad (5.13)$$

11. Визначення потужності горизонтально-осьової ВЕУ.

Потужність горизонтально-осьової ВЕУ розраховують за наступною формулою:

$$P_{\text{ВЕУ}} = \eta \cdot P_{\text{ВК}}. \quad (5.14)$$

Врахувавши вираз (5.3), формулу (5.14) можна записати у вигляді:

$$P_{\text{BEY}} = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \xi \cdot F \cdot V^3. \quad (5.15)$$

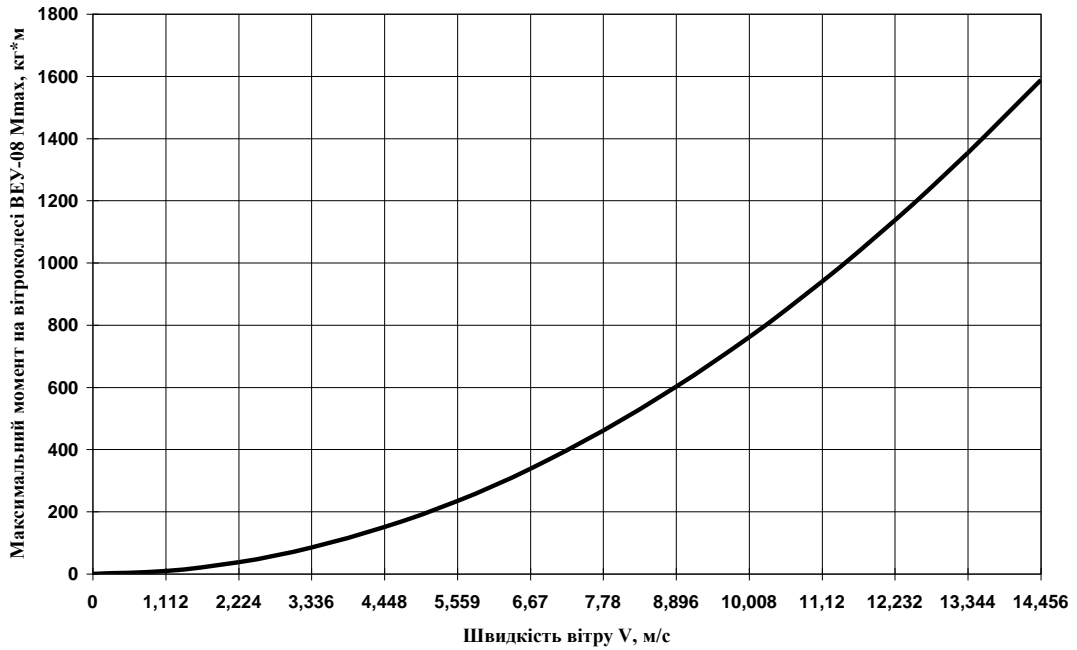


Рисунок 5.7 – Залежність максимального крутного моменту вітроколеса BEY-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

На **Рис. 5.8** наведено залежність потужності P_{BEY} BEY-08 від швидкості вітру V .

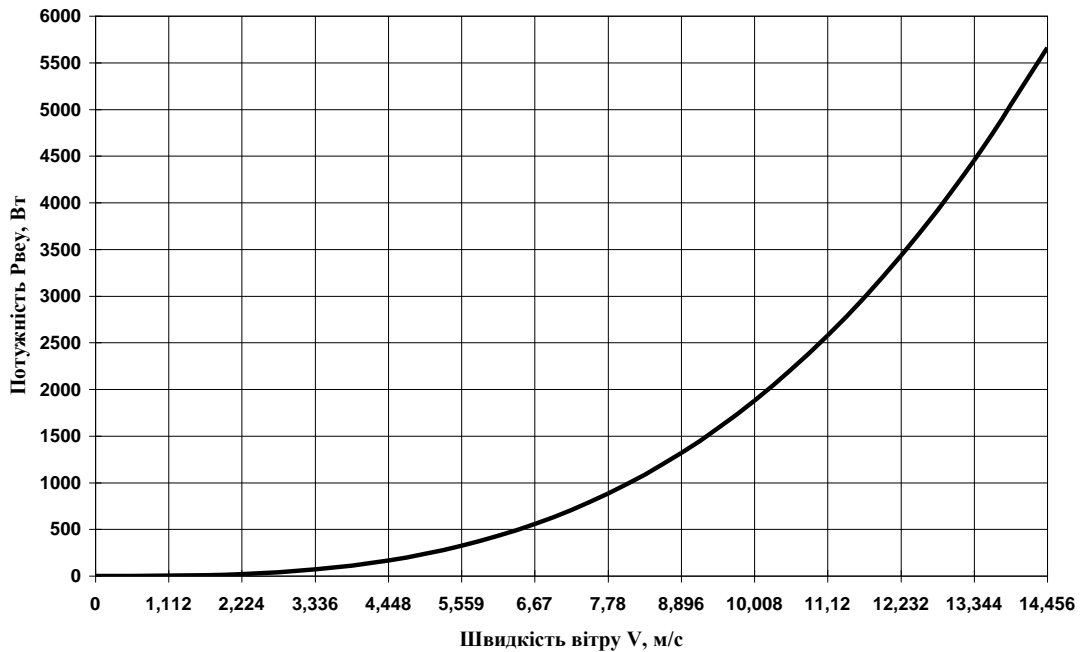


Рисунок 5.8 – Залежність потужності BEY-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Визначити основні показники роботи горизонтально-осьової ВЕУ, згідно варіанту.
2. Побудувати графіки залежностей.
3. Зробити висновки.

Примітка: Для зручності розрахунків та побудови графіків залежностей рекомендується використовувати програмний пакет Microsoft Office Excel або інший подібний редактор.

Варіанти завдань

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	АВЕУ-6-2	АВЕУ-6-4	ВЕС-1-5	ВЕ-2М	ФА-4.4/400	«Пчела»	ФА-6.7/1000	WG-3000	ВЕУ-10
Діаметр вітроколеса, м	6	6	5	2	4,4	1,2	6,7	4,5	12
Кількість лопатей, шт.	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Номінальна частота обертання, об./хв.	210	210	245	600	230	800	145	220	120
Стартова швидкість вітру, м/с	4	4	4	3,5	2,5	3	2,5	2	4,5
Номінальна швидкість вітру, м/с	10	10	8	9	8	8	8	10	9
Максимальна швидкість вітру, м/с	40	40	50	50	50	35	50	60	25
Номінальна потужність, Вт	2000	4000	1000	100	1600	150	4000	3000	10000
Номінальна напруга, В	240	240	127	36	48	12	96	240	240
Діапазон швидкостей вітру, м/с	8...20	4...36	2...28	6...25	2...19	5...25	0...22	8...35	7...21

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення наступним поняттям: «вітроагрегат», «вітроенергетична установка», «вітроелектрична установка». В чому відмінність між ними?
2. Переваги та недоліки горизонтально-осьової ВЕУ та ВЕУ з вертикальною віссю обертання?
3. Конструкція горизонтально-осьової ВЕУ?
4. Принцип дії горизонтально-осьової ВЕУ?
5. Що називають номінальною, мінімальною та розрахунковою швидкістю

- вітру?
6. Що називають вертикальним профілем вітру?
 7. За яким законом змінюється швидкість вітру в приземному шарі?
 8. Назвіть основні показники енергоефективності горизонтально-осьової ВЕУ.

СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Примітка: *Звіт з лабораторної роботи має бути виконаний на аркушах формату А4 (297×210 мм) з полями: згорі та внизу – 15 мм; ліворуч – 25 мм; праворуч – 10 мм.*

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Активні будинки: ті, що виробляють енергію // Платформа розвитку міст : веб-сайт. URL: <http://urbanua.org/ideyi-i-proekty/koncepciyi-i-strategiyi/132> (дата звернення: 04.01.2023).
2. Білик О. А. Стан і тенденції розвитку пасивного будівництва в Україні та світі. *Агросвіт*. 2016. № 20. С. 24-29. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/agrosvit_2016_20_5 (дата звернення: 19.12.2022).
3. Відновлювані джерела енергії : монографія. / за заг. ред.: С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновл. енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
4. Вікіпедія. Вільна енциклопедія : веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/> (дата звернення: 09.01.2023).
5. Гідроенергетика: курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спец. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / уклад.: В. І. Будько, П. Ф. Васько, С. Т. Пазич (1 файл : 13,6 Мбайт). Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2023. 205 с. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/804649b8-424b-407a-be17-c6487889e69f/download> (дата звернення: 16.01.2023).
6. Голик О. П., Жесан Р. В., Босов Є. П., Крепак Н. С. Розрахунок основних показників роботи горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація* : зб. наук. праць Кіровоградського нац. техн. ун-ту. 2008. Вип. 21. С. 224-233.
7. Голик О. П., Жесан Р. В., Волков І. В., Чеканов О. О., Березюк І. А. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії : навч. посіб. Ч. 1. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. 192 с.
8. Голик О. П., Жесан Р. В., Зубенко В. О. Визначення аналітичного виразу імовірності надходження інтенсивності сонячного випромінювання. [Електронний ресурс]. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Технічні науки*. 2015. Вип. 15. Т. 2. С. 175-180.
9. Довідник сільського електрика / за ред. В. С. Олійника. 3-є вид., перероб. і доп. Київ : Урожай, 1989. 264 с.
10. Драганов Б. Х. Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. Киев : Выща школа. Головное изд-во, 1988. 56 с.
11. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі : навч. посіб. Львів : «Магнолія 2006», 2008. 188 с.
12. Енергія сонця // Держенергоефективності : веб-сайт. URL: <https://www.sae.gov.ua/uk/ae/sunenergy> (дата звернення: 01.02.2023).
13. Єфремова О. О., Коржик О. М., Рибак В. В. Основи гідрології та охорона поверхневих вод : навч. посіб. Львів : «Новий світ-2000», 2019. 139 с.

14. Загальна гідрологія / В. К. Хільчевський та ін. : підруч. Київ : ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с.
15. Загальна гідрологія : підруч. / С . С. Левківський та ін. Київ : Фітосоціоцентр, 2000. 264 с.
16. Колонтаєвський Ю. П., Тугай Д. В., Котелевець С. В. Фотоенергетика : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
17. Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» для студ. 4 курсу спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. / [уклад.: Р. В. Жесан, О. П. Голик]. Ч. І. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 63 с.
18. Паранич С. Ю. Використання енергії Сонця : навч. посіб. Чернівці : Рута, 2002. 47 с.
19. Півняк Г., Шкрабець Ф., Нойбергер Н., Циценков Д. Основи вітроенергетики : підруч. Дніпропетровськ : НГУ, 2015. 335 с.
20. Правила улаштування електроустановок : вид. офіц. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
21. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства. 2-е вид. перероб. та доп. Київ : Вища школа. Головне вид-во, 1983. 343 с.
22. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» : розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 серп. 2017 року. № 605-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text> (дата звернення: 23.02.2023).
23. Савчук А. Й. Нетрадиційні способи та засоби видобутку електроенергії : навч. посіб. Ч. 1. Чернівці : Рута, 2002. 58 с.
24. Самохвалов В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження : навч. посібник. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 224 с.
25. Синєглазов В. М., Зеленков О. А., Аскеров Ш. І., Дмитренко Б. І. Відновлювальна енергетика : навч. посіб. Київ : НАУ, 2015. 278 с.
26. Сінчук І. О., Бойко С. М., Лосіна К. І., Луценко І. А., Ткаченко Г. І. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : навч. посіб. / за ред. О. М. Сінчука. Кременчук : Вид-во ПП Щербатих О. В., 2013. 192 с.
27. Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г., Серебренніков С. В., Петрова К. Г. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. Кіровоград. нац. техн. ун-т. Черкаси : Чабаненко Ю. 2015. 316 с. URL: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/5881> (дата звернення: 29.12.2022).
28. Степаненко Д. С., Тарусова Н. В., Мацюра О. В., Данченко О. О. Моделювання і прогнозування стану довкілля : навч. посіб. Мелітополь : МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2011. 180 с.

29. Ткачук С. Г. Гідравліка. Гідрологія. Гідрометрія : підруч. Київ : Кафедра, 2013. 392 с.
30. Філіпович Ю. Ю. Енергоресурси та гідрологічні основи гідроенергетики. Практикум : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2013. 196 с.
31. Щербина О. М. Енергія для всіх : техн. довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії. Вид. 4-е, допов. і перероб. Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2007. 340 с.
32. Rauschenbach H. S. Solar Cell Array Design Handbook: The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion. New York : Van Nostrand Reinhold Co., 1980. 549 p.
33. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. 2nd ed. London and New York : Routledge Taylor & Francis Group, 2006. 601 с.

ДЛЯ ПОТАТОК

ДЛЯ ПОТАТОК

Навчально-методичне видання

**ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ
ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ**

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання лабораторних робіт

Для студентів денної та заочної форм навчання за спеціальністю

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: Голик О. П.;
Жесан Р. В.;
Зубенко В. О.

