

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ЕНЕРГЕТИКА

Навчальний посібник

Підготовлено у рамках міжнародного проекту
HuSkRoUa/1702/6/1/0014
«New energy solutions in the Carpathian region (NeSiCa)»

Ужгород – 2023

УДК 620.9(075.8):621.311

Р 44

Ресурсозберігаюча енергетика / В.П. Іваницький, О.В. Лукша, І.І. Чичура, Р.О. Мешко. Ужгород: УжНУ, 2023. 152 с.

У виданні викладено матеріали щодо природи та особливостей використання відновлювальних джерел енергії. Висвітлені загальні питання екологічного впливу та економічної доцільності ресурсозберігаючої енергетики. Розглянуто закономірності розвитку ресурсозберігаючої енергетики у світі і в Україні. Проаналізовано фізичні та технічні основ застосування відновлювальних джерел для генерації теплової та електричної енергії. Досліджено принципи роботи і позитивні та негативні сторони різних класів енергетичних установок, їх структурні схеми, параметри, характеристики і конструкції. Значна увага приділена умовам підвищення ефективності функціонування та коефіцієнта корисної дії сучасних генеруючих енергетичних станцій на основі відновлювальних джерел. Розглянуті основні режими роботи, базові принципи керування і регулювання параметрів різних енергетичних установок. Викладено матеріали щодо систем акумуляування теплової та електричної енергії, отриманої з відновлювальних джерел.

Підручник орієнтовано на широке коло студентів, які навчаються за різними технічними спеціальностями.

Автори:

Іваницький Валентин Петрович, проф., док. фіз.-мат. наук, проф. кафедри приладобудування ДВНЗ «УжНУ»;

Лукша Олег Васильович, доц., канд. фіз.-мат. наук, доц. кафедри електронних систем ДВНЗ «УжНУ»;

Чичура Ігор Іванович, доц., канд. фіз.-мат. наук, завідувач кафедри приладобудування ДВНЗ «УжНУ»;

Мешко Роман Олексійович, ст. викл. кафедри приладобудування ДВНЗ «УжНУ».

Рецензенти:

Жигуц Ю.Ю., професор, доктор технічних наук, зав. кафедри технології машинобудування ДВНЗ «УжНУ»;

Станкевич-Волосянчук О.І., головний еколог Громадської організації «Екосфера», експерт Всеукраїнської мережі експертів регіонального та місцевого розвитку «Регіонет».

*Рекомендовано до друку Вченою радою ДВНЗ «УжНУ»
(протокол №7 від 20.06.2023 р.)*

ISBN 978-617-8276-63-8

© ДВНЗ «УжНУ», 2023

ЗМІСТ

ВСТУП	7
ЧАСТИНА I. ОСНОВИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	
РОЗДІЛ 1. Енергетичні ресурси, екологія та енергозбереження	9
1.1. Основні терміни	9
1.2. Світове енергоспоживання та його наслідки	11
1.3. Екологічні наслідки від використання традиційних джерел енергії	12
1.4. Енергетика України та її вплив на глобальну екологію	14
1.5. Основні види заходів енергозбереження	16
1.6. Базові джерела енергії або енергетичні ресурси Землі	17
1.7. Структура світових енергетичних ресурсів та їх властивості	19
1.8. Динаміка змін енергоспоживання та структури енергетичних ресурсів	21
РОЗДІЛ 2. Стимулювання ресурсозберігаючої та відновлювальної енергетики в Україні	25
2.1. Основні галузі відновлювальної енергетики в Україні	25
2.2. Основні механізми державної підтримки відновлювальної енергетики на Україні	27

РОЗДІЛ 3. Відновлювальне паливо, його види, енергетична якість та енергетична якість	30
3.1. Викопне паливо	30
3.2. Біопаливо. Основні терміни і визначення	31
3.3. Загальна характеристика біопалива	31
3.4. Термохімічні методи отримання біоенергії	32
3.5. Біохімічні методи отримання біопалива	36
РОЗДІЛ 4. Сонячна енергія	40
4.1. Сонце та його енергія	40
4.2. Галузі використання сонячної енергії	44
4.3. Причини повільного розвитку сонячної енергетики ...	46
РОЗДІЛ 5. Рух сонця по небесній сфері і сонячна енергетика	47
5.1. Сонячна енергетика і астрономія	47
5.2. Пряме та розсіяне сонячне випромінювання	53
РОЗДІЛ 6. Математична астрономічно-географічна модель орієнтації сонячних елементів	56
6.1. Часові пояси	56
6.2. Поправки до визначення місцевого сонячного часу	58
6.3. Визначення часового кута орієнтації сонячних елементів	64
6.4. Орієнтація системи за висотою та за азимутом Сонця	66
6.5. Розрахунки моментів сходу та заходу Сонця	70
6.6. Технічні кути орієнтації сонячних елементів	71

ЧАСТИНА II. ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

РОЗДІЛ 7. Сонячні колектори теплової енергії	75
7.1. Конструкції технічних сонячних колекторів	75
7.2. Ефективність використання сонячних колекторів	78
7.3. Сонячні ставки	81
РОЗДІЛ 8. Теплові насоси	82
8.1. Основні терміни і визначення	82
8.2. Загальна характеристика низько потенціальних джерел теплової енергії та технічних систем їх використання	83
8.3. Розвиток теплових насосів	88
8.4. Принципи функціонування ТН та загальна схема систем теплопостачання на їх основі	90
8.5. Основні типи теплонасосних систем та базові вимоги до них	94
8.6. Обґрунтування оптимальної структури теплонасосної системи	96
РОЗДІЛ 9. Сонячні електростанції	100
9.1. Електростанції із сонячними концентраторами	100
9.2. Напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі та фізичні процеси в них	103
9.3. Технічна структура та основні типи фотоелектричних перетворювачів	107
9.4. Вольт-амперна характеристика фотоелектричних перетворювачів	110
9.5. Сонячні батареї та електростанції	113

РОЗДІЛ 10. Вплив умов експлуатації на ефективність роботи сонячних електростанцій	120
10.1. Фактори ефективності функціонування сонячних електростанцій	120
10.2. Вплив способу орієнтації сонячних модулів	123
10.3. Поєднання сонячних батарей із сонячним колектором ..	127
РОЗДІЛ 11. Вітрова енергетика	128
11.1. Основні терміни і визначення	128
11.2. Фізичні основи використання енергії вітру	128
11.3. Вітроелектричні установки	131
11.4. Конструкція і технічні особливості основних складових частин вітроелектричних установок	134
11.5. Генератори вітроелектричних установок	137
11.6. Фізико-технічні параметри функціонування вітрового колеса	138
11.7. Узгодження характеристик вітрового колеса і генератора	140
11.8. Структура систем електроживлення на основі вітроелектричних установок	148
ЧАСТИНА ІІІ. ЕЛЕКТРОНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	
РОЗДІЛ 12. Електроніка електроенергетичних систем	144
12.1. Контролери заряду та розряду акумуляторних батарей	145
12.2. Перетворювачі постійного струму	148
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	150

ВСТУП

Загальноприйнятою на сьогодні є думка, що більшість проблем людства в майбутньому можуть бути розв'язані, якщо на всій земній кулі буде вирішено основну проблему – енергетичну [1]. Розв'язання цієї глобальної задачі тісно пов'язане зі збереженням на всій земній кулі життєвого простору, комфортного для проживання наступних поколінь людей. У кінцевому рахунку це вимагає встановлення гармонії між розвитком всього людства та динамікою змін стану навколишнього середовища і умов життя населення всіх країн світу. На сьогодні визначальним аспектом вирішення таких масштабних світових проблем є енергозбереження. У зв'язку з цим, ресурсозберігаюча енергетика стає одним з головних пріоритетів економічної політики більшості держав світу, у тому числі й України.

Декларація ООН з проблем оточуючого людину середовища вказує: "Непоновлювані ресурси Землі повинні розроблятися таким чином, щоб забезпечити їх захист від виснаження у майбутньому та щоб зиск від їх розробки отримувало все людство". Таким чином, у наш час ефективне використання енергії та стан навколишнього середовища є суттєвими факторами для сталого розвитку як на світовому рівні, так і на рівні окремих країн [1]. Тому поєднання енергозбереження й охорони довкілля стає невід'ємною частиною сталого розвитку суспільства на місцевому, загальнонаціональному, субрегіональному та глобальному рівнях. І з точки зору енергетики тут виділяються два основні напрямки: суттєве підвищення ефективності використання вже існуючих джерел енергії та інтенсивна впровадження відновлювальних і екологічно безпечних енергетичних ресурсів.

Важливість і актуальність раціонального використання енергетичних ресурсів мають бути усвідомлені сьогодні усіма, як на рівні світових політиків, так і на рівні кожного мешканця Землі. Відправною точкою активної участі нашої держави в цьому процесі став Закон України «Про енергозбереження», прийнятий у 1994 році. Цей Закон визначає правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для всіх її громадян.

Зрозуміло, що основний тягар розв'язання окреслених вище проблем "ляже на плечі" тих поколінь, які сьогодні лише вступають у доросле життя, навчаючись у школах, коледжах та вищих навчальних закладах. І молодим людям слід чітко розуміти, що енергозбереження сьогодні визначає їхнє комфортне життя в майбутньому і що енергозбереження пов'язане з усіма без винятку сферами життя кожного з нас [1].

ЧАСТИНА I

ОСНОВИ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ, ЕКОЛОГІЯ ТА ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

1.1. Основні терміни

Кожній освіченій людині має бути зрозумілою сучасна "мова" енергозбереження. Її "абеткою" є основні поняття, викладені у "Законі про енергозбереження" нашої країни. Наведемо ті із них, які є актуальними для нашої дисципліни.

Енергозбереження – будь-яка діяльність, яка спрямована на раціональне використання енергетичних ресурсів та економне витрачання первинної та перетвореної енергії в національному господарстві країни.

Енергозберігаюча політика – адміністративне, правове, фінансове та економічне регулювання процесів видобування, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу та використання енергетичних ресурсів з метою їх раціонального та економного використання.

Енергетичні ресурси – сукупність всіх видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві країни.

Первинні види енергії – ті форми енергії у природі, які не були перетворені за допомогою різних технічних процесів (випокне паливо, енергія Сонця та інше).

Види перетвореної енергії – всі види енергії, які були отримані у результаті переробки первинної енергії (наприклад, теплова енергія, електрична енергія).

Вторинні енергетичні ресурси – енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних процесах і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших процесів.

Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії – джерела, які постійно існують або періодично з’являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси.

Раціональне використання енергетичних ресурсів – досягнення максимальної енергетичної віддачі від всіх наявних енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технологій з одночасним зниженням техногенного впливу людської діяльності на навколишнє природне середовище.

Енергетичний аудит – визначення ефективності використання енергетичних ресурсів та розроблення рекомендацій щодо її поліпшення.

Енергозберігаючі заходи – будь-які заходи, спрямовані на впровадження у життя таких умов, технологій, продукції та обладнання, які зменшують енергетичні втрати.

Менеджмент з енергозбереження – система управління, спрямована на забезпечення раціонального використання споживачами енергетичних ресурсів.

Ресурсозберігаюча енергетика – енергетична галузь, яка спеціалізується на отриманні та використанні енергії з відновлюваних джерел енергії.

Умовне паливо – одиниця вимірювання теплової енергії, яку використовують для порівняння різних видів палива (нафти, газу, вугілля тощо). У якості умовного палива в Україні використовують енергетичний еквівалент

від спалювання 1 кг кам'яного вугілля, який рівний 29,3 МДж або 8,14 кВт·год. Міжнародним енергетичним агентством (ІЕА) за одиницю умовного палива прийнято енергетичний еквівалент від спалювання 1 тони нафти, який дорівнює 41,87 ГДж або 11,63 МВт·год.

Зелений тариф – економічний механізм, спрямований на заохочення генерації електроенергії ресурсозберігаючою енергетикою.

Киотський протокол – міжнародна угода про обмеження викидів в атмосферу парникових газів. Головна мета угоди: стабілізувати рівень концентрації парникових газів в атмосфері на рівні, який не допускав би небезпечного антропогенного впливу на кліматичну систему планети.

Енергетична хартія – міжнародна угода, спрямована на подолання економічного розділення європейського континенту. Договір Енергетичної Хартії грає важливу роль при створенні правового поля для глобальної енергетичної безпеки на основі відкритих, конкурентних ринків і принципів стійкого розвитку.

1.2. Світове енергоспоживання та його наслідки

Характерною особливістю технічної діяльності людства у другій половині ХХ і на початку ХХІ століть є швидке зростання енергоспоживання. На сьогодні світовий річний рівень споживання енергії наближається до величини 20 ТВт (20 000 000 000 000 Вт!) [1]. За оцінками вчених, потреби людства в енергії у ХХІ столітті будуть подвоюватися кожні 20 - 30 років. Такі тенденції світового розвитку тісно пов'язані з рядом соціально-економічних причин та наслідків:

- швидке зростання світової економіки в цілому (за прогнозами до 4 разів до 2050 р);

- різке економічне зростанням країн, які розвиваються (Китай, Індія, частина Африки);

- помітне зростання населення планети (за прогнозами до 10 – 11 мільярдів до 2050 р);

- неможливість задовольнити в найближчому майбутньому подальше зростання світового енергоспоживання тільки за рахунок використання викопних джерел енергії;

- більшість видів викопного палива, поклади яких досить великі, не задовольняють сучасним екологічним вимогам;

- «чисті» способи використання викопних видів палива ведуть до суттєвого подорожчання енергії;

- розвиток атомної енергетики є небажаним внаслідок високої небезпеки техногенних катастроф та серйозних проблем з утилізацією радіоактивних відходів;

- теплове забруднення Землі, яке призводить до незворотних змін світового клімату;

- екологічне забруднення Землі, яке вже сьогодні можна вважати кризовим внаслідок високої концентрації в повітрі оксидів азоту і сірки, вуглекислого газу, частинок пилу, радіоактивних ізотопів тощо.

1.3. Екологічні наслідки від використання традиційних джерел енергії

У результаті різкого збільшення обсягів світового виробництва енергії все чіткіше й інтенсивніше проявляються риси його глобального впливу на екологію нашої планети і на кожну країну. Основними із них є [1]:

- деградація озонового шару;
- глобальне потепління;
- танення льодовиків та вічної мерзлоти;
- підвищення рівня морів та океанів;

- зміна морських течій;
- збільшення частоти появи екстремальних метеорологічних явищ (різке зростання кількості штормів, ураганів, сильних опадів, періодів жару) (рис. 1.1 та рис. 1.2);
- збільшення частоти паводків;
- скорочення біологічного різноманіття Землі і втрата її біосфери;
- нестача продуктів харчування у багатьох країнах;
- поширення епідемій;
- збільшення кількості військових конфліктів та біженців;
- збільшення затрат коштів на компенсацію втрат за рахунок погоди, метеорологічних явищ, епідемій, соціальних та політичних катаклізмів.



Рис. 1.1. Ураган пилу поглинає місто



Рис. 1.2. Величезні викиди диму зумовлюють часті смоги

Зрозуміло, що якщо не приймати термінових мір, то екологічна катастрофа, раніше чи пізніше, охопить всю нашу планету (рис. 1.3).



Рис. 1.3. Яку долю планеті Земля ми готуємо на майбутнє?

1.4. Енергетика України та її вплив на глобальну екологію

Структура енергетичних ресурсів України на сьогодні описується такими базовими показниками річного виробництва енергії [1]:

- атомні електростанції – біля 85 млрд кВт-год;
- теплові електростанції – біля 50 млрд кВт-год;
- теплові енергетичні центри та когенераційні установки теплової енергії – біля 12 млрд кВт-год;
- гідроелектростанції – біля 8 млрд кВт-год;
- сонячні та вітрові електростанції – біля 3 млрд кВт-год;
- мала гідроенергетика – біля 2 млрд кВт-год;
- інші енергетичні блок-станції – біля 1,5 млрд кВт-год.

У сумі це складає біля 1 % від світового виробництва енергії. При цьому Україна займає біля 0,5 % всієї світової території і її населення складає теж біля 0,5 % світової популяції людства. Із цього можна зробити висновок, що наша країна повинна вирішувати глобальні енергетичні та екологічні проблеми світу на рівні із всіма іншими державами [1].

Для порівняння, світова частка виробництво енергії в США перевищує 20 %, а частка її території складає 6 %. Зрозуміло, що дана країна має вносити суттєво вагоміший вклад у вирішення окреслених нами глобальних світових проблем.

Таким чином, як для всього світу, так і для України характерним на сьогодні є обмеженість енергетичних ресурсів, висока вартість різних видів енергії та негативний вплив на навколишнє середовище всіх процесів з її виробництва (рис. 1.4). Критичний аналіз всіх цих факторів дозволяє зробити дуже важливий для сьогоднішнього висновок: розумніше знижувати споживання енергії та забезпечувати її більш ефективне використання, ніж постійно збільшувати її виробництво в нашій країні [1].



Рис. 1.4. Наймасштабніша за впливом на навколишнє середовище аварія на Чорнобильській ядерній електростанції

1.5. Основні види заходів енергозбереження

Необхідність підвищення рівнів енергозбереження та усунення екологічних проблем буде вимагати від багатьох країн (насамперед, від індустріально розвинених) значних економічних витрат і радикального зниження рівня використання вуглеводневої викопної сировини. У результаті, на сьогодні світова енергетика зіткнулася з нагальною необхідністю різкої зміни структури джерел енергії, які широко використовуються в народному господарстві та в муніципальному секторі. У таких умовах більшість аналітичних досліджень передбачає такі основні напрямки розвитку енергетики майбутнього [1]:

- значне (до 50 %) збільшення частки нетрадиційних відновлюваних джерел енергії в багатьох країнах протягом наступних 20-30 років;
- різке зменшення різних витрат на впровадження нових енергогенеруючих потужностей;
- стійке й постійне підвищення ефективності використання всіх видів енергії, незалежно від виду джерела її отримання;
- впровадження енергозберігаючих та енергоефективних технологій у всі сфери суспільного та особистого життя.

Серед різноманітних заходів енергозбереження можна виділити основні їх напрямки [1].

Економічні – введення денного і нічного тарифів; оплата енергії, яка виробляється відновлювальними джерелами енергії за «зеленим» тарифом; введення прогресивної тарифікації «більше споживаєш – більше сплачуєш»; державні дотації на впровадження енергоефективних технологій.

Правові – ратифікація міжнародних угод і конвенцій в галузі енергозбереження; розробка і впровадження національних програм з енергозбереження.

Організаційні – встановлення різного типу лічильників; використання зимового і літнього часу; економія електроенергії.

Наукові.

Технічні – використання пристроїв та устаткування з малим споживанням енергії; використання енергоефективних технологій для генерування та транспортуванні енергії; теплоізоляція будівель; заміна викопних джерел енергії на відновлювальні.

Виробничі.

У даному підручнику основна увага приділена технічним заходами з енергозбереження.

1.6. Базові джерела енергії або енергетичні ресурси Землі

Енергетичні ресурси (або джерела енергії) з технічної точки зору – це матеріальні об'єкти, у яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людством. Як уже відмічалось, енергетичні ресурси поділяють на первинні та вторинні.

До первинних відносять ті енергетичні ресурси, які ми беремо безпосередньо із оточуючої нас природи (рис. 1.5). Це нафта, природний газ, вугілля, річки й моря, вітер та інше. Енергію, яку отримують з цих ресурсів також називають первинною.

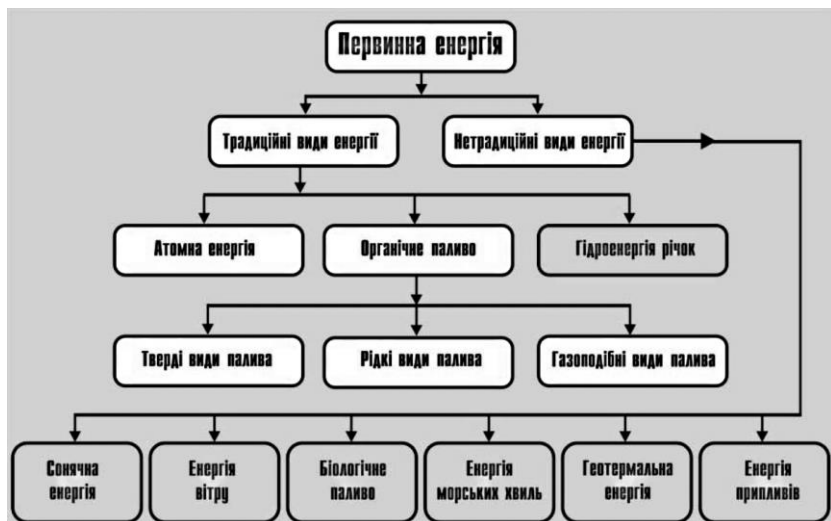


Рис. 1.5. Структура первинних енергетичних ресурсів

У свою чергу, первинні енергетичні ресурси поділяють на поновлювальні та неоновлювальні. До неоновлювальних відносять енергетичні ресурси, які накопичені раніше й знаходяться в земних надрах. Поновлювальними є ті джерела енергії, які існують у природі постійно (наприклад, сонячне випромінювання) або відновлення яких постійно здійснюється у природі (наприклад, біомаса) чи у процесі діяльності людини (наприклад, теплові відходи, органічні відходи).

При більш строгому розгляді більшість наведених вище для прикладу первинних енергетичних ресурсів є умовно первинними, оскільки всі вони є похідними від одного джерела – Сонця. Тому при строгому аналізі слід визначити, що реально первинними на Землі є лише два основні джерела енергії: невідновлювальне ядерне паливо, та відновлювальне сонячне випромінювання. Сюди слід також додати відновлювальну енергію припливів та відпливів, яка виникає за рахунок зміни сили гравітаційної

взаємодії між водами світового океану й Місяця, та геотермальну енергію, яка надходить від гарячого ядра земної кулі.

Вторинними є ті енергетичні ресурси, які утворюються у процесі переробки первинних ресурсів, наприклад, електрична енергія.

1.7. Структура світових енергетичних ресурсів та їх властивості

На рис. 1.6 наведено характер змін світового виробництва енергії з різних ресурсних джерел. З рисунка видно, що у світі до 2035 року очікується суттєве зменшення використання нафти та зростання вкладу в енергетичний сектор ядерної енергетики й відновлювальних джерел енергії. Споживання ж інших енергетичних ресурсів залишається приблизно однаковим.

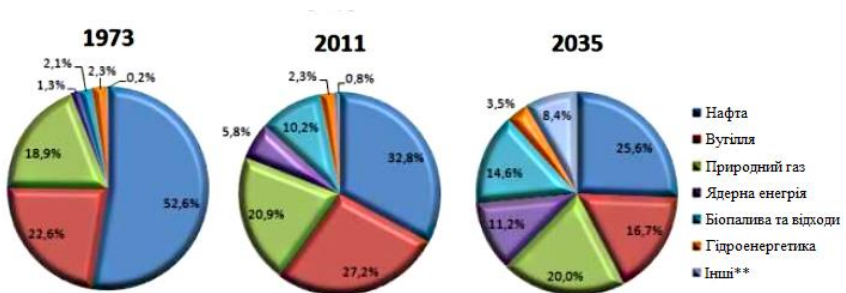


Рис. 1.6. Зміни структури виробництва енергії з різних джерел у світі

Важливим показником енергозбереження у світі та в окремих країнах є структура енергетичних ресурсів, які поділяють на такі основні групи енергоносіїв:

- сировинні (викопні) (нафта, природний газ, кам'яне вугілля та інше);

- великі гідроресурси;
- ядерне "паливо";
- відновлювальні джерела енергії, у тому числі й малі гідроресурси.

Особливості використання викопних енергоносіїв:

- обмеженість їх запасів (за різними оцінками лишилось приблизно на 50 – 100 років світового споживання);
- постійне зростання цін, якщо не враховувати тимчасові економічні коливання;
- величезний об'єм шкідливих викидів в атмосферу.

Особливості використання ядерної енергетики:

- запасів ядерного палива вистачить на кілька тисяч років;
- ціна енергії є одною з найнижчих;
- за умови дотримання всіх заходів з техніки безпеки значно менше впливає на навколишнє середовище у порівнянні з викопними носіями;
- великий ризик техногенних катастроф;
- можливість створення ядерної зброї на основі ядерного палива.

Особливості гідроенергетики:

- на сьогодні реалізовано найбільший потенціал світового використання гідроресурсів (біля 50%);
- розрізняють велику і малу гідроенергетику;
- велика гідроенергетика дає суттєвий техногенний вплив, тому її не відносять до відновлювальної енергетики або вважають умовно відновлювальною;
- мала гідроенергетика дає мінімальний техногенний вплив на навколишнє середовище, оскільки дозволяє отримувати енергію без зміни русла річок і затоплення прибережних територій. Це дозволяє віднести її до відновлювальної.

1.8. Динаміка змін енергоспоживання та структури енергетичних ресурсів

Зростання економічних показників світової економіки призводить до поступового збільшення споживання енергетичних ресурсів. Динаміка зміни енергоспоживання для розвинутих країн світу і країн, які розвиваються, наведена на рис. 1.7.

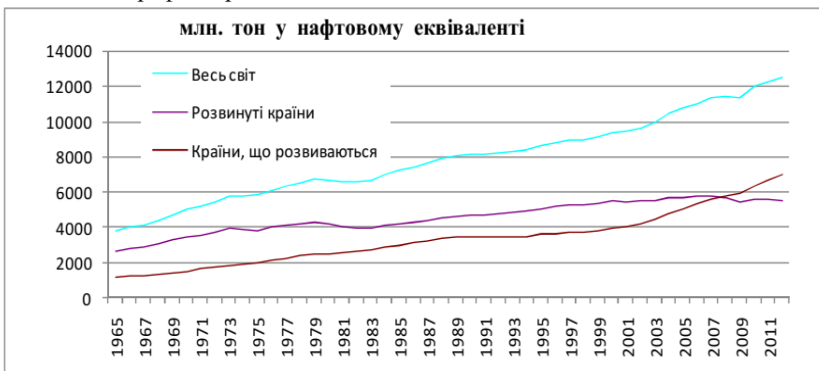


Рис. 1.7. Динаміка змін енергоспоживання у світі

З рис. 1.7 видно, що країни, які розвиваються, спричиняють загальне збільшення енергоспоживання в останні 10 - 15 років. Причинами цього є великий приріст валового продукту цих країн і достатньо висока енергоемність їхнього виробництва.

Структуру світового споживання енергоресурсів різного типу в наш час наведена на рис. 1.8.

З рис. 1.8 можна зробити висновок, що доля відновлювальної енергетики складає на сьогодні лише біля 2 %. До того ж відновлювальна енергетика активніше розвивається в розвинутих країнах світу внаслідок державних дотацій.

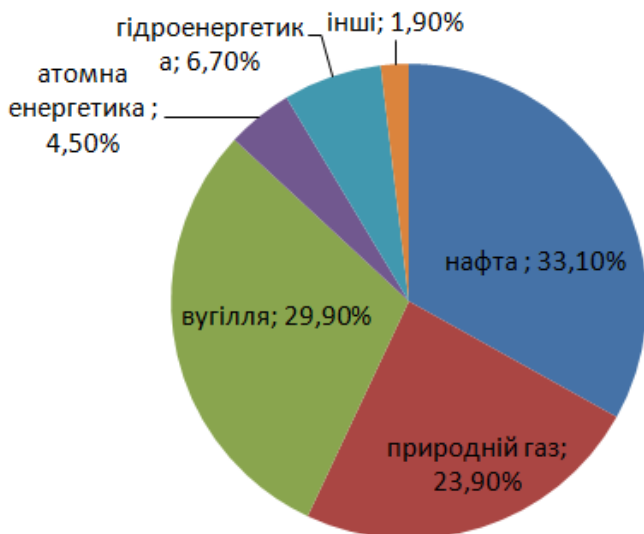


Рис. 1.8. Структура енергетичних ресурсів, які використовують у світі

За прогнозами аналітиків до 2030 року частка відновлювальної енергетики у світі зросте до 5 - 10 %, а відносна кількість енергії, отримана від ядерної енергетики, зміниться не суттєво. Таким чином використання відновлювальних джерел енергії в найближчі роки направлене на суттєве заощадження природних викопних ресурсів. Але цілковита відмова від викопних джерел енергії – справа далекої перспективи.

Динаміку зміни енергоспоживання України наведено на рис. 1.9.

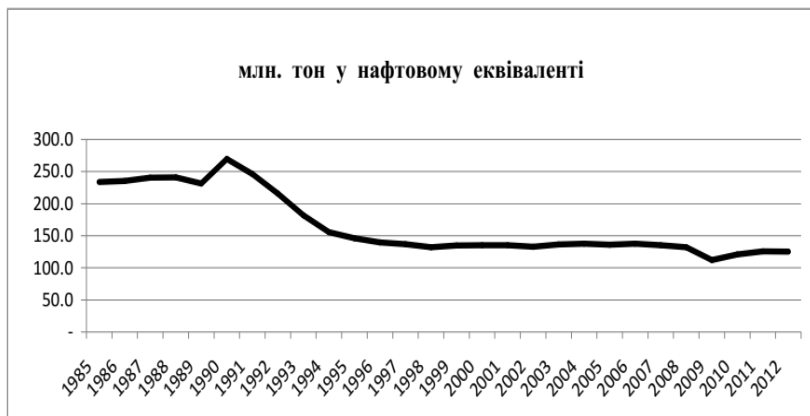


Рис. 1.9. Динаміка змін енергоспоживання в Україні

Як видно з рис. 1.9, динаміка енергоспоживання України, як і більшості країн СРСР, після 1991 року зменшилась, причиною чого була економічна криза. У середині 90-х років енергоспоживання України стабілізувалось на рівні 140 млн. тон нафтового еквіваленту. І лише після подорожчання енергоресурсів у 2007 році енергоспоживання повільно зменшується. Однак і на сьогодні промисловість України є одною з найбільш енергоємних у світі. У розвинутих країнах США, Японії, Німеччині цей показник у 5 - 8 разів менший.

Висока енергоємність виробництва України спричинена використанням застарілого енергоємного обладнання в більшості галузей виробництва, а також значними втратами енергії в теплових (біля 30 %) та електричних мережах (біля 12 %).

Сучасну структуру споживання енергоресурсів в Україні наведено на рис. 1.10.

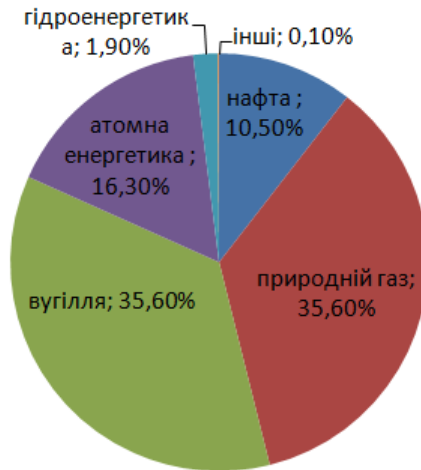


Рис. 1.10. Структура енергетичних ресурсів, які використовують в Україні

Як видно, в Україні велика частка енергоресурсів ядерної енергетики – біля 16 %. Одночасно, українська промисловість має велику залежність від імпортованого природного газу, який доцільно замінити на вітчизняний газ та на інші поширені місцеві викопні ресурси, запасів яких в Україні вистачить більше ніж на 300 років. Використання відновлювальних джерел енергії в Україні значно нижче загальносвітових і трохи перевищує 0,1 %. Однак цей сегмент енергетики швидко зростає протягом останніх років.

На сьогодні Україна є однією з країн світу, де енергія використовується найменш ефективно. Водночас, наша країна володіє багатими природними ресурсами біосфери та важливими водними джерелами. Тому Україна відіграватиме суттєву роль у розв'язанні глобальних економічних кліматичних та соціальних проблем Європи.

РОЗДІЛ 2. СТИМУЛЮВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

2.1. Основні галузі відновлювальної енергетики в Україні

Відновлювальну енергетику розділяють на такі основні галузі:

- вітроенергетика;
- сонячна енергетика;
- мала гідроенергетика;
- біопаливо;
- геотермальна енергетика;
- паливні елементи;
- інше (припливна, хімічна тощо).

Технічно-досяжний потенціал вироблення енергії з відновлюваних джерел та альтернативних видів палива в одиницях умовного палива (у.п.) для України наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Потенціал відновлювальної енергетики України

Галузь відновлювальної енергетики	Потенціал, млн. т. у. п.
Вітроенергетика	28
Сонячна енергетика	Електрична – 2, теплова – 4
Мала гідроенергетика	2
Біоенергетика	31
Геотермальна теплова енергетика	30
Загальний обсяг	97

На сьогодні із відновлювальних джерел на території України виробляють трохи більше 1 млн. т. у. п. енергії. При цьому потенціал всієї реально відновлювальної енергетики в Україні використовується трохи більше, ніж на 1%. Причиною таких низьких показників є висока собівартість відновлювальної енергії у порівнянні з викопними джерелами енергії. Тому на даному етапі більшість галузей відновлювальної енергетики розвивається за рахунок державної підтримки.

Однак собівартість енергії, отримуваної з різних відновлювальних джерел, поступово знижується, тому з часом їх використання теж стає економічно доцільним. Для прикладу, на рис.2.1 наведено порівняння динаміки змін економічних показників різних типів електростанцій для такої розвиненої країни як США.

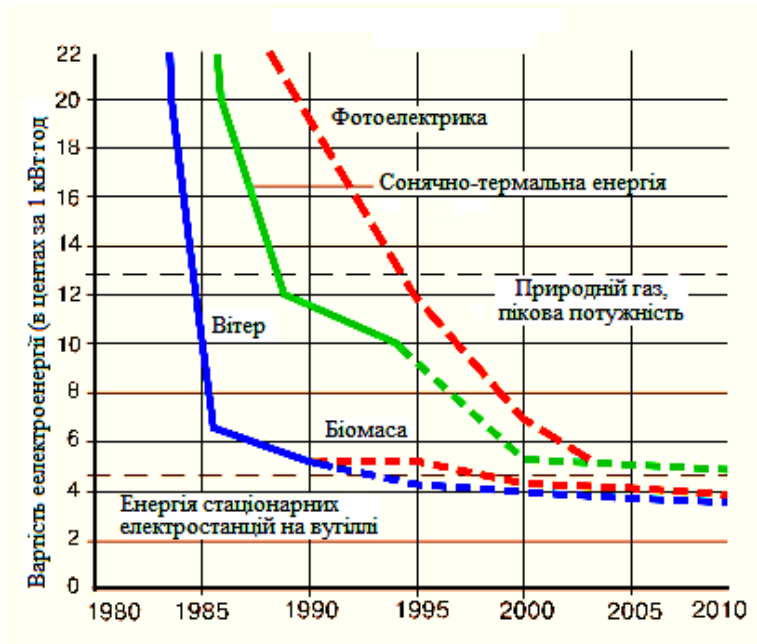


Рис. 2.1. Вартість електричної та теплової енергії, яка одержується у США з різних відновлювальних джерел

2.2. Основні механізми державної підтримки відновлювальної енергетики в Україні

Основними напрямки стимулювання відновлювальної енергетики в Україні є [1]:

- енергію, вироблену відновлювальними джерелами, держава закуповує за вищим, «зеленим» тарифом;
- виробникам енергії з відновлювальних джерел надають податкові пільги;
- для енергоносіїв з відновлювальних джерел енергії надають квоти на ринку енергоресурсів.

В Україні діє основна національна програма з енергозбереження: «Енергетична стратегія України на період до 2030 року». Вона включає такі основні напрямки:

- створення умов для зниження рівня енергоємності на одиницю ВВП;
- збільшення частки енергоносіїв, отриманих з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива до 20 %;
- впровадження новітніх технологій виробництва та споживання енергетичних ресурсів;
- видобування та використання газу (метану) із вугільних родовищ і сланцевого газу як альтернативних видів палива;
- виробництво та використання біопалива;
- модернізація газотранспортної системи, систем тепло- та водопостачання, теплових електростанцій та теплоелектроцентралей;
- створення сприятливих умов для залучення вітчизняних та іноземних інвестицій у сферу енергоефективності та енергозбереження;
- проведення структурної перебудови підприємств, спрямованої на зниження матеріало- та енергоємності виробництва;

- забезпечення енергетичної безпеки держави;
- зменшення техногенного навантаження на довкілля та забезпечення цивільного захисту у сфері техногенної безпеки паливно-енергетичного комплексу;
- інтеграція об'єднаної енергосистеми України до європейської енергосистеми з послідовним збільшенням експорту електроенергії.

Крім цього, в Україні на сьогодні діють такі податкові пільги для відновлювальної енергетики [1]:

- звільнення від оподаткування 80 % прибутку підприємств у сфері відновлювальної енергетики;
- звільнення від оподаткування 50 % прибутку, отриманого від здійснення енергоефективних заходів та реалізації енергоефективних проектів підприємств;
- звільнення від оподаткування операцій із ввезення на митну територію України енергозберігаючих матеріалів, обладнання, устаткування та комплектуючих;
- звільнення від сплати податку на додану вартість операцій із постачання техніки, обладнання, устаткування для альтернативної енергетики;
- звільнення від оподаткування прибутку виробників біопалива;
- для всіх виробників у сфері відновлювальної енергетики діє зелений тариф. Ціни на електроенергію за зеленим тарифом, вироблену різними видами відновлювальних джерел енергії, вказано в табл. 2.2.

Зелені тарифи України

Джерело енергії	До 2024 року, євро/кВт·год	До 2030 роки, євро/кВт·год
Сонячна енергетика	0,28	0,25
Вітроенергетика	0,07	0,06
Біопаливо	0,1	0,09
Мала гідроенергетика	0,09	0,08

Для того, щоб отримувати податкові та інші економічні пільги, перед проєктуванням енергетичних станцій, які працюють за зеленим тарифом на відновлювальних джерелах енергії, необхідно отримати ліцензію, а під час їх спорудження 50 % (за вартістю) обладнання і матеріалів необхідно купувати у національного виробника.

РОЗДІЛ 3. ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ПАЛИВО, ЙОГО ВИДИ, ЕНЕРГЕТИЧНА ЯКІСТЬ ТА МЕТОДИ ОТРИМАННЯ

Основними енергетичними ресурсами, які в найбільшій мірі споживаються більшістю країн світу є теплові та електричні. При цьому різні види енергетичних ресурсів обох типів мають різну якість.

Для теплових енергетичних ресурсів, які базуються на використанні різних видів палива, якість визначається їхньою теплотворною здатністю (спроможністю). Вона показує, яку кількість теплової енергії може виділити одиниця маси даного виду палива при стандартних умовах спалювання. У даному розділі проведемо порівняльний аналіз якості й показників застосування основних видів палива в умовах України.

3.1. Високе паливо

Непоновлювані паливні ресурси – це органічне паливо різного виду, яке має єдине джерело походження: рослинна маса, нагромаджена та перетворена протягом багатьох мільйонів років у надрах Землі. Сюди належать нафта, природний газ, різне вугілля, торф, горючі сланці. Зрозуміло, що ці паливні ресурси рано чи пізно будуть вичерпані. Іншою вагомою вадою такого палива є дуже негативний вплив їхнього використання на екологію нашої планети. Закономірне запитання: чому людство продовжує інтенсивно використовувати таке паливо? Основними причинами цього є:

- прагнення отримати максимальні прибутки при мінімальних затратах;
- небажання змінювати звичний спосіб життя;
- використання важелів енергоносіїв у політиці.

Однак, життя примушує нас звертати все більшу увагу на відновлювальні види паливних ресурсів. Які ж із них основні й найбільш перспективні для України?

3.2. Біопаливо. Основні терміни і визначення

На сьогодні економічно найбільш конкурентною галуззю відновлювальної енергетики в Україні є біоенергетика. Дамо визначення основних термінів даної галузі.

Біопаливо – органічні матеріали (деревина, відходи деревообробної промисловості, відходи сільського господарства, спирти та ін.), які використовують для виробництва енергії.

Зола – мінеральний продукт, який утворюється в результаті спалювання органічних речовин.

Пелети – деревні гранули, які мають форму циліндра діаметром від 6 мм до 10 мм і довжиною 50 мм, які виготовляють методом пресування з різних твердих біологічних речовин.

Піроліз (газифікація) – термічний розклад органіки (деревини, нафти, вугілля і т.д.) на горючі гази під час нагрівання без кисню або часткове спалювання органіки з обмеженим доступом кисню.

Етерифікація – реакція утворення складних горючих ефірів у результаті взаємодії кислот і спиртів.

Біодизель – біологічне дизельне паливо на основі рослинних чи тваринних жирів, а також продуктів їх етерифікації.

3.3. Загальна характеристика біопалива

Джерелом біопалива є переважно рослини. Первинним видом енергії, яка запасається в біопаливі є

сонячна енергія. Рослини вбирають із атмосфери вуглекислий газ, а з ґрунту – воду та різні мінеральні речовини. Під дією квантів світла в рослинах проходять хімічні реакції фотосинтезу. Ці реакції із вуглекислого газу, мінеральних речовин та води формують різні органічні тверді сполуки, які й створюють вихідну біомасу для біопалива. За рахунок цих процесів сонячна енергія акумулюється в органічних речовинах біопалива.

При спалюванні біопалива акумульована сонячна енергія вивільнюється і поступає до нас у вигляді теплової енергії, а утворені при спалюванні вуглекислий газ, вода та мінеральні речовини повертаються у навколишнє середовище. Таким чином у біоенергетиці матеріальні ресурси повністю зберігаються, а енергія поступає до нас за рахунок акумульованих в рослинах енергетичних ресурсів Сонця.

Біопаливо – одне з перспективних джерел відновлювальної енергетики у світі і найбільш перспективне джерело теплової енергії для умов України. Щорічно приріст біомаси у світі оцінюють в еквіваленті біля 80 млрд. тон нафти. Загальну схему та методи перероблення біомаси в біопаливо показано на рис. 3.1.

3.4. Термохімічні методи отримання біоенергії

Спалювання біомаси є одним з найдавніших методів її використання. Лише з середини XIX сторіччя для отримання теплової енергії стали використовувати викопні джерела енергії, оскільки вони мають більшу питому теплоту згорання і технологічність. Дані з питомої теплоти згорання різних видів палива наведено в табл. 3.1 [2].

З аналізу даних, наведених у табл. 3.1, можна зробити висновок, що викопні джерела енергії мають у 2 - 3 рази більшу питому теплоту згорання, ніж відновлювальні. Але

із урахуванням економічних та екологічних факторів, біопаливо використовувати доцільніше.

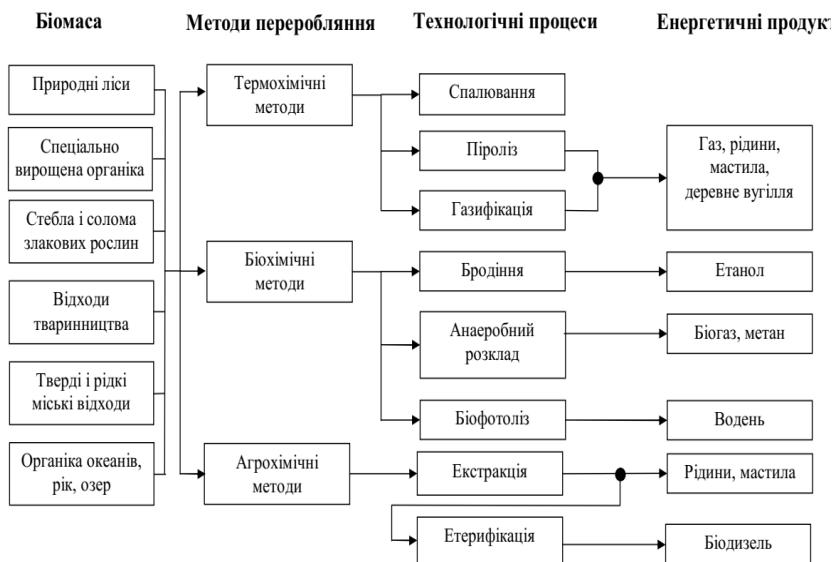


Рис. 3.1. Процеси переробки біомаси в біопаливо

Таблиця 3.1

Питома теплота згорання різних видів палива

Вид палива	Питома теплота згорання, МДж/кг
Деревина висушена	13 – 16
Відходи рослинництва (солома, лушпиння)	10 – 15
Пелети, брикети	15 – 18
Торф	10 – 15
Газ метан	55
Газ пропан	46
Бензин	47
Гас, дизельне паливо	46

Продовження таблиці 3.1

Нафта	42 – 46
Вугілля	20 – 30
Вугілля антрацит	33,5
Водень	120,6

Джерелом біопалива для спалювання є відходи деревообробної промисловості, сільського господарства або спеціально вирощена деревина (верба, тополя, евкаліпт). Властивості деревного палива змінюються в широких межах залежно від типу деревини, місця і сезону збирання, методу зберігання і транспортування [2]. Наприклад вміст вологи в деревині може коливатись в межах від 2 % до 75 %. При підвищенні вологості температура спалювання деревини знижується, що сповільнює процес горіння і збільшує обсяг викиду шкідливих речовин у навколишнє середовище. Тому ефективно використання цього виду біопалива можливе лише після технічного оброблення: подрібнення і сушіння, що збільшує швидкість і повноту згоряння палива. Після такої обробки біопаливо набуває стабільних фізико-хімічних і механічних властивостей. Це дозволяє підвищити питому теплоту згоряння палива, ККД, знизити вартість і витрати на експлуатацію обладнання.

Все більш поширеними формами біопалива для спалювання стають пелети і брикети, які виготовляють із відходів деревообробної промисловості та сільського господарства. Їх використовують у всіх видах топок, камінах, котлах. Позитивним аспектом використання брикетів і пелетів є також їх мала зольність від 0,5 до 1 % (для порівняння у вугілля зольність складає 40 %).

Піроліз органічних речовин використовують для отримання різних горючих речовин (пропілену, етилену, метанолу, аміаку тощо). На сьогодні для цього найчастіше

використовують нафту і вугілля. Але все ширше технологію піролізу використовують і для біомаси.

Раніше піроліз біомаси найчастіше використовували для отримання з деревини деревного вугілля і дьогтю. На сьогодні технологію піролізу деревини також використовують для генерації теплової енергії і отримання метанолу.

Піролізні опалювальні котли, на відміну від звичайних, мають дві камери: камера завантаження і камера горіння. У камері завантаження з обмеженою кількістю кисню повільно горить і піролізується тверде паливо за температури від 400 °С до 800 °С. Гази, які виділяються під час піролізу, згорають у другій камері за температури від 900 °С до 1200 °С. У піролізних котлах може використовуватись деревина з вмістом вологи, що не перевищує 35 %. Тому в піролізних котлах перед використанням деревину просушують. Використання піролізу для індивідуальної і централізованої системи опалення має такі переваги [2]:

- просте й ефективне регулювання швидкості та інтенсивності горіння палива;
- цілковите згорання палива;
- зменшення викиду шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Процес **газифікації біомаси** проводять нагріванням біопалива без доступу кисню до температур газифікації (на практиці температуру процесу газифікації підтримують у межах від 1100 °С до 1300 °С за тиску від 0,1 до 10 МПа). Загалом склад газу, отриманий у процесі газифікації, залежить від багатьох чинників, головним з яких є вид і характеристика біопалива та температура і тиск у зоні реакції [2].

3.5. Біохімічні методи отримання біопалива

Біохімічні методи дозволяють отримувати з певних рослинних культур біогаз, біодизель, етанол і мастила, які є альтернативою паливно-мастильним матеріалам з викопних джерел енергії. Найчастіше для перетворення біомаси на вказані продукти використовують реакції бродіння і анаеробного розкладу.

Бродіння. Операцію бродіння використовують для промислового виробництва етанолу (етилового спирту) та інших спиртів. Етиловий спирт безпосередньо можна отримати з рослинних культур, які містять глюкозу (плодові культури, цукровий буряк, цукрова тростина). Реакція бродіння відбувається за наявності бактерій дріжджів [2].

У промислових масштабах етанол отримують також з культур з високим складом крохмалю (картопля, кукурудза, зернові культури). Для цього крохмаль перетворюють у цукристі речовини шляхом гідролізу з додаванням солоду. Солод містить особливий фермент, під впливом якого відбувається оцукровування (гідроліз) крохмалю, тобто перетворення його в глюкозу.

Картопля і зерно, на переробці яких базується виробництво етилового спирту за попереднім способом, – достатньо цінні харчові продукти. Тому їх бажано замінити нехарчовою сировиною. У зв'язку з цим знайшов широке застосування спосіб одержання спирту з целюлози, яка за своїм хімічним складом близька до крохмалю. З цією метою переважно використовують відходи деревини. Одержаний таким способом етиловий спирт називають гідролізним. З одної тони деревини можна одержати до 200 літрів гідролізного спирту. Таку ж кількість спирту можна отримати з 1 т картоплі або 300 кг зерна [2].

Анаеробний розклад – це процес розкладу біомаси без доступу кисню у присутності спеціальних бактерій. У результаті анаеробного розкладу біомаса розкладається на метан CH_4 і оксид вуглецю CO_2 . Така суміш метану і оксиду вуглецю за наявності в невеликій кількості інших газів називають біогазом. Частка метану за масою складає до 90 % від тієї, яка містилась в первинній біомасі. Анаеробний розклад проводять при температурі від 20 °С до 70 °С і цей процес триває до 15 діб. При цьому за вищої температури розкладу, його тривалість зменшується [2].

Основна сировина для виробництва біогазу – це відходи тваринництва. Для цього також можна використовувати силос, солому, інші сільськогосподарські та побутові відходи. З однієї тони відходів, як правило, можна отримати 250 – 500 м³ біогазу. Його теплота згорання лежить в межах від 21 МДж/м³ до 27 МДж/м³.

Крім отримання біогазу, анаеробний розклад повністю мінералізує азот, фосфор, калій та інші мікроелементи, завдяки чому вони краще засвоюються рослинами. Таким чином ця технологія дозволяє виробляти з органічних відходів біопаливо і забезпечує отримання органічних добрив. Схему біогазової установки наведено на рис. 3.2.

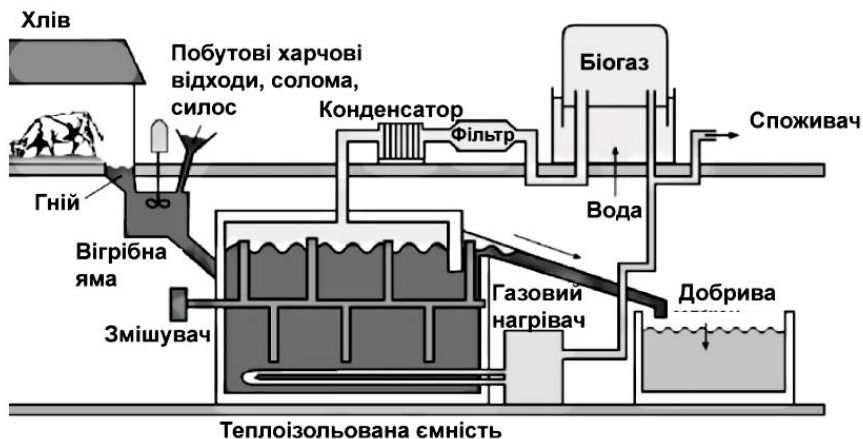


Рис. 3.2. Схема роботи біогазової установки

Біодизель виробляють з олій рослинних культур. Вихід олії за умови використання різних рослин наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Рослинні культури для виробництва біодизелю та його вихід

Рослинна культура	Об'єм масла, л/га	Рослинна культура	Об'єм масла, л/га
Кукурудза	172	Рис	828
Овес	217	Соняшник	952
Хлопок	325	Арахіс	1059
Соя	446	Рапс	1190
Льон	478	Кокос	2689
Гірчиця	572	Водорості	95000
Кунжут	696		

Для зменшення в'язкості біопалива олія проходить переестерифікацію, для чого до неї додають біля 10 %

метилового спирту. У результаті реакції переестерифікації з суміші олії і спирту утворюється біодизель.

Автомобільне біологічне пальне. На даний момент широко використовують два види автомобільного біопалива: етиловий спирт і біодизель. Ці види біопалива можуть додаватись до бензину або дизельного палива чи використовуватись самостійно.

Популярні марки біобензину: E5, E10, E15, E85, E100 (чистий етанол), де число вказує відсоток вмісту етилового спирту в бензині. Бензин з вмістом етанолу до 10 % можна заправляти в більшість сучасних автомобілів. Марки бензину з більшим вмістом етанолу підходять лише для автомобілів зі спеціальним двигуном. Це пов'язано з такими особливостями етанолу [2]:

- за температури нижче -15°C паливо з вмістом етанолу 85 % і нижче замерзає;
- етанол має на 34% менше енергії на одиницю об'єму ніж бензин;
- етанол має вище октанове число ніж бензин;
- етанол поглинає воду, що сприяє розшаруванню палива на окремі фракції.

Витрати чистого етанолу в порівнянні з бензином збільшуються на 30 %. Тому для економічної доцільності використання біопалива його ціна повинна бути меншою на 30 % ніж у бензині. Окрім цього, зберігати етанолове паливо необхідно в герметичних ємностях, для запобігання потрапляння вологи.

Паливо з додаванням біодизелю позначають як, наприклад B10 – це дизельне пальне з додаванням 10 % біодизелю. Чистий біодизель, на відміну від етанолу, можна використовувати для звичайних дизельних двигунів. Однак строк зберігання біодизелю не перевищує трьох місяців.

РОЗДІЛ 4. СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

У другому розділі було проаналізовано основні відновлювальні енергетичні ресурси України. Серед них сонячній енергетиці належить лише частка біля 6 %. Однак ці оцінки проводилися з точки зору побудови великих потужних теплових і електричних сонячних станцій. У той же час, сонячна енергетика є найбільш доступна на різних рівнях створення сучасних генеруючих енергетичних потужностей, починаючи від окремих домогосподарств. Якщо врахувати і цей перспективний локальний сектор виробництва енергії, то ресурси сонячної енергетики України за різними оцінками досягають від 10 % до 15 % сумарної споживаної на сьогодні енергії. Це виводить значимість сонячної енергетики на такий же рівень, як і вітроенергетику та біопаливо (див. табл.2.1). Таким чином, сонячна енергетика з урахуванням потенціалу свого розвитку є джерелом енергії, обсяги розвитку якого будуть тільки зростати. Крім того, сонячна енергетика є доступною для застосування майже кожним громадянином нашої держави. Тому даний енергетичний ресурс та особливості його використання розглянемо більш детально.

4.1. Сонце та його енергія

Сонце є головним первинним джерелом енергії на нашій планеті. Джерелом сонячної енергії є ядерні реакції синтезу ядер гелію із ядер водню, які протікають у надрах Сонця.

Енергія, яка виділяється при протіканні ядерних реакцій, неперервно випромінюється Сонцем і, потрапляючи на Землю, є джерелом життя на нашій планеті. Вона підтримує в газоподібному стані земну

атмосферу, постійно нагріває сушу і водойми, дає енергію вітрам і водоспадам, морським течіям і хвилям, забезпечує життєдіяльність тварин і рослин. Частина сонячної енергії накопичена в надрах Землі у вигляді кам'яного вугілля, нафти, природного газу й інших корисних копалин. Усе це підкреслює роль Сонця як первинного джерела енергії для нашої планети [3].

Сонячна енергія досягає Землі у вигляді потужного потоку фотонів світлового випромінювання. Кожен фотон несе енергію, рівну $h\nu = hc/\lambda$, де h – стала Планка, ν – частота електромагнітного випромінювання для даного фотона, c – швидкість світла, λ – довжина електромагнітної хвилі, яка відповідає даному фотону. Основною величиною, яка характеризує сонячну енергію, є густина потужності потоку випромінювання, яке проходить через площу 1 м^2 , розташовану перпендикулярно даному потоку випромінювання. Цю величину називають також інтенсивністю випромінювання.

Сонячне випромінювання має широкий спектр. Зокрема: на ультрафіолетовий діапазон спектру припадає 7 % випромінювання. Цей спектральний діапазон в сонячній енергетиці практично не використовується. Видимий спектральний діапазон вміщає біля 47 % енергії Сонця, а інфрачервоний – біля 46 %. Саме сонячна енергія двох останніх діапазонів служить основою сонячної енергетики, оскільки таке випромінювання легко перетворюється в електричну та теплову енергію.

Сумарна потужність випромінювання Сонця величезна і складає біля $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт. Земля, яка знаходиться на відстані біля 150 млн. км від Сонця, одержує приблизно 2 мільярдні частки його загального випромінювання. Але середня кількість сонячної енергії, яка потрапляє в атмосферу Землі теж дуже велика. Середня

інтенсивність сонячного випромінювання тут складає біля $1,5 \text{ кВт/м}^2$ [4].

Частина випромінювання Сонця відбивається атмосферою Землі назад у космос. При проходженні атмосфери частина випромінювання також поглинається. Тому енергія сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі, має середню інтенсивність біля 1 кВт/м^2 . У мінливу хмарність цей показник знижується до 600 Вт/м^2 , а при Сонці у вигляді білого диску – до 300 Вт/м^2 . Похмурий зимовий день дає лише біля 100 Вт/м^2 .

У цілому, сумарна потужність сонячної енергії, яка потрапляє на земну поверхню, складає біля $2 \cdot 10^{11}$ МВт. Загальна кількість сонячної енергії, яка потрапляє на Землю за 1 годину, при повному її використанні вистачило б для забезпечення потреб всього людства протягом 1 року. Таким чином, сонячна енергія являє собою такий ресурсний потенціал, який набагато перевищує потенціал викопних джерел. Для прикладу, сонячна енергія на земній поверхні у 20000 разів перевищує сучасні потреби людства. Ще кілька порівнянь. Обсяг енергії, яка щорічно віддається Землі Сонцем, у 15 000 разів більший річного споживання атомної енергії й енергії з викопних джерел. Загальна кількість сонячної енергії, яка досягає поверхні Землі за рік, в 50 разів перевищує всю енергію, яку можна одержати з розвіданих запасів викопного палива і в 35 000 разів перевищує теперішнє щорічне споживання енергії [4].

Про потенціал енергії Сонця свідчать і такі дані:

- за 15 хвилин сонячне випромінювання приносить на земну кулю енергію, яку достатньо всьому людству на цілий рік;
- одній території Італії воно віддає в 6 разів більше енергії, ніж використовується протягом року у всьому світі;

- щорічна продуктивність фотосинтезу флори в 10000 разів перевищує річну продуктивність хімічної промисловості усього світу. При цьому на забезпечення процесів фотосинтезу у рослинах йде лише 0,02 % отриманої Землею енергії Сонця.

Все це означає, що в перспективі є можливість замінити весь потенціал викопних енергетичних ресурсів, ресурсами сонячної енергії.

Лише незначну частку сонячної енергії, яка потрапляє на поверхню Землі можна використати практично. Основна ж кількість сонячної енергії йде на різноманітні глобальні природні процеси:

- зігрівання атмосфери, земної поверхні та поверхні океанів;
- переміщення повітряних мас;
- океанічні течії;
- випаровування води.

Відмітимо, що сумарна потужність усіх електростанцій світу лише на сьогодні досягла рівня, який близький до сумарної потужності багатьох явищ природи. Розрахунки показують, що середня потужність повітряних течій на нашій планеті досягає величини біля $3 \cdot 10^{10}$ кВт. Ще більшою є середня потужність ураганів - біля $3,5 \cdot 10^{10}$ кВт. Для порівняння можна навести величину сумарної потужності всіх пасажирських літаків на планеті, яка наближається до величини $3 \cdot 10^8$ кВт.

Виникає цікаве запитання: чому така колосальна сонячна енергія, яка приходить на Землю, не призводить до загального потепління планети. Це пояснюється тим, що давним-давно на нашій планеті досягнута глобальна теплова рівновага: пройшовши через різні природні процеси сонячна енергія повертається назад у космічний простір. Однак діяльність людства все більше порушує такий встановлений тисячоліттями енергетичний баланс. І

як результат досить актуальною проблемою на сьогодні є глобальне потепління на нашій планеті.

4.2. Галузі використання сонячної енергії

Густина сонячного випромінювання в різних точках земної поверхні суттєво відрізняється і змінюється у часі. Цей показник залежить від географічної широти місцевості, пори року, часу доби, хмарності і нахилу поверхні сонячних елементів відносно падіння сонячних променів. Для прикладу наведемо розподіл потенціалу сонячної енергії за регіонами України (рис.4.1). Як видно, більша половина території України має вищий за середній світовий рівень потужності сонячного випромінювання (1 кВт/м^2).

Сонячна енергетика охоплює дві основні галузі: теплова сонячна енергетика та електрична сонячна енергетика.

Від Сонця теплову енергію можна отримати безпосередньо шляхом прямого нагрівання теплоносія чи спеціальної поверхні абсорбера. Для цього використовують спеціальні прилади, які називають сонячні колектори, а в тропічних і екваторіальних широтах можуть використовуватись сонячні ставки. ККД таких геліоустановок є досить високим і лежить в діапазоні від 30 % до 80 %.

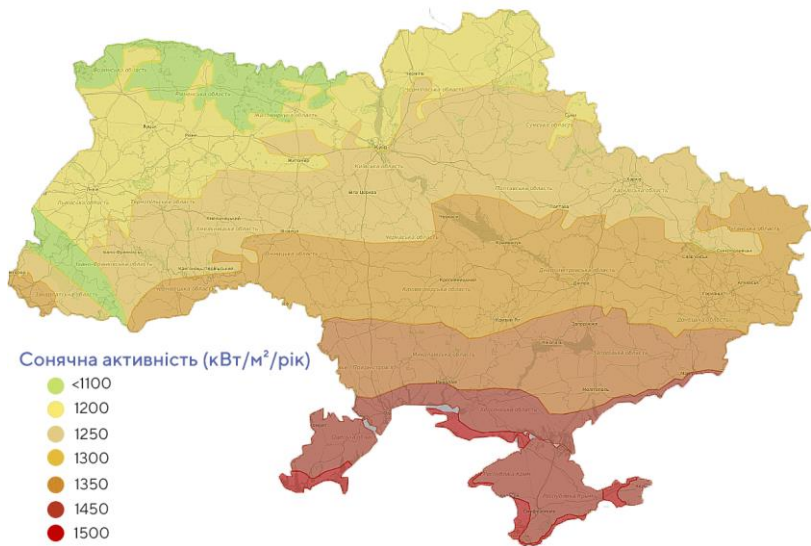


Рис. 4.1. Потенціал сонячної енергетики в регіонах України

Перетворювати сонячне випромінювання видимого діапазону можна і в електричну енергію. Таке перетворення може бути безпосереднім або багатоступеневим. Безпосереднє перетворення сонячної енергії на електричну базується на внутрішньому фотоелектричному ефекті, який виникає в напівпровідникових фотоелементах. Максимальні ККД сучасних фотоелементів складають біля 25 %. А реально, на сьогодні, застосовують фотоелементи з ККД від 10 % до 20 %.

Багатоступеневе перетворення сонячної енергії на електричну базується на використанні парових машин або двигунів Стірлінга. Для нагрівання робочого тіла цих пристроїв до необхідних температур використовують сонячні концентратори. На цьому принципі працюють сонячні станції з концентраторами баштового,

параболічного і параболо-циліндричного типів. ККД таких електростанцій теж лежить в діапазоні від 10 % до 20 %.

4.3. Причини повільного розвитку сонячної енергетики

Загалом можна сказати, що сонячне випромінювання є ідеальним видом енергії. Тоді чому ж внесок сонячного випромінювання в паливно-енергетичний баланс усіх країн Землі незначний? Аналіз показує три основні умови, які серйозно впливають на темпи розвитку сонячної енергетики в наш час.

Глобальні умови.

Дослідження показали, що якби за останні тридцять років на розробку систем використання сонячної енергії було витрачено стільки ж сил і коштів, скільки на використання атомної енергії, то до 2000 року «сонячний струм» спроможний був би замінити «атомний».

Економічні умови.

Використання сонячної енергії донедавна було найбільш витратним (рис.4.1). На сьогодні економічні показники різних видів енергії досить близькі. Але необхідно й надалі удосконалювати існуючі технології перетворення сонячної енергії в інші види з метою збільшення їх ефективності та зниження вартості.

Технічні умови.

Важлива умова використання сонячної енергії – об'єднання в одній системі сонячних елементів з пристроями концентрації та зберігання отриманої електричної або теплової енергії. Зокрема, це акумулятори та електролізери води для одержання кисню і "зеленого" водню. У закінченому варіанті на сьогодні, ще не завершено вироблення загальної стратегії розвитку таких комплексних систем.

РОЗДІЛ 5. РУХ СОНЦЯ ПО НЕБЕСНІЙ СФЕРІ І СОНЯЧНА ЕНЕРГЕТИКА

Як уже відмічалось, в ресурсозберігаючій енергетиці найбільш близьким до широкого впровадження є спосіб, який використовує трансформування енергії сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію в сонячних батареях. За прогнозами спеціалістів через 10 років виробництво електроенергії сонячними батареями стане не тільки конкурентоспроможним, а й більш дешевим ніж, традиційні види енергії.

5.1. Сонячна енергетика і астрономія

Дослідження питань використання сонячної енергії тісно пов'язані із видимим рухом Сонця по небесній сфері. Під останньою розуміють сферу певного радіусу, із центром O (рис. 5.1 та 5.2), який розміщений у заданій географічній точці місцевості.

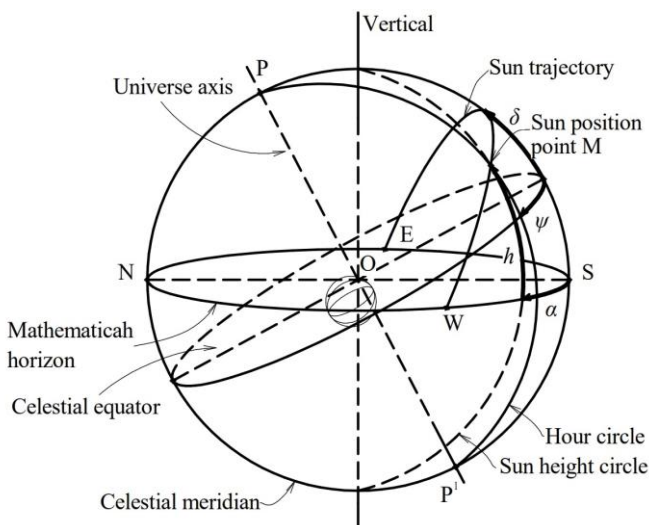


Рис. 5.1. Небесна сфера та її елементи

Сонце неперервно змінює своє просторове положення на небесній сфері. Тому для максимальної ефективності функціонування систем сонячної енергетики доцільно впродовж дня та впродовж року постійно орієнтувати на Сонце положення площини сонячних елементів. Для здійснення таких процесів й необхідно знати закони руху Сонця по небесній сфері (Sun trajectory).

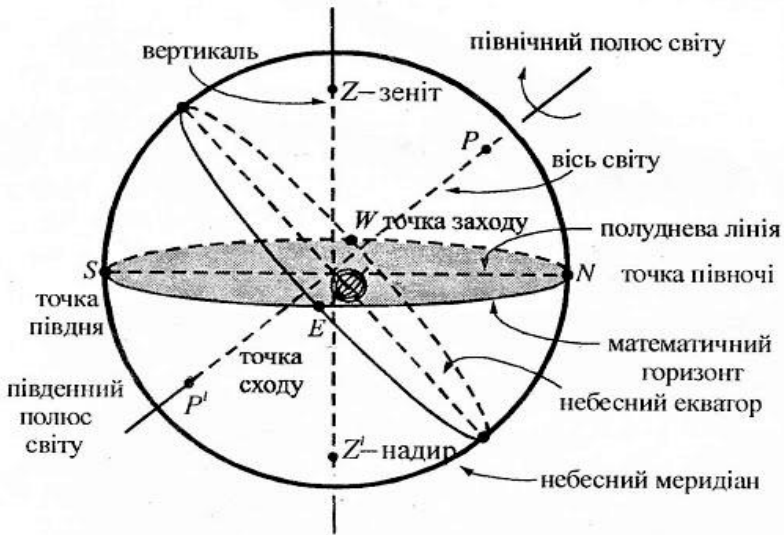


Рис. 5.2. Елементи визначення астрономічних координат

Для задання положення Сонця на небесній сфері використовують різні кутові системи координат і різні кутові координати. Основними із них є дві основні астрономічні кутові величини:

- азимут Сонця α або часовий кут ψ ;
- висота Сонця (або кут висоти Сонця) h над

горизонтом.

Із небесною сферою пов'язують цілий ряд параметрів, важливих для проектування наземних сонячних енергетичних систем:

- базовим елементом цієї сфери є її вертикаль (vertical), яка проходить через центр O (рис. 5.1);

- великий круг небесної сфери, який перпендикулярний до вертикалі в точці O і проходить через цю точку, називають математичним (або істинним) горизонтом (mathematical horizon);

- великий круг небесної сфери, який проходить через вертикаль та через точку положення Сонця M на цій сфері, називають кругом висоти Сонця (Sun height circle) (рис. 5.1);

- вісь світу (universe axis) це умовна лінія, навколо якої умовно відбувається видиме обертання світил по небесній сфері;

- великий круг небесної сфери, перпендикулярний до осі світу, називають небесним екватором (celestial equator).

Задання координат орієнтації сонячних елементів пов'язане із розглядом видимого руху Сонця відносно земної поверхні по небесній сфері. У той же час реальний рух Сонця в космічному просторі визначається його астрономічними координатами. Для орієнтації сонячних елементів необхідно знати взаємозв'язок географічних та астрономічних координат положення Сонця улюбий момент локального сонячного часу (local solar time – LST) у заданій місцевості.

Для визначення LST використовують поняття небесного меридіану (celestial meridian) – великого круга небесної сфери, який проходить через вісь світу та вертикаль небесної сфери (рис. 5.1 та 5.2). При цьому за початок відліку LST беруть момент проходження Сонцем північного півкругу небесного меридіану. Дану подію називають нижньою кульмінацією Сонця або істинною північчю і для неї $LST = 0$. Відповідно, істинному полудню відповідає 12 година LST. Це відповідає максимально високому положенню Сонця на небесній сфері на дану добу в заданій точці земної кулі.

У годинниках час встановлюється адміністративно через часові пояси земної кулі, які зв'язані зі своїми місцевими стандартними часовими меридіанами (local standard time meridian - LSTM). Даний меридіан використовується для позначення певного часового поясу та для встановлення адміністративного сонячного часу t для точок земної поверхні, розміщених на цьому меридіані. Тому адміністративний час, яким ми користуємося в заданому часовому поясі, є величина LSTM для стандартного меридіану цього часового поясу. Відмітимо, що для деяких країн використовуваний час t може відрізнятися від сонячного адміністративного часу у певні періоди року при використанні переходів на літній та зимній часи. Такі події слід враховувати при створенні автоматичних систем орієнтації сонячних елементів у вигляді поправки Δt_A для відповідного періоду року.

Характер змін основних координат траєкторії Сонця в різні пори року відображено на рис. 5.3.

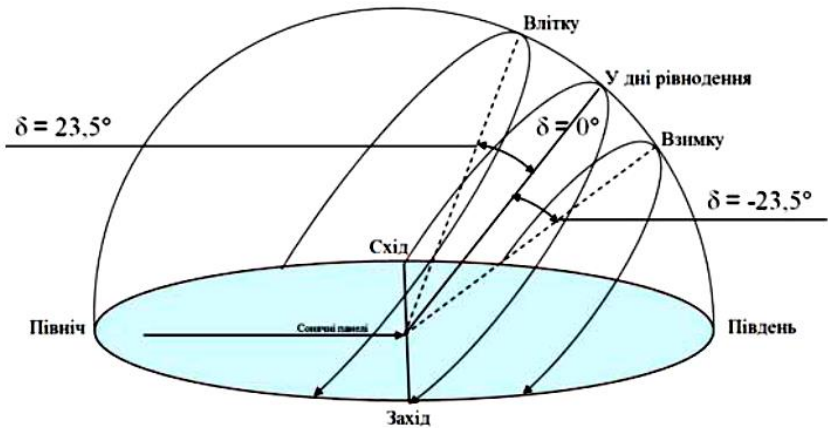


Рис. 5.3. Траєкторія руху Сонця відносно сонячних елементів у різні пори року (показати кути h та α і діапазони їх змін у вигляді дуг)

Як видно із рисунку 5.3, траєкторія Сонця змінюється весь рік. При цьому основними величинами, які змінюються кожного дня і служать базовими для систем орієнтації є:

- азимут сходу Сонця із-за лінії горизонту;
- азимут заходу за лінію горизонту;
- висота над лінією горизонту опівдні.

Сонячні координати протягом року змінюється в діапазоні значень, які характерні для днів літнього сонцестояння в червні та зимового сонцестояння у грудні.

Для прикладу на рис. 5.4 наведено аналіз змін основних кутових координат траєкторії Сонця для території України поблизу Києва для червня місяця.

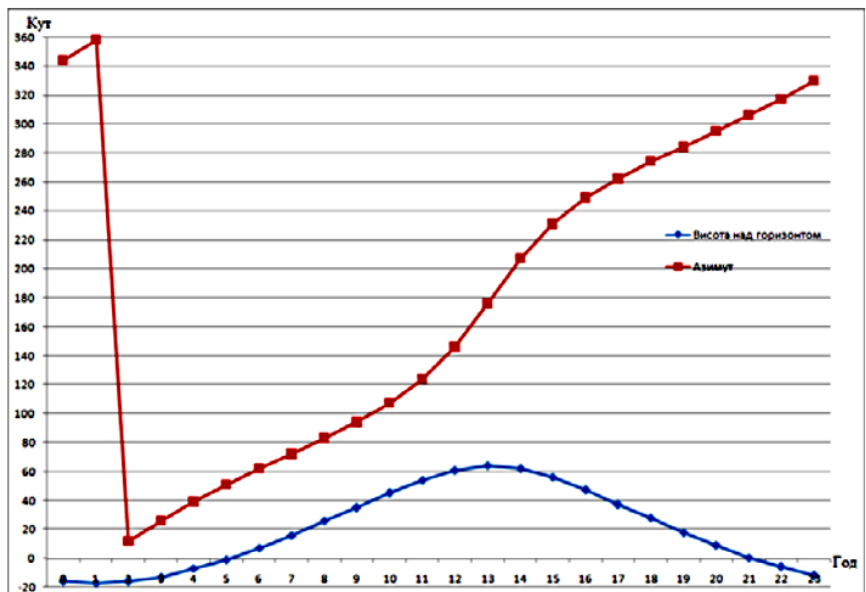


Рис. 5.4. Графік зміни азимуту та висоти Сонця над горизонтом для 20 червня для регіону Києва

Як видно з рис. 5.4, швидкість зміни азимута Сонця неоднакова. При цьому з 11 до 15 години дня швидкість руху Сонця по небу найбільша. Із рисунку також слідує, що на початку дня 20 червня біля 5 години ранку сонячний елемент повинен зайняти положення з азимутом Сонця 50° . Захід Сонця відбувається біля 21 години, коли його азимут рівний 305° . Найвище положення над горизонтом Сонце займає о 13 годині з азимутом біля 160° та висотою 64° – у цій позиції ефективність сонячних елементів найвища. Зрозуміло, що такі особливості зміни швидкості азимуту Сонця потрібно враховувати під час написання програми керування системами орієнтації сонячних елементів.

З проведеного дослідження видно характер змін кутів руху Сонця протягом дня для конкретної точки на земній поверхні. Подібний аналіз слід робити для будь-якого іншого місця знаходження сонячних елементів. Дані такого аналізу дозволяють точно орієнтувати площину генеруючих елементів на Сонце впродовж року. Але необхідно врахувати те, що в такому аналізі не беруться до уваги географічні особливості поверхні реальної місцевості, такі як висота над рівнем моря, пагорби, гори, схили, наявність лісів та інше. Через такі особливості конкретної місцевості схід та захід Сонця може відрізнятись на деяку величину за часом та азимутом залежно від висоти розташування навколишніх різних географічних об'єктів, а також висоти розташування над рівнем моря самої сонячної станції.

При стаціонарному встановленні сонячних елементів, які постійно не відслідковують положення Сонця, оптимальним є таке їх встановлення, при якому площина елементів буде перпендикулярна падінню сонячних променів за азимутом у той момент часу, коли воно знаходиться в положенні напрямку на Південь. Крім цього, потрібно також враховувати зміну висоти положення

Сонця над горизонтом впродовж року. Якщо зміна кута положення елементів відносно висоти Сонця над горизонтом не проводиться, то необхідно визначити середню найбільш ефективну висоту положення Сонця за рік і відносно неї встановити середній кут нахилу поверхні сонячних елементів. Для регіону Ужгорода це кут біля 65° , тому що саме в такому положенні сонячні елементи зможуть генерувати найбільше електричної чи теплової енергії.

Важливим є також визначення результуючого надходження прямої сонячної радіації, не лише на конкретний момент часу, а й протягом певних вибраних для аналізу періодів часу. Особливо це необхідно під час проектування сонячних електростанцій для прогнозування обсягів генерації електроенергії для кінцевих споживачів з метою визначення рентабельності економічної ефективності та періоду повернення затрачених коштів для інвесторів. Дане питання актуальне і в масштабах всієї країни для прогнозування розподілу електроенергії через інтелектуальні енергосистеми та для визначення планів обсягу закупівель енергоносіїв.

5.2. Пряме та розсіяне сонячне випромінювання

Загальна інтенсивність потоку сонячного випромінювання J , яке потрапляє на сонячний елемент для певного його положення у просторі, визначається двома основними складовими (рис.5.5): прямим J_d та розсіяним J_s потоками, тобто:

$$J = J_d + J_s. \quad (5.1)$$

Відбите від різних географічних об'єктів випромінювання також можна віднести до розсіяного.

Основним є прямий енергетичний потік від Сонця J_d . Цей потік є строго направленим і його розповсюдження

відповідає законам геометричної оптики. Величина J_d залежить від астрономічної зони її вимірювання. Зокрема, як уже відмічалось, над землею атмосферою середнє значення цього показника складає біля $1,5 \text{ кВт/м}^2$. При проходженні через атмосферу потужність сонячного випромінювання суттєво зменшується за рахунок різних фізичних явищ. І на рівні поверхні Землі, перпендикулярній до потоку, середня величина J_d не перевищує одного кВт/м^2 .

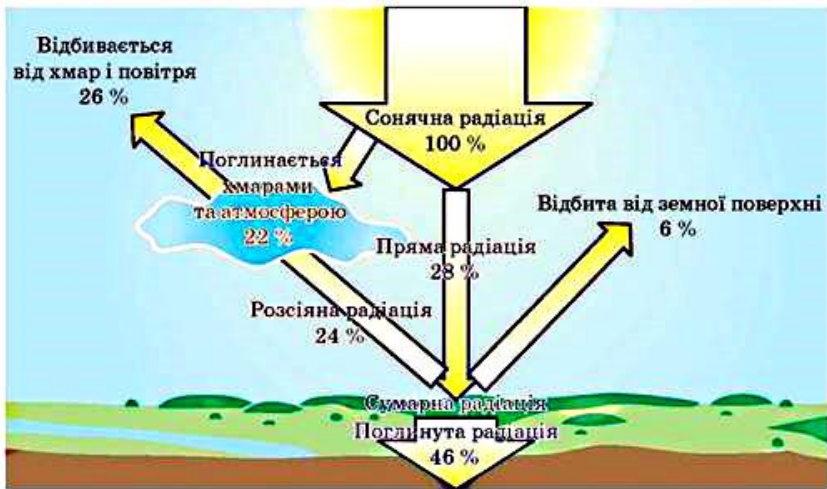


Рис. 5.5. Пряме та розсіяне випромінювання Сонця

Другим типом є потік розсіяного сонячного випромінювання з густиною J_s . Він виникає за рахунок прямого потоку шляхом розсіювання та відбивання останнього на різних об'єктах атмосфери та поверхні Землі. При цьому визначальним для сонячних елементів є розсіювання на шарі атмосферного повітря та на хмарах. Розсіяне випромінювання потрапляє не сонячні елементи з усіх напрямків і його інтенсивність сильно залежить від стану земної атмосфери та протікання різних явищ у ній.

Розсіяне випромінювання, як правило, значно слабкіше за пряме. Тому у практиці експлуатації сонячних елементів переважно беруть до уваги лише пряме сонячне випромінювання J_d , яке потрапляє від Сонця прямо на елемент. Для такого випромінювання основним технічним фактором ефективності роботи панелей є кут падіння сонячних променів на площину фотоелементів, який визначається як кут γ між нормаллю до даної площини та напрямком падіння сонячних променів (рис.5.6).

На сьогодні активно розробляються сонячні панелі, які мають високу ефективність перетворення і розсіяного сонячного випромінювання в електричну енергію. На думку фахівців, у недалекому майбутньому такі пристрої зможуть покращити ситуацію з розвитком сонячної енергетики.

Постійна зміна орієнтації сонячних елементів на Сонце потрібна лише для ефективного використання прямого сонячного випромінювання. Тому надалі будемо розглядати всі математичні моделі та проводити всі розрахунки саме для випадку прямого сонячного випромінювання. Тобто надалі під терміном сонячне випромінювання ми будемо розуміти саме пряме випромінювання.

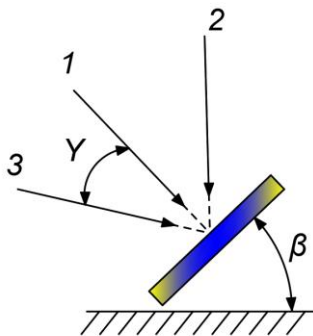


Рис. 5.6. Схема падіння прямого потоку сонячного випромінювання на елемент (1 - нормаль до площини елемента, 2 - вертикаль до площини горизонту, 3 - напрям падіння прямого сонячного потоку)

РОЗДІЛ 6. МАТЕМАТИЧНА АСТРОНОМІЧНО-ГЕОГРАФІЧНА МОДЕЛЬ ОРІЄНТАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

6.1. Часові пояси

Для поглинання максимальної кількості сонячної енергії площина сонячного елемента повинна бути завжди перпендикулярна сонячним променям. Однак Сонце світить на земну поверхню в залежності від часу доби і року завжди під різними кутами. Тому для найбільш ефективного використання сонячних джерел енергії необхідно знати їх оптимальну орієнтацію у просторі в кожен момент часу. Для оцінки оптимального орієнтування таких елементів враховуються закономірності обертання Землі навколо Сонця і навколо своєї осі, а також періодичні зміни відстані від Сонця до Землі.

Таким чином, для орієнтації сонячних елементів необхідно знати, як змінюються астрономічні координати положення Сонця відносно земної поверхні протягом кожного дня року для даної географічної точки. Ці параметри легко розраховуються за допомогою значень "сонячного часу" в заданій місцевості.

Як відомо, вся наша планета розділена на умовні часові пояси. У результаті, момент сходу і полудень для Сонця в заданому часовому поясі визначається лише для умовно вибраної його географічної точки. Оскільки часовий пояс має великі розміри, то реальний момент сходу Сонця для однієї частини часового поясу може відрізнятися від моменту сходу Сонця для іншої частини цього ж поясу (рис. 6.1). У результаті полудень для Сонця в заданому часовому поясі усереднюється по всій його території і співпадає з істинним полуднем лише для умовно вибраної його географічної точки.

Для наведеного на рисунку 6.1 часового поясу України граничними є меридіани із східною довготою $22,5^\circ$ (границя поясу зліва на рис. 6.1) та $37,5^\circ$ (границя поясу справа на рис. 6.1). Часовий же меридіан цього поясу має довготу 30° (чорна лінія у центрі рис. 6.1). Реально границі часового поясу проводять не як вказана на рис. 6.1, а по кордонах країн. Тобто в часовий пояс України входять також і жовта та червоні області. Таким чином, Ужгород реально знаходиться в наведеному часовому поясі із географічною довготою біля $22,5^\circ$ (чорна лінія зліва на рис. 6.1). Проведений аналіз показує, що інтервал часу між різними географічними точками часового поясу може перевищувати одну годину. Тому слід враховувати цю особливість часових поясів при побудові систем орієнтації сонячних елементів.



Рис. 6.1. Часовий пояс України із його часовим меридіаном та меридіаном Ужгорода

6.2. Поправки до визначення місцевого сонячного часу

Для кожного часового поясу земної кулі встановлюється середній LST. Місцевий адміністративний час для вибраного часового поясу зазвичай відрізняється від середнього LST через використання людьми тимчасових переходів на літній і зимній часи з метою економії енергії та з деяких інших причин.

Часові пояси зв'язані зі своїми місцевими стандартними часовими меридіанами (local standard time meridian – LSTM). Даний меридіан використовується для позначення певного часового поясу та для встановлення середнього LST за Гринвічем. Принцип використання LSTM наведений на рис. 6.2. Відповідно з ним, відлік часу нової доби розпочинається при проходженні Сонцем початкового меридіану. На $7,5^\circ$ з обох сторін від цього меридіану розміщені межі нульового часового поясу. Таким чином меридіан першого часового поясу має географічну довготу 15° , а меридіан другого (українського) часового поясу, який проходить біля Києва – географічну довготу 30° .

Географічна довгота D LSTM для даного часового поясу розраховується за допомогою формули:

$$D = 15^\circ \cdot \Delta T, \quad (6.1)$$

де ΔT – різниця між середнім місцевим сонячним часом даної географічної точки і середнім сонячним часом на Гринвічі в годинах на даний момент.

Величина 15° у наведеному співвідношенні відповідає географічній ширині одного часового поясу, тобто $1/24$ частині повного оберту. Таким чином замість різниці ΔT у співвідношенні (6.1) можна використовувати більш зручний для розрахунків номер часового поясу N_T даної місцевості. Тобто:

$$D = 15^\circ \cdot N_T, \quad (6.2)$$

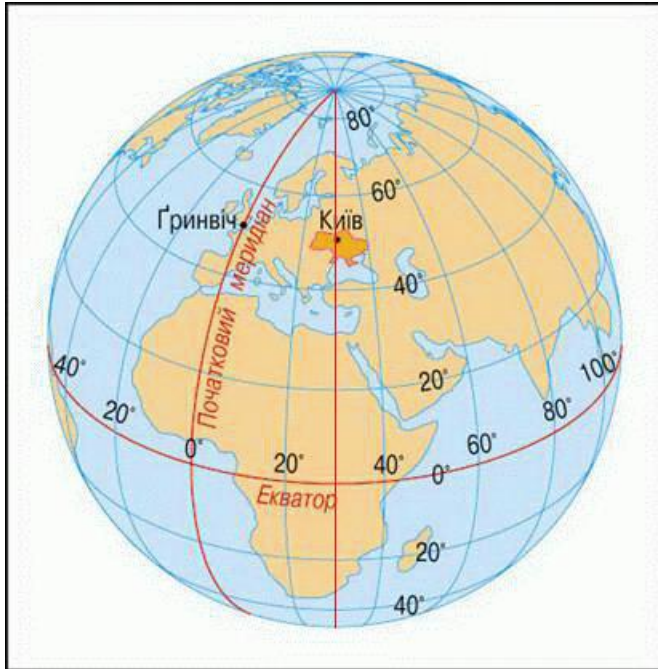


Рис. 6.2. Визначення початкового та місцевих LSTМ

Слід зазначити, що номери часових поясів мають знак: для західної півкулі номери поясів починають від Грінвіча ($N_T = 0$) і вони є від'ємні, а для східної півкулі номери поясів теж починають від Грінвіча, але вони вже є додатні. Зокрема, наведеному на рис. 6.1 та 6.2 часовому поясу України відповідає номер $N_T = +2$.

У межах кожного часового поясу діє один і той же середній LST. Для розрахунків за ним точного місцевого сонячного часу у величину LST слід вносити три основні поправки.

Перша поправка враховує вплив ексцентриситету земної еліптичної орбіти. При русі по ній наша планета переміщується швидше в області перигелія й повільніше в області афелія. Для спостерігача на поверхні Землі це

проявляється в тому, що видимий рух Сонця по екліптиці небесної сфери то прискорюється, то сповільнюється. Екліптика — це уявне велике коло небесної сфери, вздовж якої Сонце протягом року пересувається серед зірок. Поправка до місцевого часу, обумовлена даним явищем, змінюється за законом синуса з періодом в один рік і має назву рівняння центру орбіти.

Друга поправка обумовлюється нахилом площини екліптики до площини небесного екватора (рис. 6.3). Але уявний річний рух Сонця по небесній сфері відбиває реальне обертання Землі по її орбіті. Тому екліптика є колом перетину небесної сфери з площиною земної орбіти.

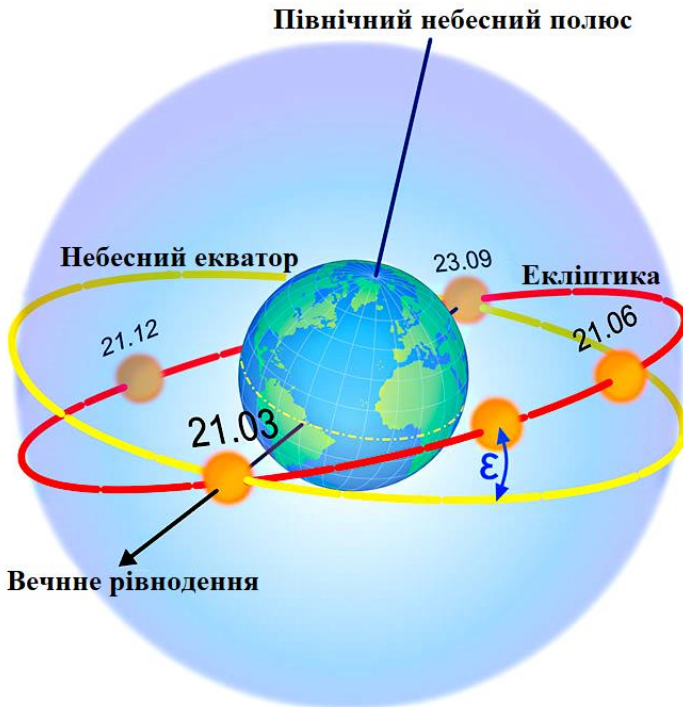


Рис. 6.3. Відносні положення площини екліптики Сонця та площини небесного екватора

При своєму уявному русі по екліптиці Сонце поблизу точок зимнього та літнього сонцестоянь рухається майже паралельно небесному екватору і тому швидкість видимої зміни часового кута Сонця на землі мінімальна. У свою чергу, біля весняного та осіннього рівнодень Сонце рухається під максимальним кутом до небесного екватора і результуюча швидкість змін його часового кута максимальна. Поправка до місцевого часу, обумовлена цим явищем, змінюється за законом синуса з періодом у шість років і має назву рівняння нахилу екліптики.

Сумарна поправка ΔT_E при визначенні місцевого часу складається із суми рівняння центру орбіти та рівняння нахилу екліптики. Вона зазвичай задається емпіричним співвідношенням, яке називають рівняння часу:

$$\Delta T_E = 9,87 \cdot \sin(2B) - 7,53 \cdot \cos(B) - 1,5 \cdot \sin(B), \quad (6.3)$$

де $B = 0,986 \cdot (N - 81)$.

Поправка ΔT_E , виражена рівнянням (6.3), є різниця між істинним та середнім значеннями сонячного часу і визначається у хвилинах. При цьому поправка ΔT_E в кожний N -й конкретний день року для заданого часового поясу N_T однакова для спостерігачів у будь-якій точці поверхні Землі. Графік змін цієї поправки протягом року наведено на рис. 6.4.

Третьою поправкою до місцевого часу є стаціонарний локальний поправочний коефіцієнт ΔT_L , який враховує зміни місцевого сонячного часу в одній часовій зоні при зміні довготи точки знаходження об'єкта в межах цієї зони відносно LSTM на величину ΔL (рис. 6.1 та 6.2). Відповідно, у хвилинах ця поправка рівна:

$$\Delta T_L = 4 \cdot \Delta L = 4 \cdot (D - D_L), \quad (6.4)$$

де D_L – географічна довгота точки розміщення сонячного елемента.

Множник, рівний чотирьом хвилинам, виникає в наведеному співвідношенні через те, що Земля обертається

на 1° кожні 4 хвилини. Зокрема, для Ужгорода ця поправка $\Delta T_L = 31$ хвилина, а для Закарпаття лежить в межах від 27 хвилин до 31 хвилини.

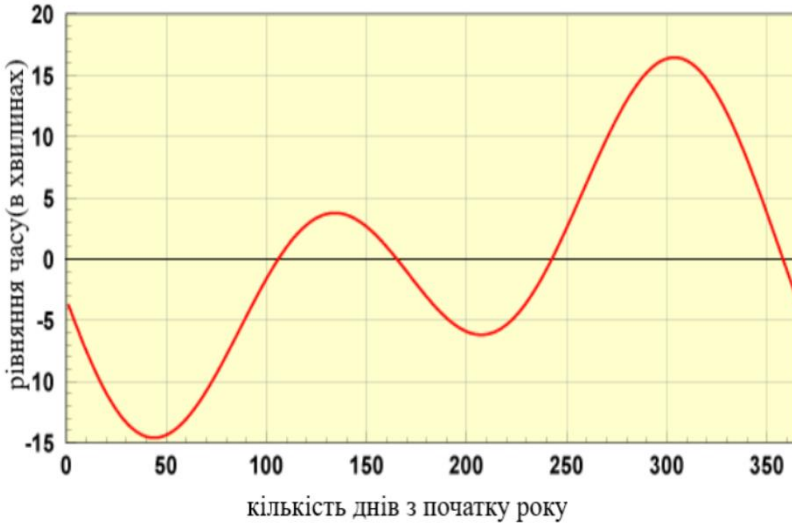


Рис. 6.4. Графік зміни поправки ΔT_E протягом року

Аналізуючи наведені дані можна бачити, що для любого часового поясу максимальне значення часової поправки ΔT_E не перевищує 20 хвилин, відповідно з рис. 6.4, а поправки ΔT_L не перевищує 40 хвилин. Останнє відповідає відхиленню географічної довготи місцевості від LSTM на 10° . Тоді максимальну сумарну часову поправку для систем орієнтації на Сонце можна прийняти рівну 1 годині. Такому відхиленню буде відповідати зменшення падаючого на сонячний елемент енергетичного потоку приблизно на 7 %. Оскільки відхилення по довготі зберігається протягом всього часу функціонування сонячних панелей, то його не врахування для умов Закарпаття приведе для однокіловатної сонячної батареї

сумарних річних втрат електроенергії в межах від 60 кВт·год до 80 кВт·год.

На нашу думку, для електростанцій малої потужності розраховані втрати є суттєвими. Тому вказані вище поправки до місцевого часу необхідно враховувати при проектуванні систем орієнтації елементів на Сонце. Оскільки основний внесок у цю поправку дає складова ΔT_L , то саме вона, у першу чергу, має братися до уваги в системах орієнтації. При цьому така поправка встановлюється одноразово лише при монтуванні системи в заданій місцевості і не змінюється у процесі експлуатації встановленої сонячної енергетичної системи.

Поправка ΔT_E постійно змінюється з дня на день. При цьому за найбільш активний літній період ці зміни не перевищують 8 хвилин (рис. 6.4). Тому поправку ΔT_E із-за її меншого впливу на ефективність генерації енергії сонячними елементами (у середньому біля 1 % проектної потужності) можна не враховувати в системах орієнтації. Це дозволяє зекономити пам'ять МК електронної частини систем орієнтації, оскільки рівняння часу слід зберігати у пам'яті або у вигляді аналітичного виразу програми керування або у вигляді таблиці розрахованих поправок для кожного дня року. Локальний же поправочний коефіцієнт ΔT_L вводиться в пам'ять як фіксована константа. При цьому вона може бути як додатною, так і від'ємною величиною, відповідно із співвідношенням (6.4). За допомогою цієї поправки система орієнтації встановлює в кожен текучий момент місцевого сонячного часу конкретної географічної місцевості досить точну орієнтацію сонячних елементів на Сонце по географічній довготі.

Таким чином, у системах орієнтації на Сонце величину уточненого місцевого часу (local time) можна обрахувати за спрощеним співвідношенням:

$$LT = LST - \Delta T_L = LST - 4 \cdot (D - D_L) = LST - 4 \cdot (15^\circ \cdot N_T - D_L). \quad (6.5)$$

У загальному величина D_L вказується окремо для західної (від 0 до -180°) та східної (від 0 до $+180^\circ$) півкуль. Тому у співвідношенні (6.5) слід врахувати дану особливість і при розрахунках місцевого часу величини N_T та D_L підставляти із їхнім знаком.

Враховуючи отримані результати, можна зробити висновок, що у пристрій керування системами орієнтації сонячних електростанцій слід ввести незалежний годинник. Останній має бути налаштований на відлік LST за відповідним часовим поясом N_T . Дані цього годинника МК буде використовувати для визначення порядку дій виконуючих пристроїв системи орієнтації при орієнтуванні сонячних елементів за географічною довготою. Поправка ж ΔT_L при цьому буде вибиратися МК із своєї пам'яті. Для визначення даної поправки при введенні системи в експлуатацію в енергонезалежну пам'ять МК записують значення величин N_T та D_L як константи із знаком. За ними МК розраховуватиме поправку ΔT_L та також заноситиме її в енергонезалежну пам'ять як відповідну константу. У результаті формуватиметься набір даних для знаходження системою орієнтації улюбий необхідний момент величини уточненого місцевого часу відповідно із співвідношенням (6.5).

Відмітимо також, що при роботі системи орієнтації слід при необхідності враховувати і поправки на переходи на умовні літній та зимній часи, додаючи або віднімаючи до соціального часу одну годину. Надалі цю поправку будемо вводити в розгляд за допомогою параметра p .

6.3. Визначення часового кута орієнтації сонячних елементів

При розробці систем орієнтації уточнене значення місцевого сонячного часу переводять у більш зручну для використання градусну міру, вводячи часовий кут ψ , який

ще називають сонячним кутом. Для його визначення користуються поняттям часового кола (або круг схилення Сонця) – це великий круг небесної сфери, який проходить через вісь світу та через Сонце (рис. 6.5). Тоді часовим кутом називають кут ψ від верхньої точки небесного екватора (точка півдня) до часового кола небесної сфери. Часові кути відраховуються у напрямку видимого добового обертання небесної сфери.

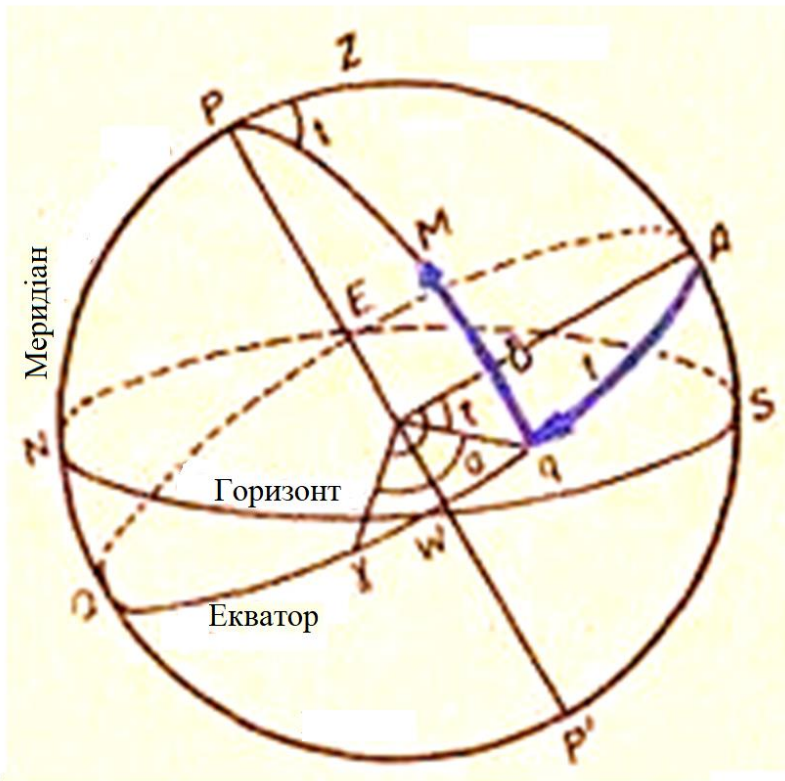


Рис. 6.5. Визначення часового кола та часового кута (t замінити на ψ). М - точка положення Сонця на небесній сфері

Якщо вбудований годинник системи орієнтації налаштований на LST відповідного часового поясу і в пам'ять МК введена поправка ΔT_L , то часовий кут легко розраховується МК за співвідношенням:

$$\psi = (LST - \Delta T_L \pm 720)/4. \quad (6.6)$$

У останньому виразі величини LST та ΔT_L слід задавати у хвилинах, а часовий кут ψ розраховується у градусах. При цьому до полудня у співвідношенні слід брати знак "мінус", а після полудня - знак "плюс".

Таке визначення часового кута є не зручним для застосувань у системах орієнтації. Більш придатним для цього є метод прив'язки часового кута до моментів сходу та заходу Сонця за допомогою спеціального доданку $\Delta\psi$, який буде мати своє значення для кожного дня року. Цей доданок має також враховувати параметри географічного та географічного розташування сонячних елементів. Якщо приймати також до уваги і поправку рівняння часу, то вираз (6.6) для систем орієнтації прийме такий вигляд:

$$\psi = [LST - 4 \cdot (15^\circ \cdot N_T - D_L) + \Delta T_E + p \cdot 60]/4. \quad (6.7)$$

Ще раз підкреслюємо, що всі величини в наведеному співвідношенні слід брати як відповідні додатні або від'ємні числа.

6.4. Орієнтація системи за висотою та за азимутом Сонця

Кут вертикального кола Сонця у даний момент часу між площиною математичного горизонту небесної сфери та напрямком на Сонце, називають висотою Сонця h (рис. 6.6).

При заданні орієнтації сонячних елементів за висотою Сонця важливим параметром є також кут схилення Сонця δ , який обумовлений тим, що вісь власного обертання Землі нахилена по відношенню до її еліптичної орбіти

обертання навколо Сонця. Для визначення даного параметра використовують введені вище поняття часового кола Сонця. Тоді кут δ – це кут між площиною небесного екватора та Сонцем, який відраховується по часовому колу Сонця (рис.6.7). Іншими словами це кут між площиною небесного екватора та площиною траєкторії добового руху Сонця по небесній сфері на конкретний день року.

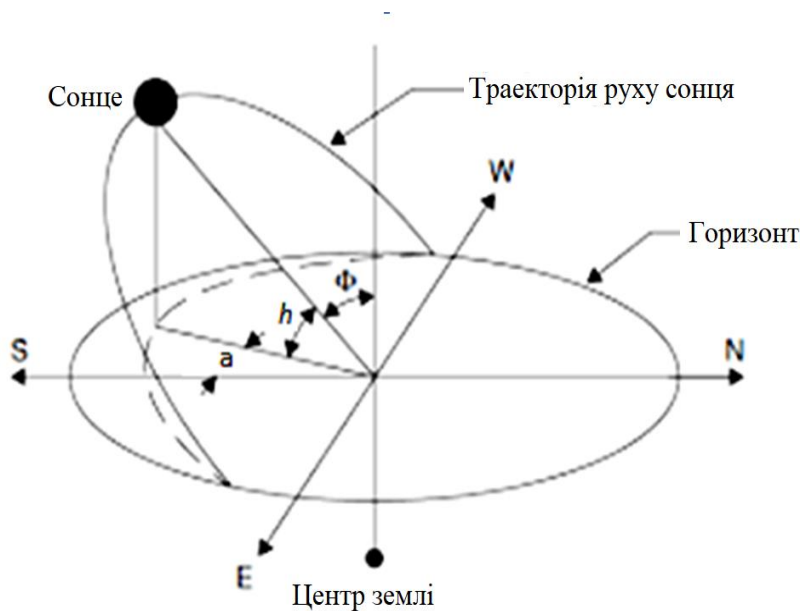


Рис. 6.6. Визначення кутів висоти h та азимуту a Сонця

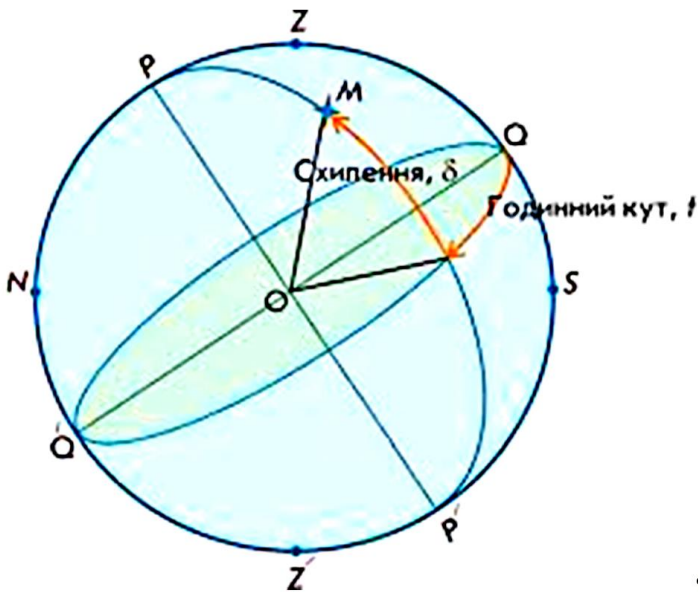


Рис. 6.7. Визначення кута схилення δ Сонця

На екваторі кут схилення δ_E , за визначенням, буде рівним нулю два рази на рік у дні весняного і осіннього рівнодення. Тому протягом року він змінюється біля екватора від значення $23,45^\circ$ до $-23,45^\circ$.

Для конкретного дня року кут δ_E на екваторі визначається за формулою:

$$\delta_E = 23,45^\circ \cdot \sin[0,986 \cdot (N + 284)]. \quad (6.8)$$

Для інших широт кут схилення для кожного дня року залежить від географічної широти φ місця встановлення сонячного елемента. З достатньою для систем орієнтації точністю:

$$\delta = \varphi + 23,45^\circ \cdot \sin[0,986 \cdot (N + 284)]. \quad (6.9)$$

Для Ужгорода величина φ близька до $48,5^\circ$. Тому Сонце для нашої місцевості буде мати схилення взимку біля 25° , а влітку – біля 72° . Даний кут визначає і висоту Сонця на дані дні (рис. 6.8).

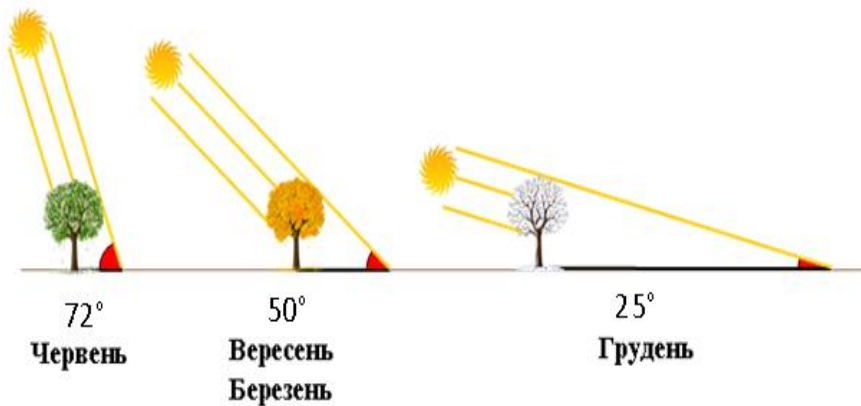


Рис. 6.8. Схилення або висота Сонця над горизонтом опівдні для Ужгорода

У свою чергу, залежність кута висоти Сонця від сонячного часу протягом доби визначається складним співвідношенням:

$$\sin h = \cos \psi \cdot \cos \varphi \cdot \cos \delta + \sin \varphi \cdot \sin \delta. \quad (6.10)$$

Із часовим кутом тісно пов'язаний азимут Сонця α на небесній сфері. Але він визначається не по небесному екватору, а по математичному горизонту. Відповідно, за визначенням, α – це кут між точкою півдня та вертикальним кругом небесної сфери (рис. 6.6). Азимути Сонця відраховуються у напрямку видимого добового обертання небесної сфери. Згідно з визначенням відлік починається з точки пересічення площини математичного горизонту та небесного меридіана, тобто з моменту точного сонячного полудня. Однак, іноді беруть від сходу Сонця до опівдня кут α негативний, а далі від опівдня до вечора – позитивний. Між азимутом та часовим кутом Сонця існує такий простий математичний зв'язок:

$$\sin \alpha = \cos \delta \cdot \sin \psi / \cos h. \quad (6.11)$$

Як видно із останнього співвідношення, для визначення азимутального кута орієнтації на Сонце крім

часового кута слід знати кут висоти Сонця h та кут схилення Сонця δ для даного моменту часу.

Однак дослідження показують, що у випадку наземних систем орієнтації співвідношення (6.11) погано працює для часових кутів біля моментів сходу та заходу Сонця. Тому ми будемо використовувати для визначення азимутальних кутів положення Сонця більш адекватну для систем орієнтації формулу:

$$\cos\alpha = (\sin\varphi \cdot \sin h - \sin\delta) / (\cos\varphi \cdot \cos h). \quad (6.12)$$

6.5. Розрахунки моментів сходу та заходу Сонця

Початок відліку азимутів Сонця відповідає полудню. У результаті величини α будуть від'ємні до полудня і додатні після полудня. Таке вираження азимутів Сонця є дуже незручним для програмування МК систем орієнтації. Тому в алгоритм їхнього функціонування ми вводимо поправку, яка буде враховувати часи сходу та заходу Сонця для конкретної географічної місцевості.

Відповідно з астрономічними даними, наближено часові кути вказаних моментів можна розрахувати за таким спрощеним математичним співвідношенням:

$$\cos\psi_{EW} = -\operatorname{tg}\varphi \cdot \operatorname{tg}\delta. \quad (6.13)$$

Наведена рівняння дає два значення для часового кута: для моменту сходу Сонця ψ_E та його заходу ψ_W . Перше значення лежить в межах від 180° до 360° (або від 0 до -180°), а друге – від 0 до $+180^\circ$. Більш зручно у системах орієнтації застосовувати другий (позитивний) корінь рівняння (6.13). Тому прийматимемо, що часовий кут сходу Сонця ψ_E відраховуватиметься від точки півдня на географічний схід, а часовий кут заходу Сонця ψ_W за величиною рівний ψ_E й відраховується від точки півдня на захід. При цьому величина обох кутів лежить в межах від 0 до 180° . У рамках прийнятих умов для програми МК для

даного дня року текучий часовий кут має змінюватися від початкового значення ψ_E , далі обраховуватися за співвідношенням (6.7) до тих пір, поки не досягне значення $\psi_E + \psi_W$ або $2 \cdot \psi_E$. При цьому максимальний діапазон зміни часового кута буде відповідати дню літнього сонцестояння 21 червня. Для цього дня величина кута $\psi_E \approx 130^\circ$. І в цей день азимут орієнтації сонячних елементів буде поступово зростати від 0 до 260° .

6.6. Технічні кути орієнтації сонячних елементів

Проведений вище аналіз та побудовані моделі відповідають ситуації, коли площина сонячного елемента співпадає із площиною математичного горизонту. У всіх інших випадках крім введених вище географічно-астрономічних параметрів δ , α і h , зв'язаних із видимим уявним рухому Сонця по небесній сфері, при розрахунках орієнтації сонячних елементів використовуються також кілька локальних технічних параметрів встановлення цих елементів на несучій основі. Основними із них є два кути, які показані на рис. 6.9:

- кут β нахилу до горизонту площини сонячного елемента;
- кут α_0 азимутальної орієнтації панелі відносно напрямку на південь.

При цьому слід прийняти до уваги, що рис.6.9 відповідає традиційній прямокутній формі сонячних панелей.

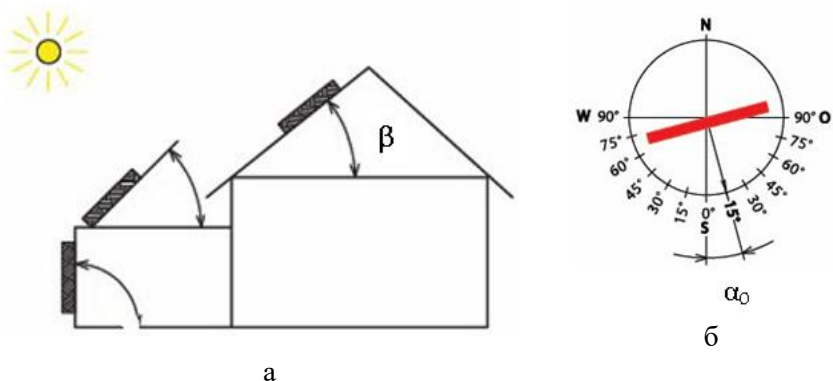


Рис. 6.9. Технічні кути орієнтації панелей β (а) та α_0 (б)

Як видно із рисунків, кут α_0 визначається аналогічно із азимутальним кутом положення Сонця. У такому випадку, використовуючи всі введені астрономічні, географічні та технічні кути, можна навести кінцевий вираз для розрахунків косинуса кута падіння γ сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню сонячного елемента в заданій географічній точці земної кулі в заданий момент часу експлуатації.

Для забезпечення потрапляння на стаціонарні сонячні елементи без систем орієнтації максимальної кількості сонячної енергії їх монтують в похилому стаціонарному положенні з оптимальним кутом нахилу до горизонту β_0 , який визначається розрахунковим методом і залежить від періоду використання сонячної електростанції. Зокрема розрахунки для сонячних колекторів показують, що при південному їх орієнтуванні для цілорічного використання $\beta_0 = \varphi$, а для сезонного літнього використання $\beta_0 = \varphi - 15^\circ$.

У найбільш оптимальному стаціонарному варіанті встановлення сонячних елементів вони орієнтуються точно на південь. Тоді кут $\alpha_0 = 0$ і його можна не приймати до уваги при програмуванні МК. Кут же β в цьому випадку просто віднімається від астрономічного кута висоти Сонця

h при визначенні точної орієнтації панелей за висотою на даний момент часу.

Для програмування МК можна використати й інший метод встановлення необхідних кутів орієнтації панелей. Він полягає у розрахунках математичних функцій кутових швидкостей змін азимута та висоти Сонця протягом кожного дня року. У даному методі проміжки часу, за які змінюються кути, потрібно вибирати невеликими, щоб якомога точніше координувати положення сонячної панелі.

Важливою умовою застосування такого методу є обертання панелей весь день з постійною швидкістю. Однак дослідження показують, що ця умова в більшості випадків не виконується. Зокрема, на рисунку 6.10 видно, що зміни відповідних астрономічних кутів є суттєво нелінійними. Відповідно, підтримання постійних швидкостей переорієнтування панелей за висотою та азимутом не забезпечить оптимального відбору потужності від панелей. З рис. 6.10 також добре видно, як змінюється довжина світлового дня впродовж року, що впливає на кількість виробленої енергії.

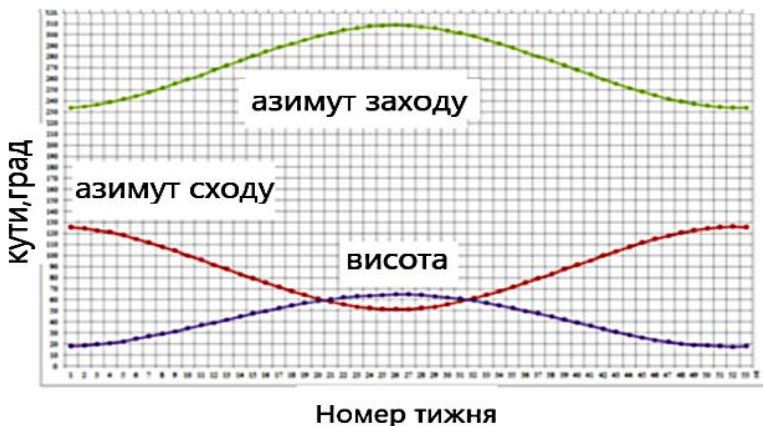


Рис. 6.10. Графік зміни кутів азимуту сходу і заходу Сонця та висоти Сонця над горизонтом для місцевості Києва

Дані рис. 6.10 дають кути для кожного понеділка всіх тижнів року. Можна запрограмувати МК на рівномірну зміну між понеділками кута азимуту сходу та заходу Сонця, але в цьому випадку орієнтування панелі буде менш точним. Для точнішого орієнтування протягом тижня потрібно проводити розрахунок для кожного його дня. Для прикладу результати таких розрахунків за нашою астрономічною моделлю для 21 червня для регіону Ужгорода наведені на рис. 6.11.

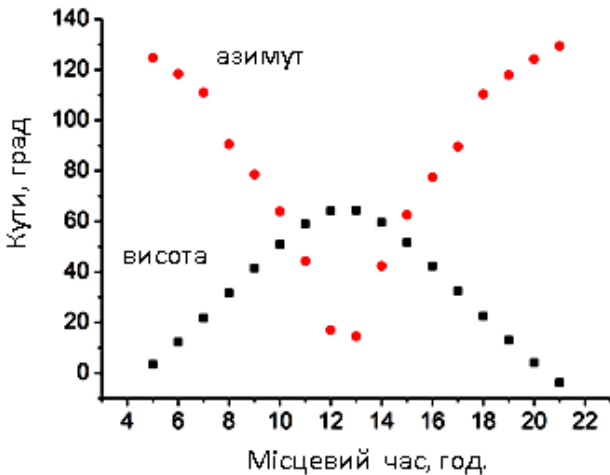


Рис. 6.11. Погодинна зміна кутів висоти та азимуту Сонця на 21 червня для регіону Ужгорода

Розроблена вище астрономічно-географічна модель застосовується для програмування МК систем точної орієнтації. Однак вона також стане в нагоді і власникам стаціонарних сонячних електростанцій. Завдяки їй вони можуть вручну встановлювати оптимальні кути повороту сонячних панелей для різних сезонів експлуатації.

ЧАСТИНА II

ТЕХНІЧНІ СИСТЕМИ

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

РОЗДІЛ 7. СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ

7.1. Конструкції технічних сонячних колекторів

Сонячний колектор – пристрій для збирання теплової енергії Сонця в інфрачервоному і видимому спектрі. Сонячні колектори використовують для нагрівання води і опалення приміщень. Принцип їх роботи полягає в циркуляції води через теплообмінник, де вона нагрівається сонячним випромінюванням, і подачі нагрітої води в систему опалення чи гарячого водопостачання. Виділяють плоскі й вакуумні сонячні колектори.

Конструкція плоских колекторів. Основою плоского колектора є пластина добре теплопоглинаючого та теплопровідного матеріалу (рис.7.1). До цієї пластини кріплять систему трубок для руху теплоносія, забезпечуючи хороший тепловий контакт між самою пластиною і трубками. Зверху теплопоглинаючої пластини наносять спеціальне покриття – абсорбер. Дане покриття має високу поглинальну здатність сонячних променів у видимому та інфрачервоному діапазоні спектру і низький коефіцієнт випромінювання в цих спектральних областях. Верхню частину колектора покривають склом, а задню і бокові стіни – теплоізолюючим матеріалом.

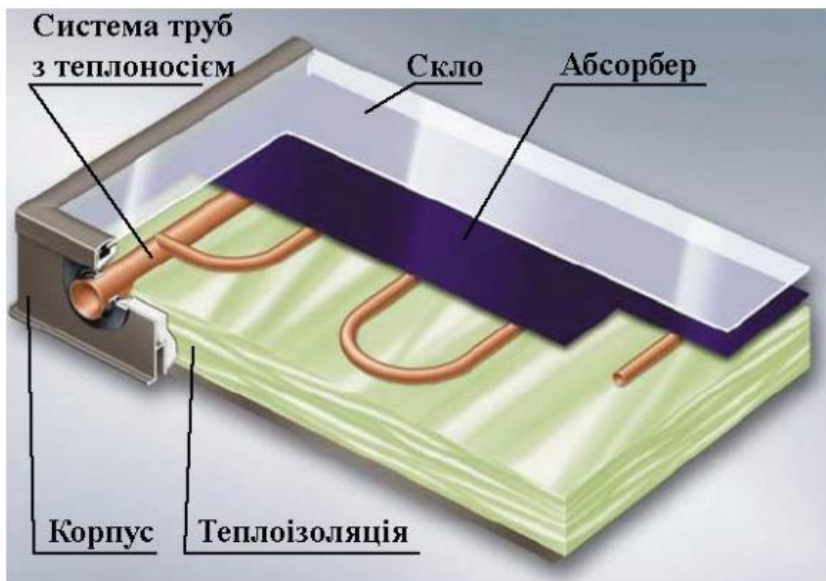


Рис. 7.1. Конструкція плоского колектора

Спрощеним варіантом плоского колектора є пластиковий колектор. У ньому об'єднують теплопоглинаючу пластину з абсорбером, виготовляючи їх із спеціального пластику. У такій пластиковій основі розміщують систему труб з теплоносієм. Як правило, пластикові колектори не теплоізолюють. Тому такі пристрої використовують лише в літню пору, зокрема, для підігріву води басейнів.

Конструкція вакуумних колекторів. Вакуумні колектори складають з окремих скляних вакуумованих трубок (рис.7.2). У кожній трубці розміщено мідний трубопровід теплоносія, з'єднаний з титановим покриттям, яке забезпечує високий рівень поглинання сонячного випромінювання. При цьому створений у трубці вакуум дозволяє мінімізувати втрати на теплопровідність від трубопроводу до стінок скляної трубки.

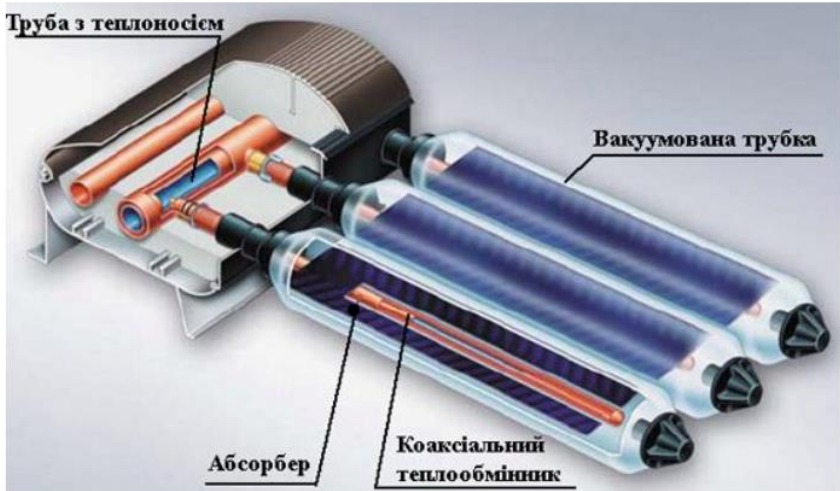


Рис. 7.2. Конструкція звичайного вакуумного колектора

Як правило, у трубках встановлюють коаксіальний (трубка розміщена в іншій трубці) трубопровід-теплообмінник. Через нього теплоносієм отримує тепло від абсорбера і направляється в систему використання отриманої теплової енергії.

Слід мати на увазі, що, за умови використання води як теплоносія, плоскі і вакуумні колектори можливо використовувати лише за температур вищих нуля за Цельсієм. Для застосування таких пристроїв при «мінусових» температурах, у якості носія слід використовувати спеціальні антифризи. Зрозуміло, що в такому випадку систему теплопостачання доцільно брати двоконтурною. У такій системі монтують спеціальний додатковий теплообмінник, через який тепло від трубок з антифризом передається до приладів теплозабезпечення оселі.

Для використання при низьких температурах існують і спеціальні типи колекторів із фазовими переходами (рис.7.3). Всередині вакуумних трубок даних пристроїв

розміщують металеву теплову трубку з рідиною, яка має низьку температуру кипіння. Під дією теплоти абсорбера рідина випаровується і її пари піднімається у верхню частину трубки, яка з'єднана з теплообмінником по якому протікає антифриз. У теплообміннику пара конденсується і віддає свою теплову енергію антифризу. Цей тип колекторів може працювати за температур зовнішнього повітря до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо теплова трубка виготовлена зі скла. Якщо ж теплова трубка металева, то колектор можна експлуатувати до зовнішніх температур біля $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

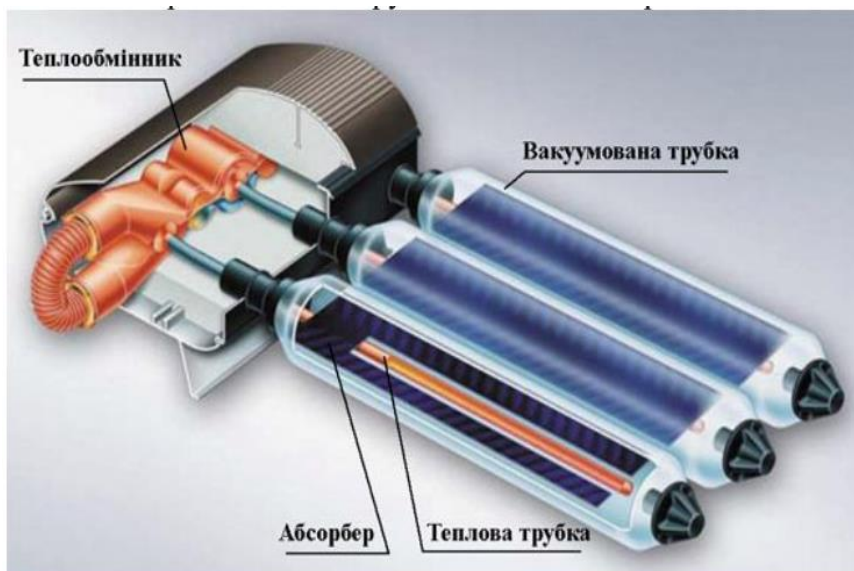


Рис. 7.3. Вакуумний колектор з фазовим переходом

7.2. Ефективність використання сонячних колекторів

Коефіцієнт корисної дії сонячних колекторів визначається як відношення корисної теплової енергії,

відведеної від абсорбера до теплоносія, до сумарної енергії сонячного випромінювання, яке потрапляло на поверхню колектора.

У колекторах основними є дві складові: оптична і теплопровідна.

Оптичні втрати виникають за рахунок відбивання сонячного випромінювання від поверхні елементів колектора. Дані втрати характеризуються оптичним ККД колектора. У більшості випадків цей ККД слабо залежить від умов експлуатації колекторів і переважно визначається матеріалом та параметрами захисної поверхні і абсорбера. При цьому оптичний ККД плоских колекторів дещо більший, ніж у вакуумних.

Втрати за рахунок теплопровідності збільшуються при зростанні різниці температур ΔT між зовнішнім середовищем та абсорбером. При цьому дані втрати залежать від величини ΔT майже за лінійним законом.

Загальний ККД сонячних колекторів є сумою описаних вище двох вкладів. Спрощена формула для розрахунку сумарного ККД колекторів має вигляд:

$$\eta_k = \eta_{k0} + (k \cdot \Delta T) / P,$$

де η_{k0} – оптичний ККД, який є певною константою для даного типу колекторів;

– P – інтенсивність потоку сонячного випромінювання на колекторі;

– k – коефіцієнт, який враховує ступінь теплоізоляції колектора.

Дослідження показують, що для плоских колекторів коефіцієнт k змінюється від 3 до 5, для вакуумних колекторів – від 0,7 до 1,1, а для пластикових колекторів – від 40 до 100.

Для точного визначення ККД певного колектора проводять експериментальні дослідження. Зокрема, типова експериментальна залежність ККД різних типів колекторів

від різниці температур ΔT наведено на рис.7.4. Аналіз наведеного рисунку показує, що внаслідок менших теплових втрат вакуумні та плоскі колектори мають суттєво більший сумарний ККД при великій різниці температур між абсорбером і навколишнім середовищем (30°C і вище). При цьому на практиці можна вважати ККД вакуумних і плоских колекторів досить близькими. У той же час пластикові колектори мають малу ефективність функціонування при перевищенні параметром ΔT величини 40 градусів.

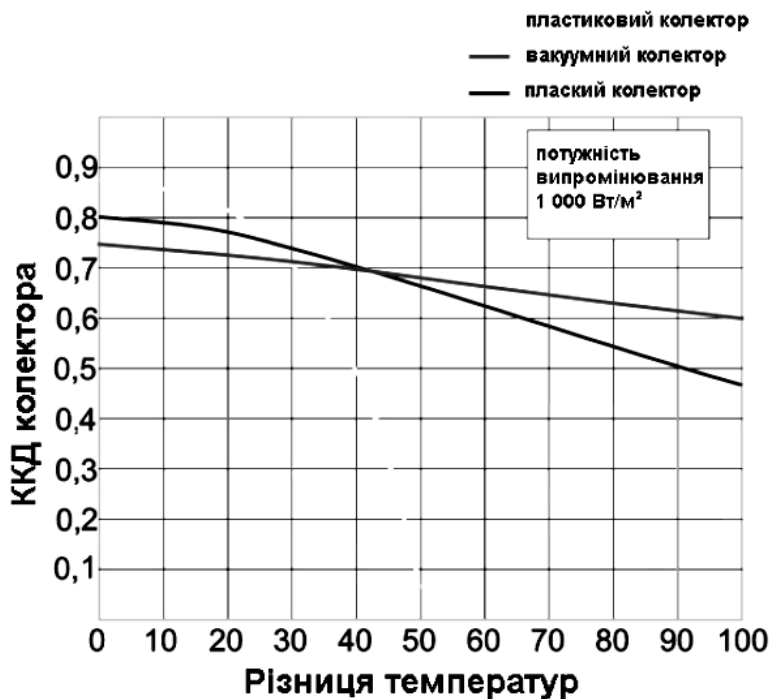


Рис. 7.4. Типова залежність ККД різних типів сонячних колекторів від різниці температур між абсорбером і навколишнім середовищем

7.3. Сонячні ставки

Сонячні ставки – це спеціальні водойми з солоною водою, концентрація солей в яких поступово зростає від поверхневих шарів до придонних. Сонячне проміння вільно проходить через поверхневі прісні шари води і віддає свою енергію темному дну водойми, яке нагріває придонні солені шари води. Через більшу концентрацію солей у придонних шарах, вони мають більшу густину, що усуває явище конвекції. Тому нагріта вода придонного шару не перемішується з холодною поверхневою водою. Це дозволяє нагріти придонні шари води до температури (70-90) °С. Прісний поверхневий шар водойми виконує роль теплового ізолятора, тому сонячний ставок також можна використовувати як тепловий акумулятор енергії, який дозволяє накопичувати теплову енергію протягом літнього періоду, а використовувати – взимку [2].

Для створення штучного сонячного ставка глибиною до 3 м необхідно до 1000 кг солі або хлориду магнію на 1 м² площі. Ефективність перетворення сонячної енергії в теплову складає 15 – 25 %. Відбір теплоти від сонячних ставків здійснюють з придонного шару теплообмінником. Нагрітий теплоносій використовують у системах опалення чи в системах гарячого водопостачання, рідше – для виробництва електроенергії.

Сонячні ставки доцільно експлуатувати в тропічних широтах. Промислові зразки сонячних ставків у наш час експлуатують у США та Ізраїлі. Через специфіку використання та низький ККД сонячні ставки не знаходять широкого застосування.

РОЗДІЛ 8. ТЕПЛОВІ НАСОСИ

Важливим напрямком розвитку ресурсозберігаючих систем є використання низько потенціальних та низько температурних джерел теплоти штучного та природного походження. Найбільш успішним на сьогодні тут є застосування теплових насосів (ТН).

8.1. Основні терміни і визначення

Тепловий насос – пристрій для передавання теплової енергії від джерела низько потенціальної теплової енергії з низькою температурою до споживача тепла з вищою температурою.

Термодинамічний цикл – термодинамічний процес, у результаті якого система після декількох змін свого стану повертається в початковий стан.

Прямий термодинамічний цикл – термодинамічний цикл, у якому до системи підводять теплову енергію за вищої температури, а відводять теплову енергію за нижчої температури. У такому процесі різницю теплових енергій використовують на виконання роботи.

Обернений термодинамічний цикл – термодинамічний цикл, у якому до системи підводять теплову енергію за нижчої температури, а відводять теплову енергію за вищої температури. Для проведення такого процесу витрачається певна робота.

Цикл Карно — ідеальний термодинамічний цикл, який має чотири фази:

- робоче тіло нагрівається за постійної температури;
- робоче тіло розширюється за постійної ентропії;
- робоче тіло охолоджується за постійної температури;
- робоче тіло стискається за постійної ентропії.

8.2. Загальна характеристика низько потенціальних джерел теплової енергії та технічних систем їх використання

Ефективність роботи ТН суттєво залежить від параметрів застосованого джерела низько потенціальної теплоти. Основними із них є:

- виробничі і комунально-побутові рідини та теплові стоки;
- виробничі газові та повітряні потоки;
- сонячне випромінювання;
- зовнішнє повітря;
- ґрунт;
- річкові, морські та озерні водойми.

Для нормальної роботи ТН джерело теплової енергії повинно підтримувати стабільно відносно високу температуру протягом сезону обігріву оселі, бути екологічно «чистим» і мати низькі експлуатаційні витрати при використанні. Найбільш розповсюджені джерела низько потенціальної теплоти наведено в табл.8.1 з їхніми температурними показниками.

Таблиця 8.1

Температурні показники різних джерел низько потенціальної теплової енергії

Джерело теплової енергії	Діапазон температур джерела, °С
Повітря	від -10 до +15
Поверхневі ґрунтові води	від +7 до +12
Глибинні ґрунтові води	від +10 і вище
Річкова та озерна вода	від 0 до +10
Морська вода	від +3 до +8
Ґрунт	від 0 до +10

Наведемо коротку характеристику основних джерел низько потенціальної теплоти.

Повітря є найдоступнішим джерелом тепла. Для відбору тепла від повітря випаровувач ТН розташовують на вулиці, на стіні або даху будинку. Теплонасосні системи даного типу мають найменшу вартість. Однак вони дають низьку ефективність через ряд причин:

- велику різницю температур системи опалення і навколишнього середовища;
- значне зниження температури повітря взимку;
- необхідні додаткові енергозатрати на розморожування випаровувача.

Останній недолік пов'язаний з тим, що за великої вологості і від'ємної температури повітря на поверхні випаровувача утворюється іній, що призводить до зниження потужності ТН. Розморожування випаровувача здійснюють зазвичай реверсом роботи ТН.

Грунтові води. У порівнянні з іншими джерелами, ґрунтова вода забезпечує найменшу різницю температур між випаровувачем та конденсатором і, відповідно, найбільший коефіцієнт трансформації теплової енергії. Для відбору енергії від ґрунтових вод використовують дві свердловини (рис.8.1): по одній воду закачують до теплонасосної системи, а по другій воду, охолоджену у випаровувачі, повертають назад. Важливо, щоб приймальна свердловина знаходилась вище за течією ґрунтових вод ніж відвідна. Тоді вода, охолоджена у випаровувачі, не буде використовуватися повторно [2].

Основним недоліком систем на основі ґрунтових вод є висока вартість робіт буріння і облаштування свердловин.

Теплонасосні системи з **річковою або озерною водою** мають меншу вартість. Але для них характерні і свої недоліки:

- низька температура води в зимовий період;

- необхідність використовувати замкнену систему трубопроводів з незамерзаючим теплоносієм.

Морська вода є одним з найкращих джерел низько потенціальної теплової енергії. На глибині від 25 м до 50 м морська вода має майже постійну температуру біля 7 °С. З врахуванням того, що морська вода замерзає за температури нижче ніж -2 °С, проблем з утворенням льоду на випарувачі теж не виникає [2].

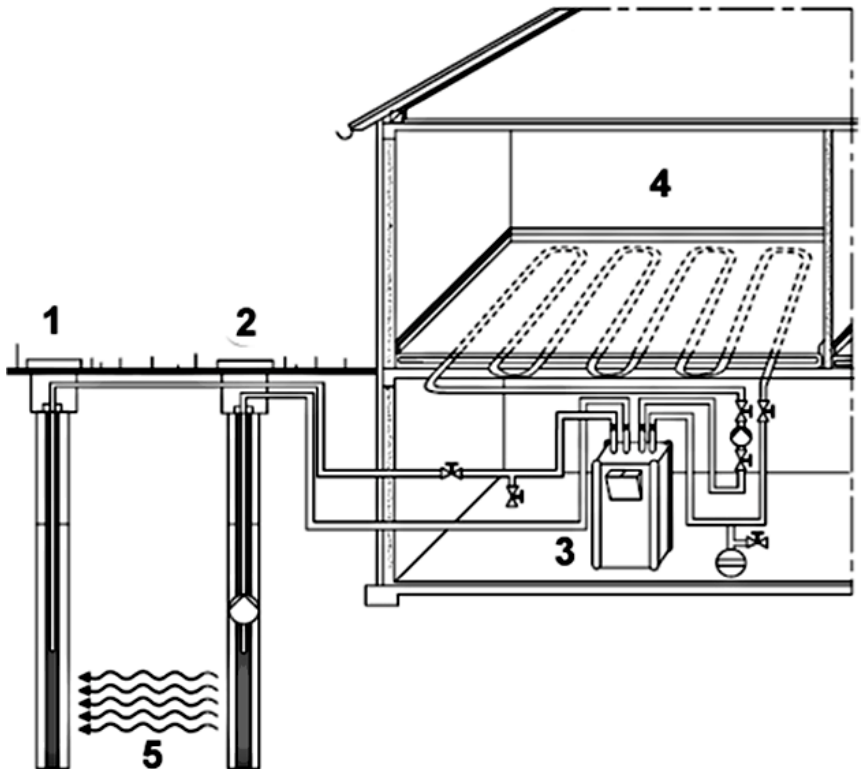


Рис. 8.1. Конструкція теплонасосної системи на основі ґрунтових вод: 1 – відвідна свердловина, 2 – приймальна свердловина, 3 – ТН, 4 – система опалення «тепла підлога», 5 – напрям течії ґрунтових вод

Ґрунт як і ґрунтові води має стабільну температуру, яка забезпечує достатньо високий коефіцієнт трансформації енергії. Тепло від ґрунту відбирають системою трубопроводів, які можуть розміщуватись горизонтально (ґрунтові колектори) або вертикально (ґрунтові зонди), у яких циркулює теплоносій.

У ґрунтових колекторах відбір тепла ґрунту здійснюють системою пластикових труб, розміщених на достатньо великій площі. Пластикові труби з поліетилену або поліхлорвінілу вкладають у ґрунт на глибину біля 1 м на відстані біля 0,5 м паралельно одна одній так, щоб на 1 м² було прокладено біля 1,5 м труб. Способи укладання труб ґрунтових колекторів показано на рис. 8.2.

На обмежених за площею ділянках використовують ґрунтові зонди, які теж виготовляють з поліетиленових або пропіленових труб. У більшості випадків у кожному зонді встановлюють чотири труби: у двох трубах теплоносій тече в напрямку випаровувача, у двох інших – у зворотному напрямку.

Всі порожнини між трубами ґрунтових колекторів заповнені матеріалом з високою теплопровідністю (наприклад, бетоніт).

Ґрунтові зонди монтують бурильними установками на глибину біля 100 м. Відстань між зондами повинна бути не менше 5 м [2].

При цьому кількість відібраного тепла (а, відповідно, і площа поверхні теплообміну) залежать від теплофізичних властивостей ґрунту:

- сухий піщаний – (10 - 15) Вт/м²;
- сирий піщаний – (15 - 20) Вт/м²;
- сухий глинистий – (20 - 25) Вт/м²;
- сирий глинистий – (25 - 30) Вт/м²;
- водоносний – (30 - 35) Вт/м².

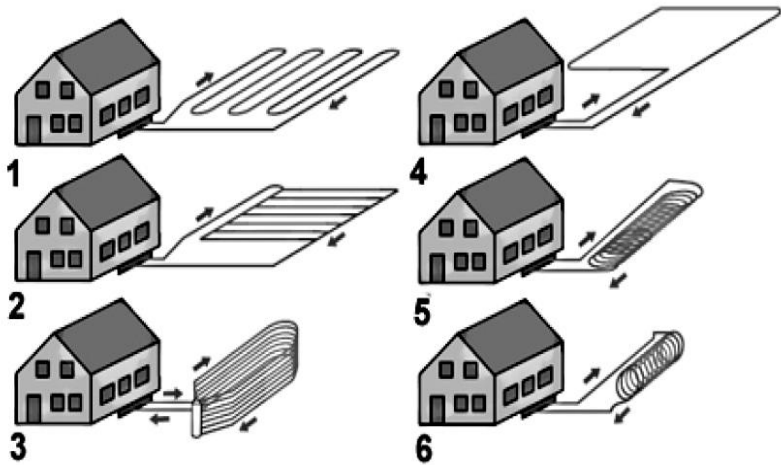


Рис. 8.2. Типи ґрунтових колекторів: 1 – із послідовно з’єднаних труб, 2 – із паралельно з’єднаних труб, 3 – укладений в траншеї, 4 – у формі петлі, 5 – спіральний, укладений горизонтально, 6 – спіральний, укладений вертикально

У цілому в теплонасосних системах типу ґрунт використовують внутрішній контур замкненого типу по якому циркулює теплоносій (вода + антифриз). У таких системах відбувається подвійний теплообмін: ґрунт-теплоносій та теплоносій-випаровувач.

Питання про доцільність використання того або іншого джерела низько потенціальної теплоти є комплексним. Воно тісно пов'язане з технічним устроєм, вартістю і ефективністю роботи систем споживання теплоти в оселі. Зокрема, для вирішення питання про можливість та доцільність застосування конкретної теплонасосної схеми необхідно приймати до уваги:

- співвідношення потенціалу наявного джерела теплової енергії з потребою теплоти для конкретної оселі;

- температурні параметри та агрегатний стан джерела теплової енергії і їх можливі часові зміни при функціонування системи обігріву;
- кореляції змін в часі параметрів джерела енергії та системи обігріву й гарячого водопостачання;
- віддаленість джерела теплової енергії від місця її споживання.

Вважається, що в сучасних умовах ТН в Україні доцільно використовувати переважно для створення індивідуальних комплексних теплонасосних систем обігріву та гарячого водопостачання.

8.3. Розвиток теплових насосів

Основою функціонування ТН є здійснення зворотного термодинамічного циклу. У результаті параметри теплової енергії навколишнього середовища або від вторинних енергоносіїв перетворюються до рівня, який необхідний для теплопостачання осель. При цьому споживається приблизно у два рази менше первинної енергії, у порівнянні з традиційними системами теплопостачання. У таких системах правильно розроблений та експлуатований ТН забезпечує для споживача біля 3 кВт·год теплоти на кожен кВт·год витраченої електричної енергії.

Крім високої енергетичної ефективності робота ТН також характеризується:

- екологічною чистотою;
- високою надійністю;
- можливістю комбінованого виробництва теплоти і холоду в єдиному циклі;
- універсальністю за тепловою потужністю і за видом використовуваної теплової енергії;
- пожежо- безпечністю;
- повною автоматизацією процесу роботи.

Перші реально діючі ТН створювалися для холодильників. По мірі розвитку теплонасосних систем для потреб теплопостачання було створено ряд спеціалізованого обладнання.

Найпершими були розроблені агрегатовані ТП на базі поршневих компресорів. На сьогодні такі пристрої за принципом дії підрозділяються на компресійні, сорбційні і термоелектричні. Однак, проведені різнопланові дослідження показали, що найбільш перспективними для теплопостачання будівель в даний час є пароконпресійні (або пароконпресорні) ТН. Сучасні тенденції створення енергоефективних систем на основі ТН даного типу полягають в наступному:

- вдосконалення конструкцій компресорів, теплообмінних апаратів, регулюючих пристроїв і засобів автоматичного керування;
- підвищення надійності і збільшення терміну служби обладнання;
- застосування відповідних систем ТН для відбору теплової енергії від виробничих і побутових відходів;
- збільшення застосування систем ТН на об'єктах, де необхідні попеременно або одночасна подача теплоти і холоду;
- регулювання рівномірності енергетичного навантаження електричних систем протягом доби;
- запобігання процесів обмерзання випарників ТН та інше.

Перспективність широкого використання ТН на сьогодні підтверджується світовим досвідом проектування, створення і експлуатації таких систем різного призначення.

8.4. Принципи функціонування ТН та загальна схема систем теплопостачання на їх основі

Як відомо, у теплових двигунах до робочого тіла підводиться теплота високого енергетичного потенціалу (при високих температурах і тиску робочого тіла), яка перетворюється в механічну роботу і теплоту низького енергетичного потенціалу. ТН діють за оберненим принципом. У них до робочого тіла підводиться низько потенціальна теплова енергія з низькою температурою. У результаті виконання необхідної роботи над таким робочим тілом, воно переходить у термодинамічний стан з більш високою температурою. Тобто, такі ТН працюють на основі зворотного термодинамічного циклу Карно або Ренкіна.

Відповідно до здійснюваних термодинамічних процесів ТН є однотипним обладнанням з холодильними машинами. Але при цьому ТН призначені для обігріву об'єктів, тоді як холодильники – для їх охолодження. Спільність принципів дії та конструктивного виконання зумовила загальну назву теплових насосів і холодильних машин – трансформатори теплоти (термо трансформатори).

Загальна схема будови та функціонування ТН парокompресійного типу наведена на рис.8.3.

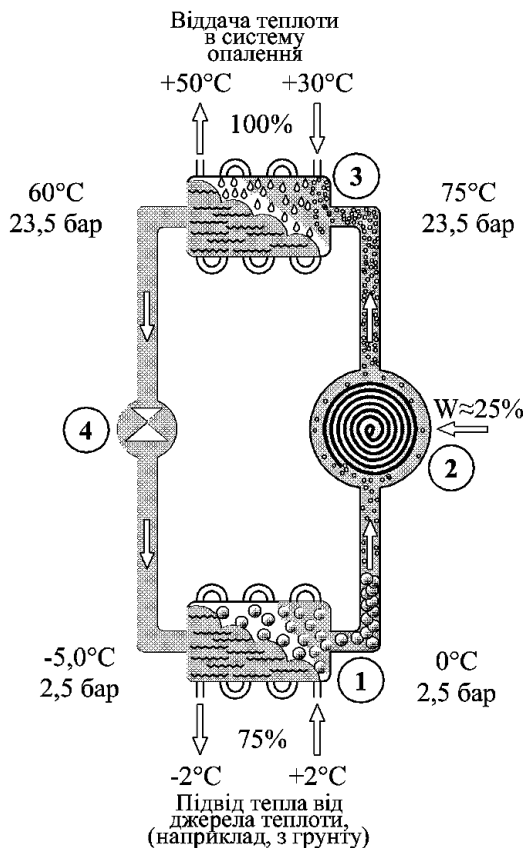


Рис. 8.3. Будова та принцип роботи компресійного ТН з робочим тілом (холодоагентом) в циркуляційному контурі.

На рисунку: 1 – теплообмінник-випарник; 2 – компресор;
3 – теплообмінник-конденсатор; 4 – дросельний вентиль

Загальним природнім законом є те, що звичайний теплообмінник дозволяє передавати теплоту тільки від більш нагрітого середовища до менш нагрітого. Фізично це забезпечується випаровуванням у теплообміннику робочого тіла – рідини з низькою температурою випаровування за рахунок теплової енергії навколишнього середовища. Під час зміни агрегатного стану з рідкого в

газоподібний робоче тіло накопичує достатньо велику теплову енергію. У результаті температура середовища навколо теплообмінника ТН буде зменшуватися (на рис.8.3 це відповідає зменшенню температури від $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$). При цьому можна вважати, що передача теплоти на випаровування робочого тіла в теплообміннику відбувається самовільно і без додаткових витрат енергії.

Згідно другого закону термодинаміки, в компресійному ТН передача теплової енергії в бік підвищення температури середовища неможлива без додаткових витрат механічної потужності. Тому окрім теплообмінних апаратів кожен компресійний ТН містить компресор, на функціонування якого й затрачається певна електрична енергія. Даний компресор стискає (у 5 – 10 разів) та нагнітає в конденсатор пари робочого тіла.

У конденсаторі відбувається конденсація парів робочого тіла, яка супроводжується віддачею теплової енергії. Ця енергія йде на нагрівання оселі (на рис.8.3 це відповідає збільшенню температури від $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Перетікання робочого тіла з різними фазовими станами від конденсатора до випарника забезпечує регулюючий вентиль – дросель.

Усі елементи ТН зв'язані між собою системою трубопроводів для циркуляції робочого тіла по замкненому контуру.

Найважливішою енергетичною характеристикою ТН є його коефіцієнт трансформації енергії (або коефіцієнт ефективності) η . Він показує у скільки разів кількість теплової енергії, отриманої споживачем, більша від кількості енергії, спожитої компресором. Цей показник визначає як техніко-економічні показники ТН, так і межі їхньої конкурентоспроможності відносно інших джерел теплоти, а значить, і масштаби доцільності використання ТН в тепlopостачанні.

Коефіцієнт η ТН з ідеальним циклом Карно визначається як:

$$\eta_i = T_c / (T_c - T_e), \quad (8.1)$$

де T_c – абсолютна температура конденсації робочого тіла;
 - T_e – абсолютна температура випаровування (кипіння) робочого тіла.

У реальному ТН, внаслідок реалізації не ідеального робочого циклу та додаткових втрат енергії у дроселі і компресорі, коефіцієнт трансформації енергії зменшується приблизно вдвічі. Для врахування таких втрат використовують параметр $h = \eta/\eta_i$. Середні значення параметра h для ТН різної потужності наведено у табл. 8.2.

Таблиця 8.2

Залежність параметра ефективності h від потужності ТН

Потужність ТН, кВт	0,5	2	20	50	500	5000
h , від.од.	0,25	0,35	0,45	0,55	0,65	0,75

Як слідує із наведених даних, для індивідуальних осель доцільно застосовувати ТН з потужністю кілька кВт, які мають параметр ефективності біля 40 %.

Для вирішення питань раціонального використання теплової енергії низького потенціалу недостатньо просто замінити різні опалювальні котли на ТН. Головною передумовою ефективного вирішення цієї задачі є правильний вибір та розрахунки оптимальної теплонасосної системи в цілому. Для прикладу, на рис.8.4 наведено один із варіантів виконання індивідуальної комплексної теплонасосної системи забезпечення обігріву та гарячого водопостачання оселі.

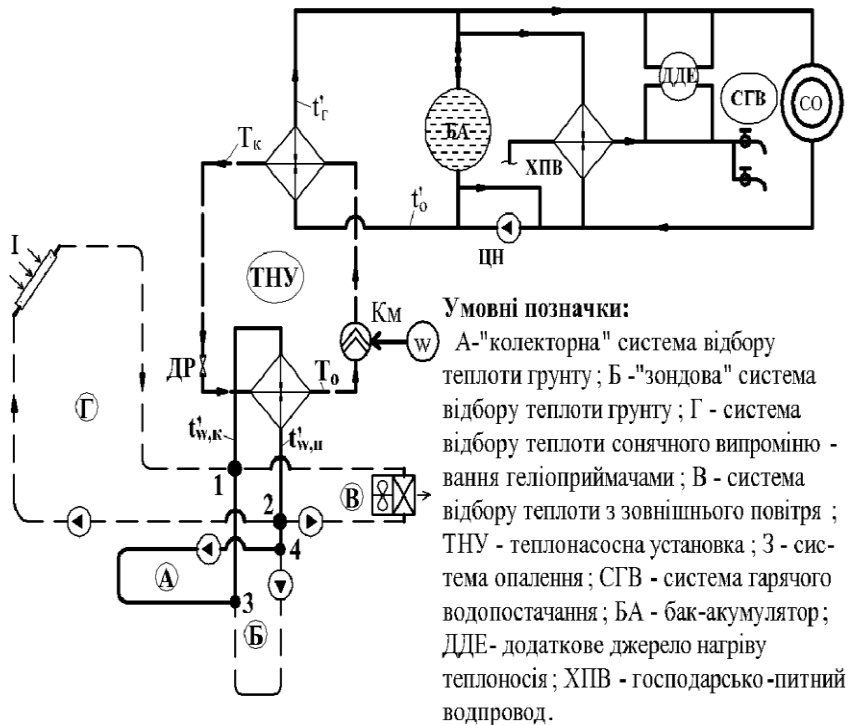


Рис. 8.4. Приклад комплексної теплонасосної системи забезпечення обігріву та гарячого водопостачання індивідуальної оселі

8.5. Основні типи теплонасосних систем та базові вимоги до них

На сьогодні практичне використання знаходять кілька основних типів теплонасосних систем. За призначенням вони забезпечують обігрів приміщень, обігрів і кондиціонування, обігрів та гаряче водопостачання.

За типом компресорного обладнання ТН виділяють спіральні, поршневі, гвинтові та турбокомпресорні системи.

За видом підсистем, які входять в теплонасосну систему, їх поділяють на одно-, дво- та більшконтурні. При цьому окремі контури можуть бути розімкнені (як у кондиціонері) або замкнені. Також теплонасосні системи бувають моновалентні і бівалентні. Моновалентні системи забезпечують теплопостачання лише за рахунок роботи ТН. До складу бівалентних систем входить додатковий пристрій обігріву (котел або електрообігрівач), який працює лише за пікових навантажень.

Моновалентні системи розраховують на пікову теплову потужність, яка повинна генеруватися для обігріву оселі в найбільш холодні періоди року з найнижчими температурами (наприклад $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). У бівалентних системах ТН розраховують не на пікову, а на середню генеровану теплову потужність протягом року (наприклад на зовнішню температуру $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Тому в таких системах ТН працює протягом всього сезону, а додатковий обігрівач лише в найбільш холодні періоди. Використання бівалентних систем дозволяє зменшити вартість теплонасосної системи в цілому. Однак при цьому збільшуються витрати на закупівлю додаткових енергетичних ресурсів для додаткового обігрівача.

При розробці систем з використанням ТН необхідно враховувати наступне [2]:

- система повинна забезпечувати обґрунтоване значення коефіцієнта перетворення теплової енергії для відповідного низькотемпературного джерела теплоти, значення якого збільшується при зменшенні різниці між температурами теплоносія джерела та теплоносія абонентської системи опалення;
- з теплоенергетичної оцінки очевидно, що слід використовувати низько потенціальні джерела з вищою температурою, а абонентські системи – з

нижчими температурами. Орієнтовно можна вважати, що зниження температури теплоносія для абонентської системи на 1°C веде до збільшення коефіцієнта перетворення приблизно на 2%;

- при проектуванні теплонасосних систем необхідно передбачати такі рішення, за яких сезонний коефіцієнт перетворення був би не меншим мінімального нормованого значення;
- теплонасосну систему розробляють з мінімальною кількістю запусків на одну добу;
- теплонасосна система повинна відповідати технічним умовам виробника ТН;
- теплонасосна система має бути достатньо автоматизованою та зручною для експлуатації без постійного обслуговування.

При рішенні про доцільність застосування ТН в системах обігріву слід обов'язково враховувати обсяги теплової енергії, необхідні для оселі в різні пори року. У більшості випадків для території України може виявитися доцільним покриття пікових навантажень не ТН, а окремим додатковим джерелом теплоти.

Таким чином, рішення про застосування конкретної теплонасосної системи має ґрунтуватися на основі аналізу вихідних даних про джерелу теплоти, існуючої абонентської системи обігріву оселі та умов їх сумісного режиму роботи з іншим обладнанням з позицій досягнення оптимальної ефективності енергозбереження.

8.6. Обґрунтування оптимальної структури теплонасосної системи

Один з можливих варіантів універсальної теплонасосної системи наведено у вигляді принципової схеми на рис. 8.5. Дана система складається з контуру ТН

компресійного типу і низькотемпературної системи панельного або повітряного опалення оселі. Коротко проведемо опис принципу дії окремих елементів і підсистем рис. 8.5 в їх функціональному взаємозв'язку.

Підсистема ТН включає замкнутий контур, який складається з компресора (КМ), конденсатора (Кд), пароперегрівача-охолоджувача (РТО), дросельного вентиля (ДР) і випарника (В). Компресор з електроприводом (W) засмоктує перегріті пари робочого тіла (наприклад, фреону) в термодинамічному стані 1 і стискає їх. У результаті підвищується температура і тиск робочого тіла до стану 2.

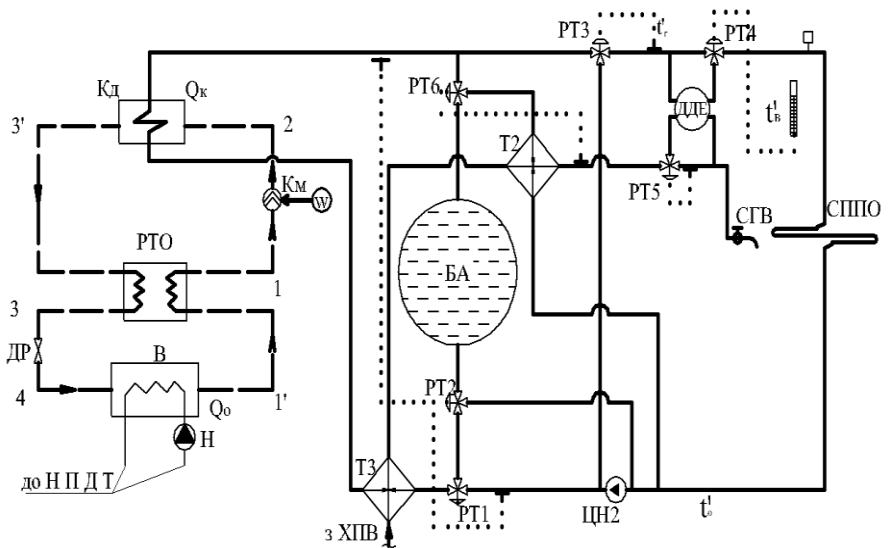


Рис. 8.5. Принципова схема теплонасосної системи водяного опалення та гарячого водопостачання (умовні позначення розшифровані в тексті)

У конденсаторі відбувається конденсація пари робочого тіла з передачею теплоти контуру водяної системи опалення. Після конденсатора робоче тіло переохолоджується до рідинного стану 3. У дросельному вентилі відбувається зниження тиску і пониження температури робочого тіла з перетворенням його в парорідинний стан 4.

Після цього робоче тіло поступає у випарник, де відбувається процес його кипіння, при якому теплота сприймається від низько потенціального теплоджерела (НПДТ). Отримана пара знову поступає в компресор для повторення циклу.

Як правило, у схемах фреонових ТН доцільно передбачати регенеративні теплообмінники (РТО). Вони забезпечують додатковий нагрів всмоктуваної компресором пари за рахунок переохолодження конденсату перед його дроселюванням.

Підсистема обігріву оселі. У складі теплонасосних систем доцільно використовувати низькотемпературні системи обігріву. Однією з них є панельно-променеви́й обігрів (СППО) із температурою нагріваючих поверхонь біля 30°C. Підсистема ТН сполучена з підсистемою обігріву трубопроводами через теплообмінник-конденсатор, який передає теплову енергію теплоносію системи обігріву.

Для оптимального функціонування теплонасосної системи до її складу також вводять ряд допоміжних підсистем.

Підсистема бак-акумулятор (БА) забезпечує «згладжування» режимів нерівномірного споживання теплоти системою обігріву в умовах нерівномірного або періодичного виробництва енергії ТН. У період ефективної безперервної роботи ТН тепловий потік поступає в систему обігріву і паралельно на «зарядку» бака-акумулятора. У

разі припинення роботи ТН забезпечення теплотою підсистеми обігріву здійснюється від бака-акумулятора.

Підсистема подачі холодної води (ХПВ) забезпечує компенсацію втрат води в системі обігріву та гарячого водопостачання (відбір води з крану СГВ). З її допомогою також забезпечується підтримка необхідної температури теплоносія на вході в систему обігріву в залежності від змінної температури зовнішнього повітря оселі.

Додаткове джерело енергії (ДДЕ) необхідне для додаткового нагрівання води в системі обігріву при недостатній тепловій потужності ТН або при неспівпадінні режимів вироблення та споживання теплоти в системі. Для цього доцільно застосовувати електричний або газовий котел.

Додаткове обладнання обслуговування та керування системою. У його склад входить циркуляційний насос (ЦН) для створення потоку води у трубопроводах обігріву та гарячого водопостачання. Температурні регулятори (РТ) виконують перемикання різних вентилів для забезпечення необхідних режимів роботи підсистем теплонасосного обігріву. При цьому керуючі сигнали для них надходять від датчиків температури Т1, Т2, Т3.

РОЗДІЛ 9. СОНЯЧНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

9.1. Електростанції із сонячними концентраторами

Принцип дії сонячних концентраторів полягає у фокусуванні сонячного випромінювання набором дзеркал на ємності з теплоносієм. У кожному концентраторі вмонтована автоматична інтегрована комп'ютерна система стеження за рухом Сонця (розділ 6). У результаті відбиті від дзеркал сонячні промені завжди спрямовані на центральний тепловий приймач електростанції. При цьому концентрація сонячного випромінювання на приймачі в сотні разів більша за звичайну його інтенсивність.

Існує три типи сонячних концентраторів:

- параболоциліндричні;
- параболічні;
- баштові.

Параболоциліндричні концентратори мають форму параболи, витягнутої вздовж прямої (рис. 9.1). Вони фокусують сонячне випромінювання у пряму лінію з не менше як стократним підсиленням інтенсивності. У фокусі розміщують трубку з теплоносієм, який нагрівається до температур в діапазоні від 300 °С до 400 °С. Нагрітий теплоносій подають у теплообмінник для утворення перегрітої водяної пари, яку використовують для виробництва електроенергії за допомогою парових турбін.



Рис. 9.1. Параболоциліндричний концентратор

Потужність сонячних електростанцій з таким типом концентраторів складає від 10 МВт до 100 МВт, а ККД не перевищує 25 %.

Існують варіанти параболоциліндричних сонячних концентраторів, у фокусі яких розміщують напівпровідникові фотоелементи. Це дозволяє спростити конструкцію електростанції та зменшити площу фотогенеруючих модулів. Однак ККД таких систем не перевищує 10 %.

Параболічний концентратор (рис.9.2)– це окреме параболічне дзеркало, у фокусі якого розміщено спеціальний приймач. У приймачі знаходиться двигун Стірлінга з робочим тілом із водню або гелію. Потужність однієї установки параболічного типу складає від 10 кВт до 25 кВт. ККД системи даного типу досягає 35 %.



Рис. 9.2. Параболічний концентратор

Зовнішній вигляд сонячної електростанції з баштовим концентратором наведено на рис.9.3. Як можна бачити, концентратори баштового типу розміщують навколо центрального теплового приймача і фокусують на нього сонячне випромінювання.



Рис. 9.3. Баштова сонячна електростанція

У баштовому тепловому приймачі розташована парова турбіна, як робоче тіло якої використовують водяну пару, повітря або мастила. Температура теплоносія тут змінюється від 500 °С до 1500 °С. Потужність сонячних електростанцій із концентраторами баштового типу досягає до 100 МВт, а ККД лежить біля 20 %.

Часто в сонячних електростанціях з концентраторами встановлюють теплові акумулятори у вигляді термоізольованих баків. Це дозволяє зменшувати простої електростанцій в несприятливу погоду, коли нагрітий до високих температур теплоносій подають до теплообмінників чи напряму до генеруючих модулів.

У результаті огляду різних видів електростанцій із сонячними концентраторами можна зробити такі висновки:

- баштові та пароболоциліндричні системи доцільно використовувати для живлення промислових об'єктів потужністю від одиниць до десятків мегават;

- параболічні концентратори, які мають невелику потужність, можливо використовувати і в побутовому секторі;

- для експлуатації таких електростанцій необхідно відводити значно більші земельні території, ніж для електростанцій на викопному паливі.

9.2. Напівпровідникові фотоелектричні перетворювачі та фізичні процеси в них

Основним компонентом сонячних фотоелектричних станцій є окремі сонячної батареї, змонтовані із набору фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які називають фотоелементами або сонячними елементами. Вони являють собою напівпровідникові пристрої, у яких відбувається просторове розділення позитивних і негативних вільних носіїв заряду при поглинанні сонячного електромагнітного

випромінювання видимого та інфрачервоного спектрального діапазону.

Принцип роботи ФЕП зумовлений фізичними процесами, які протікають на напівпровідниковому електрон-дірковому p - n -переході. Як відомо, такий перехід створюється шляхом легування пластинки монокристалічного напівпровідникового матеріалу з певним типом провідності (p - або n -типу) домішкою, яка забезпечує створення у пластині шару з провідністю протилежного типу. При цьому товщина області p - n -переходу досить мала і складає величину біля кількох мікронів.

Важливою властивістю p - n -переходу є утворення в його області тонких запірних шарів з інверсною провідністю (рис.9.4). Тобто, біля p - n -переходу в частині напівпровідника з n -типом провідності формується шар, збагачений дірками, а в частині напівпровідника з p -типом провідності формується шар, збагачений електронами. Ці два шари утворюють на p - n -переході контактну різницю потенціалів та відповідне внутрішнє електричне поле із певною величиною напруженості E_i . Дане природне електричне поле є сторонньою рушійною силою виникнення на ФЕП певної ЕРС з величиною E_p .

ФЕП працюють за принципом внутрішнього фотоефекту. Він полягає в тому, що фотони світлового електромагнітного випромінювання, які поглинаються в напівпровідниковому матеріалі, передають свою енергію безпосередньо електронам цього матеріалу (рис. 9.5). У результаті поглинання одного фотона утворюється пара нерівноважних вільних носіїв заряду: один електрон і одна дірка. Відмітимо, що утворення таких пар стає можливою, якщо енергія фотона світлового випромінювання дорівнює або трохи перевищує ширину забороненої зони напівпровідника ΔE_g .

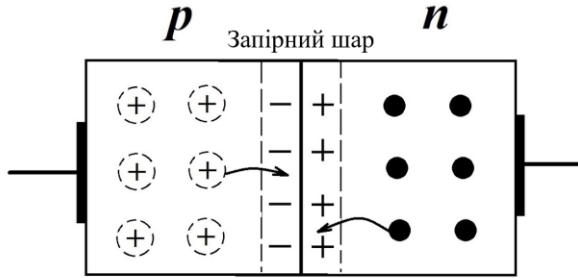


Рис. 9.4. Схема p - n -переходу та формування запiрного шару із внутрiшнiм електричним полем

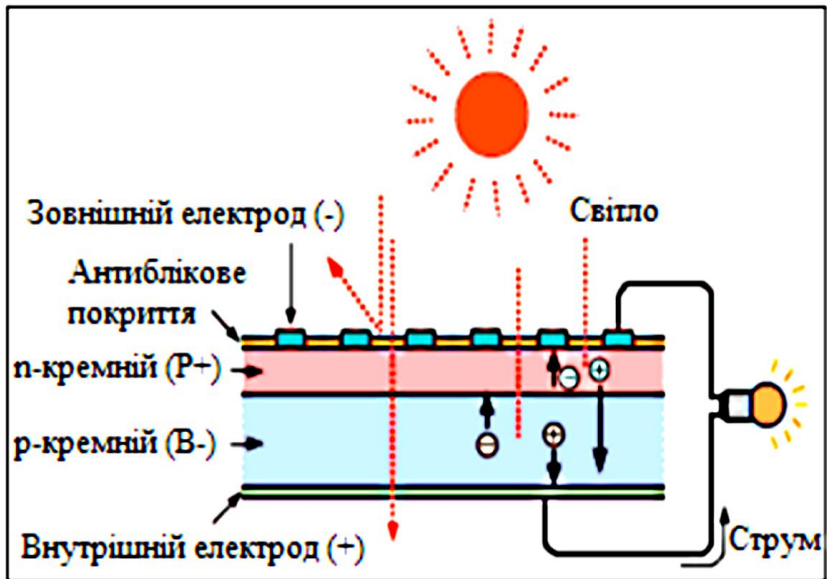


Рис. 9.5. Будава та принцип дiї напiвпровiдникового ФЕП

На утворені вільні носії діє внутрішнє електричне поле. Це електричне поле зумовлює дифузію вільних носіїв заряду та, відповідно, розділює електрон-діркові пари (рис.9.5). За рахунок такого розділення вільні електрони сконцентровуються в n -області ФЕП, а вільні дірки – у p -області. У результаті в цих областях утворюється надлишок вільних носіїв заряду протилежних знаків, а, відповідно, на краях ФЕП виникає фото-ЕРС E_p , напрям електричного поля якої протилежний напрямку внутрішнього електричного поля p - n -переходу. Кількість таких розділених пар носіїв зарядів визначає величину струму, який генерує ФЕП, і залежить від інтенсивності сонячного випромінювання.

Кількість утворених на кінцях ФЕП вільних носіїв заряду не може рости до будь-якого рівня. Це обумовлено тим, що дані заряди створюють своє електричне поле із напруженістю \vec{E}_p . Напрямок цього поля протилежний до напрямку поля \vec{E}_i . Відповідно, ці два електричні поля будуть протидіяти одне одному, щодо переміщення вільних носіїв заряду. У результаті конкуруючої дії таких двох полів у ФЕП встановлюється стан певної рівноваги. Фізично даний стан відповідає ситуації, коли за величиною фото-ЕРС E_p стає близька до значення контактної різниці потенціалів p - n -переходу. Таким чином, під дією сонячного випромінювання на поверхнях ФЕП утворюється зовнішня ЕРС певної величини, яка і є джерелом електричної енергії в ФЕП.

Слід мати на увазі, що не всі утворені пари вільних носіїв беруть участь у створенні фотоструму ФЕП. Значна їх кількість рекомбінує у напівпровідниковому матеріалі за час переміщення вільних носіїв до електродів.

Фотони з енергією $h\nu < \Delta E_g$ не поглинаються напівпровідником і не беруть участі у фотоелектричному

процесі. При $h\nu$ значно більших ΔE_g збуджені квантами світла електрони і дірки віддають надлишок енергії не на створення струму в зовнішньому колі, а на підвищення температури напівпровідника.

9.3. Технічна структура та основні типи фотоелектричних перетворювачів

Технічна структура окремого ФЕП сучасних сонячних батарей наведена на рис.9.6. Відповідно до неї, основними компонентами ФЕП є:

- основа-підкладка;
- нижня контактна площадка із тонким шаром контактного металу;
- шар напівпровідника *p*-типу;
- проміжний шар *p-n*-переходу;
- шар напівпровідника *n*-типу;
- тонкий прозорий шар контактного матеріалу;
- шар прозорого клею;
- захисний скляний шар;
- верхня контактна площадка (їх може бути кілька);
- система металічних доріжок.

Таким чином, на обидві поверхні ФЕП наносять металічні контактні площадки. Нижня контактна площадка електрично з'єднується через спеціальні отвори з нижнім електродом у вигляді контактної площадки металу і забезпечує електричний вихід *p*-контакту ФЕП. При цьому внутрішній електрод, який прилягає до основи, на якій монтується ФЕП, є суцільним.

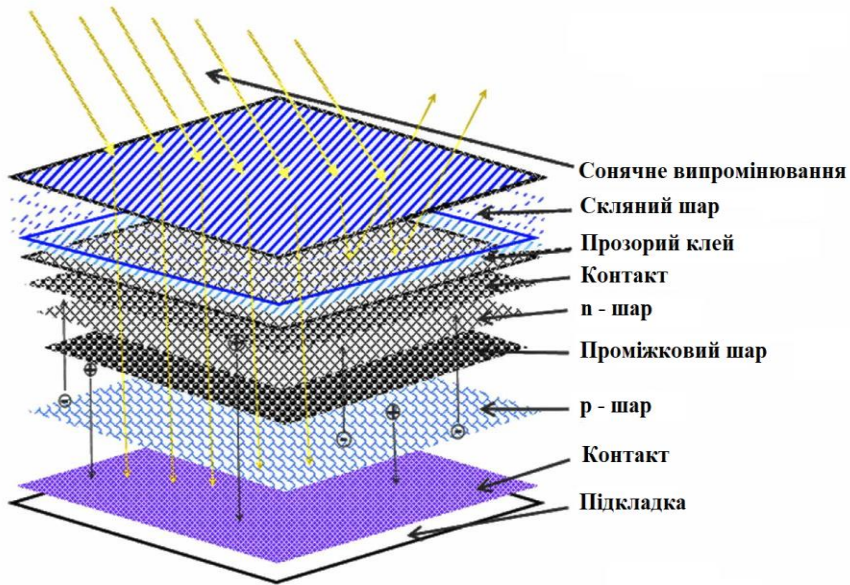


Рис. 9.6. Основні елементи технічної структури ФЕП

Верхня контактна площадка через верхній контактний шар та систему контактних доріжок забезпечує електричний вихід *n*-контакту ФЕП. Таким чином, зовнішній електрод, який розміщують на освітлювальній поверхні ФЕП, виготовляють у вигляді тонких металічних доріжок. На рис.9.7 ці доріжки чітко візуалізуються.



Рис. 9.7. Вигляд ФЕП зі сторони освітлення

Тепер до верхнього і нижнього електродів можна підключити певний споживач електричної енергії, через який протікатиме електричний струм, генерований ЕРС E_p . Цей струм являє собою потік електронів від n -області ФЕП до p -області, де вони рекомбінують з дірками.

Найбільшого поширення на сьогодні в фотоелектричних пристроях наземного застосування отримали ФЕП на основі монокристалічного, полікристалічного і аморфного кремнію. Основна відмінність між ними полягає у величині ККД. Для ФЕП з монокристалічного кремнію він наближається до 22 %, з полікристалічного кремнію лежить в межах від 15 % до 18 %, а з аморфного кремнію – не перевищує 10 %.

За рахунок більш високого ККД монокристалічних кремнієвих пластин знижується площа сонячних панелей, що має значення при обмеженому просторі для розміщення сонячної установки, але істотно збільшуються витрати на їх виробництво. Це обумовлено тим, що вартість

фотоелементів істотно залежить від вартості використаного в ній кремнію. Оскільки вартість монокристалічного чистого кремнію є досить високою, то це здорожчує як окремі ФЕП, так і сонячні батареї з них.

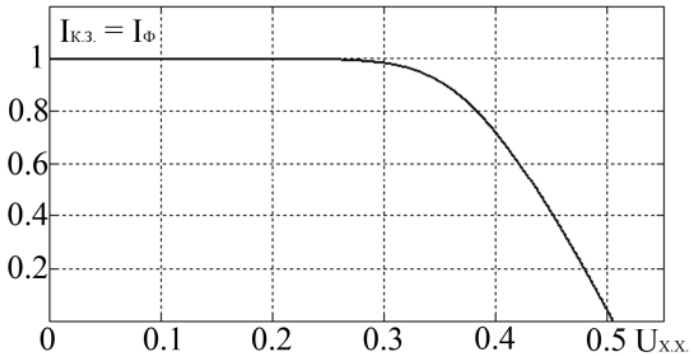
Строк служби кристалічних елементів складає від 30 до 50 років.

Елементи з аморфного кремнію менш схильні до дії високих температур, тому їх енергоефективність в дуже спекотні дні не знижується на відміну від полі- та монокристалів. Вони мають кращу здатність перетворювати сонячне випромінювання в електроенергію в умовах недостатньої освітленості або значної хмарності навіть порівняно з полікристалічними перетворювачами. Недоліками таких ФЕП, наряду з низьким ККД, є також невеликий термін служби через швидку деградацію елемента.

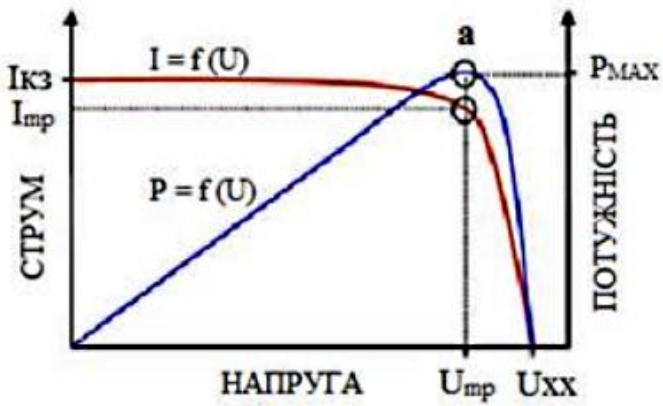
Типовим позначенням ФЕП є «ҮНчисло1*число2-модель», де «число1» та «число2» – розміри в міліметрах, а «модель» – номер розробки та деякі параметри ФЕП. Як приклад наведемо одне із позначень: ҮН153*158-36А/В85-М.

9.4. Вольт-амперна характеристика фотоелектричних перетворювачів

При підключенні до ФЕП зовнішнього навантаження з активним опором R_n , в утвореному електричному колі починає протікати електричний струм силою I . У результаті на навантаженні формується певна напруга U . Графічне зображення залежності даної напруги від сили струму називається вольт-амперною характеристикою (ВАХ) ФЕП. Приклад такої типової характеристики наведено на рис. 9.8.



а



б

Рис. 9.8. Типова ВАХ ФЕП при певному фіксованому рівні інтенсивності сонячного випромінювання (а) та функція потужності й основні експлуатаційні параметри ФЕП (б)

При зміні інтенсивності сонячного випромінювання ВАХ зміщається по осі струмів (рис.9.9).

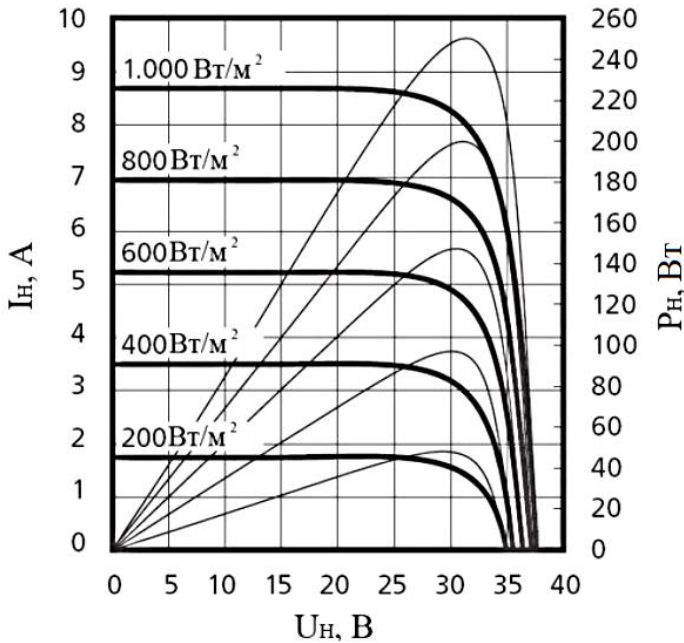


Рис. 9.9. Сімейство ВАХ ФЕП при різних рівнях інтенсивності сонячного випромінювання

На ВАХ ФЕП виділяють ряд основних експлуатаційних параметрів (рис.9.8):

- струм короткого замикання $I_{кз}$, який є максимальним струмом, який може протікати через ФЕП (у такому випадку напруга на його клеммах рівна нулю);

- напруга холостого ходу $U_{хх}$ – максимальна напруга, яка створюється сонячним ФЕП при розімкненому колі навантаження і практично рівна ЕРС ФЕП;

- точка оптимальної потужності P_m , яка задає оптимальні умови експлуатації ФЕП, коли він віддає максимальну потужність електричного струму в

навантаження. Ця точка задає параметри оптимальних умов роботи ФЕП: силу струму I_m та напругу U_m . Загалом, точка максимальної потужності за напругою складає від $0,7U_{xx}$ до $0,8U_{xx}$, а за струмом – від $0,85I_{кз}$ до $0,93I_{кз}$. При цьому координати точки максимальної потужності мало залежать від потужності падаючого на ФЕП сонячного випромінювання.

Для прикладу, кремнієві кристалічні ФЕП мають $U_{xx} \approx 0.6$ В, а сила їхнього фотоструму залежить від площі фотоелемента і пропорційна інтенсивності падаючого випромінювання. При цьому напруга холостого ходу майже не залежить від рівня освітленості ФЕП.

Ефективність перетворення сонячної енергії в електричну залежить переважно від внутрішньої однорідності структури та оптичних властивостей напівпровідника ФЕП.

Основні втрати енергії у ФЕП пов'язані також з такими зовнішніми процесами:

- відбиттям сонячного випромінювання від поверхні ФЕП;
- проходженням частини фотонів випромінювання через ФЕП без поглинання в ньому;
- затінення частини поглинаючої поверхні металевими контактами;
- наявністю внутрішнього опору ФЕП та опором його контактів;
- невідповідністю енергії фотонів робочому енергетичному інтервалу ФЕП.

9.5. Сонячні батареї та електростанції

Сонячні батареї (СБ) або сонячні панелі формують шляхом поєднання між собою окремих ФЕП у незалежні модулі різних розмірів (рис.9.10). У залежності від

необхідних електричних характеристик модуля (струм, напруга і потужність) ФЕП з'єднують на одній несучій основі як послідовно, так і паралельно. При послідовному з'єднанні ФЕП збільшується вихідна напруга, при паралельному – вихідний струм. Для того, щоб збільшити і струм і напругу комбінують два цих способу з'єднання. Крім того, при такому способі з'єднання вихід з ладу одного з сонячних ФЕП не призводить до виходу з ладу всього ланцюжка, тобто підвищує надійність роботи всієї батареї.

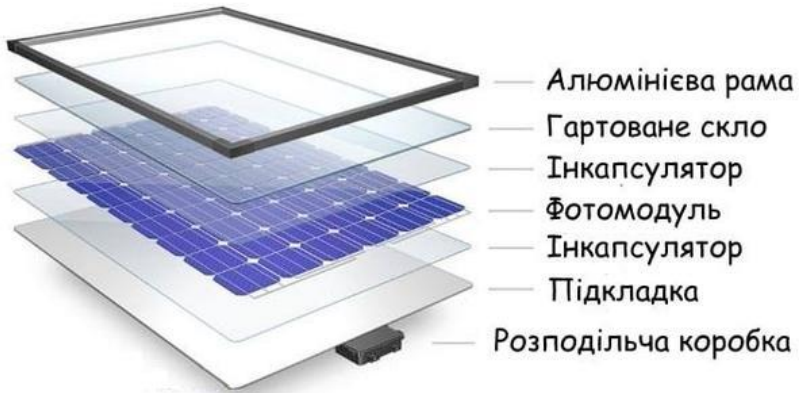


Рис. 9.10. Поеднання ФЕП та загальна структура СБ

Таким чином, сонячна батарея складається з паралельно-послідовно з'єднаних сонячних ФЕП (рис.9.11). Величина потужності, яка віддається СБ навантаженню, прямо пропорційна кількості паралельно та послідовно включених сонячних елементів.

Послідовно з кожним ланцюжком послідовно з'єднаних ФЕП вмикають напівпровідникові діоди (рис.9.11). Їх застосовують для усунення зворотних струмів через ті ланцюжки ФЕП, які мають меншу ніж в інших

ланцюжках СБ сумарну ЕРС (наприклад, через затінення одного з його фотоелементів). За рахунок введення діодів відбувається відключення працюючих в нештатному режимі ланцюжків від навантаження. Зрозуміло, що в такому випадку зменшується генерована СБ потужність електричного струму.

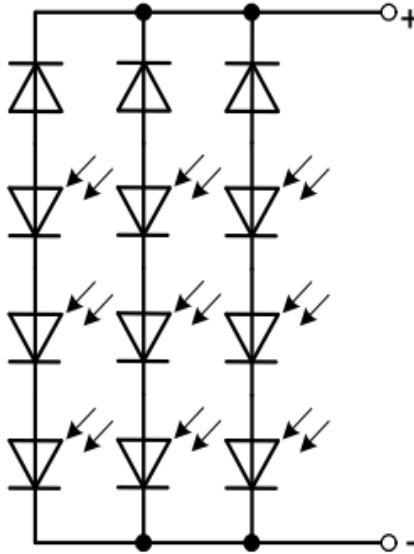


Рис. 9.11. З'єднання окремих ФЕП у СБ

ФЕП в СБ електрично ізолюють один від одного тонкими шарами інкапсулятора – спеціальною плівкою EVA товщиною 500 мкм. Ці плівки одночасно і герметизують ФЕП, захищаючи їх від корозії та впливу навколишнього середовища. Розміщене зверху гартоване скло додає конструкції міцності та виконує захисну функцію у випадку дощу, граду та будь-яких інших ударів по СБ. Закріплює це все у єдиній конструкції алюмінієва рама, як також призначена для кріплення СБ до тієї чи

іншої основи (даху будинку, підставка, каркас тощо). Окрім наведених компонентів у склад СБ входять і струмознімні металеві доріжки, котрі переносять згенерований ФЕП струм до розподільчої пластикової коробки. Дана коробка в більшості сучасних СБ розміщується на їхній тильній стороні. Дана коробка також обладнана захисними діодами Шоткі, які захищають СБ від паразитних процесів при затіненні та перегріванні.

Основною експлуатаційною характеристикою СБ є її ККД. При цьому ККД СБ завжди нижчий, ніж ККД його складових сонячних ФЕП. Це зумовлено втратами, які виникають внаслідок не ідентичності характеристик окремих ФЕП, оскільки характеристика кожного із них індивідуальна. Тому, у разі послідовно-паралельного з'єднання сонячних ФЕП, точки максимальної потужності в них не співпадають.

ККД СБ переважно визначають експериментально. Для цього знаходять відношення корисної електричної потужності P_m на клеммах СБ до падаючої на поверхню СБ потужності сонячного випромінювання P_s , тобто ККД $\eta = (P_m/P_s) \cdot 100\%$. Зрозуміло, що P_m СБ знаходиться за допомогою її ВАХ при експлуатації з оптимальним навантаженням. Величина ж P_s визначається як добуток сумарної інтенсивності сонячного випромінювання I_s на площу СБ S . Інтенсивність I_s вимірюється при цьому за допомогою спеціального приладу – піранометра.

Важливим експлуатаційним параметром СБ є їх номінальна проєктована потужність. Вона відповідає роботі СБ при інтенсивності сонячного випромінювання 1000 Вт/м^2 , при температурі СБ 25°C і при узгодженості опору навантажувального кола з вихідним опором СБ, що відповідає оптимальному режиму роботи СБ в точці максимальної потужності. При відсутності узгодженості

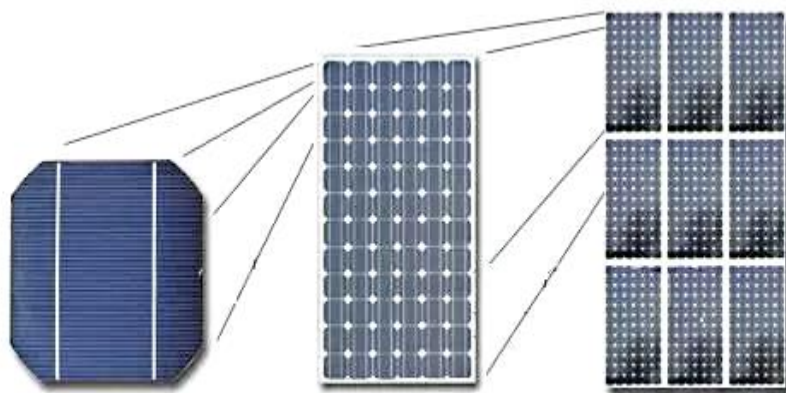
відповідних опорів, від СБ відбирається менша потужність для живлення споживачів.

Важливі переваги СБ обумовлені відсутністю рухомих частин, їх високою надійністю і стабільністю; використанням як прямого, так і розсіяного випромінювання, практично мінімальними витратами на обслуговування. Крім того, модульний тип конструкції дозволяє створювати сонячні електростанції з різними значеннями напруги і практично будь-якої потужності.

Сонячні електростанції являють собою один або кілька генеруючих модулів та масивів, складених із окремих СБ (рис.9.12.). Модульна конструкція спрощує налаштування сонячних електростанцій і дозволяє використовувати їх у різних виконаннях.

Всі сонячні енергетичні системи умовно можна поділити на кілька великих груп:

- спеціально збудовані електростанції із великою потужністю, більшою 50 кВт;
- малі електростанції комерційного призначення із потужністю до 50 кВт;
- автономні малі енергетичні системи для окремих будівель та домогосподарств із потужністю до 10 кВт;
- малі стаціонарні електростанції періодичного використання (наприклад, дача) з потужністю до 1 кВт;
- мобільні мініелектростанції потужністю до 200 Вт для використання в авто туризмі, польових умовах та інше;
- переносні мікроелектростанції потужністю до 10 Вт для підзаряджання різних гаджетів в туризм, на відпочинку тощо.



а

б

в



г

Рис. 9.12. Сонячний ФЕП (а), СБ (б), сонячний модуль (в) та масив (г)

Системи першого типу, як правило, розміщуються на спеціально відведених для цього земельних ділянках і займають велику площу. Для них оптимальним є періодичне сезонне ручне переорієнтування СБ.

Малі комерційні системи можуть розміщуватися як на невеликих ділянках землі, так і на дахах великих будівель. Для таких систем можуть застосовуватись як сезонний ручний так і трекерний методи підвищення ефективності СБ.

Найімовірнішими ж місцями розміщення сонячних генеруючих елементів для стаціонарної малої енергетики є переважно нерухомі тяжко доступні конструкції індивідуальних будівель (дах, вікна, напівпрозорі перекриття тощо). Для них, у більшості випадків, ручна зміна кутового орієнтування СБ утруднена і оптимальним є застосування різних трекерних пристроїв для підвищення їх ефективності.

Автономні сонячні електростанції обов'язково мають мати пристрої акумулювання електричної енергії, яка генерується СБ. На сьогодні для цього переважно застосовують сучасні акумулятори різного типу. Структурну схему автономної сонячної електростанції наведено на рис. 9.13. При цьому для живлення споживачів змінним струмом або генерації енергії у стандартну мережу змінного струму на виході системи встановлюють інвертор напруги.

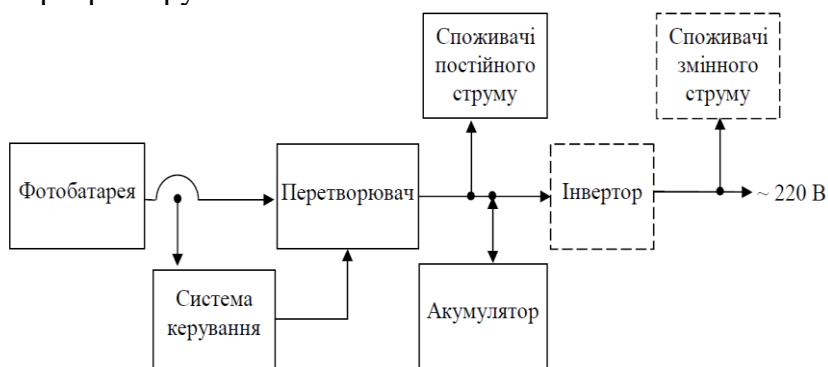


Рис. 9.13. структурна схема автономної сонячної електростанції

РОЗДІЛ 10. ВПЛИВ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

10.1. Фактори ефективності функціонування сонячних електростанцій

Ефективність функціонування сонячних електростанцій визначається такими основними групами факторів, які наведені в табл.10.1.

Таблиця 10.1

Фактори впливу на ефективність роботи сонячних електростанцій

Тип факторів	На які параметри впливають	Хто контролює вплив
Внутрішні фізико-технологічні характеристиками	ККД у різних умовах експлуатації	Підбір елементів власником, виробник елементів, наукові дослідження
Зовнішні природні фактори	Пора року, хмарність, температура середовища, географічні умови	Не підлягають впливу
Технічні умови експлуатації	Орієнтація, запиленість	Власник

Кількісну характеристику впливу різних параметрів на ефективність сонячних електростанцій ілюструє таблиця 10.2.

Глобальний вплив широти місцевості і пори року спричинено еліптичною траєкторією руху Землі навколо Сонця. Внаслідок цього відстань між Сонцем і Землею змінюється протягом року. Земля знаходиться найближче до Сонця 22 грудня, а максимальна відстань між ними 22 червня. Така відносно невелика зміна відстані призводить до відчутної різниці в інтенсивності сонячного випромінювання, яка обернено пропорційне квадрату відстані. Тому густина потоку сонячного випромінювання на межі атмосфери для грудня – $1,4 \text{ кВт/м}^2$, а для червня – $1,3 \text{ кВт/м}^2$. Середня потужність сонячного випромінювання залежить також від погодних умов для місцевості встановлення електростанції.

Для підвищення ефективності роботи сонячних електростанцій та для адекватної оцінки їхніх енергогенеруючих потужностей необхідно враховувати всі три типи факторів.

При цьому природні фактори досліджуються гідрометеорологічними службами і можуть лише враховуватися при визначенні та прогнозуванні економічної ефективності використання СБ протягом тривалих періодів.

Власник має правильно підібрати тип СБ та інших супутніх технічних елементів, які забезпечують найвищу ефективність генерації енергії. Обмежуючим чинником на цьому етапі встановлення елементів є фінансові можливості власника.

Технічні ж умови експлуатації можуть бути суттєво покращеними різними електронними і механічними пристроями, а також різними операціями обслуговування елементів.

Таблиця 10.2

**Вплив на ефективність сонячних електростанцій
деяких природніх та штучних факторів**

Ефективність у % від повної потужності

Світлові умови	у % від повної потужності
Яскраве сонце, панелі розташовані перпендикулярно сонячним променям	100
Легка хмарність	60-80
Похмура погода	20-30
За шибкою, один шар, скло і панель перпендикулярні сонячним променям	91
За шибкою, два шар, скло і панель перпендикулярні сонячним променям	84
За шибкою, один шар, скло і панель під кутом 45° сонячним променям	64
Штучне світло в офісі, на поверхні письмового столу	0,4
Штучне світло всередині яскравого приміщення	1,3
Штучне світло всередині житлового приміщення	0,2

Якщо сонячна електростанція працює в умовах туману, хмарності або ж знаходиться низько над горизонтом, то вона працює лише на невелику частку своєї продуктивності (див. табл. 10.2). При невеликій хмарності вона може видавати до 80% максимальної потужності, а в похмуру погоду – лише до 30%. При зниженні рівня освітленості сонячна електростанція зовсім припиняє виробництво електричної енергії. Зокрема для

кристалічних та полікристалічних СБ цей рівень лежить біля 150 Вт/м^2 , а для аморфних – біля 100 Вт/м^2 .

Технічні параметри СБ приводять для температури оточуючого середовища 25°C . Підвищення цієї температури істотно знижує ефективність виробництва електричної енергії. При цьому напруга і потужність генерованого струму зменшуються, а сила струму підвищується. У результаті в жарку погоду ККД СБ замість проектних 16 % буде мати 14 %. Зимомою ж навпаки ККД таких СБ буде підвищуватись і досягати величини до 19 %. Тут існує проста емпірична закономірність: зі зміною температури ФЕП на 1°C генерована потужність сонячною електростанцією змінюється приблизно на 0,41%.

Одною з найбільш поширених технічних проблем, котрі можуть виникнути при роботі сонячної електростанції є затінення. Якщо затінюються частини однієї СБ, даний сектор перестає генерувати електроенергію. Незатінена частина батареї намагається «компенсувати» вплив затіненої частини. Як наслідок відбувається підвищення сили струму та температури такої СБ (аж до її повного руйнування).

10.2. Вплив способу орієнтації сонячних модулів

Як уже відмічалось, величина потужності прямого сонячного випромінювання P , яка сприймається елементом з площею S , визначається кутом падіння γ за законом косинуса:

$$P = J_d \cdot S \cdot \cos\gamma. \quad (10.1)$$

У найбільш оптимальному варіанті цей кут має становити 0° . У цьому випадку досягаються найвищі показники генерації електричної енергії. При відхиленні від оптимального положення на $15^\circ - 20^\circ$ потужність

сонячної батареї знижується на 25 - 30%. При відхиленні ж на 30° потужність сонячної панелі знижується на 50%.

Дослідження також показують, що при стаціонарному встановленні СБ без зміни їх орієнтації річна величина генерації електричної енергії буде складати лише близько 40% від проектної потужності сонячної електростанції.

При стаціонарному встановленні для підвищення рівня генерації енергії сонячних елементів дуже доцільна зміна їхньої орієнтації на Сонце впродовж всього року (при можливості кожного місяця, а ще краще кожні 10 днів. І чим точніше проходитиме відслідковування розташування Сонця на небі, тим більшу величину електроенергії зможе згенерувати така електростанція за рік. Для цього слід забезпечувати оптимальні вертикальний й азимутальний кути падіння сонячних променів на елемент, як це вказувалося в попередніх розділах.

Оптимальну орієнтацію забезпечують двома основними методами. Перший із них - періодична сезонна ручна переорієнтація СБ відповідно до змін максимальної висоти Сонця над площиною горизонту. Другий метод полягає у використанні різних автоматичних систем орієнтації або так званих трекерних систем (рис.10.1). Одні із таких технічних пристроїв створюють більш значний вплив на ефективність роботи сонячних електростанцій, інші – менший.

Кут між горизонтальною площиною і поверхнею СБ називають кутом нахилу. На практиці при стаціонарному встановленні СБ зазвичай розташовуються на даху або на підтримуючій конструкції у фіксованому положенні і не можуть стежити за місцем положення Сонця протягом дня. Тому вони не орієнтуються на Сонце під оптимальним кутом нахилу протягом усього дня. Внаслідок руху Землі навколо Сонця мають місце також сезонні варіації кута нахилу. Взимку Сонце не досягає того ж кута висоти, що і влітку [5].

У ідеалі СБ повинні розташовуватися влітку більш горизонтально, ніж взимку. Тому кут нахилу для роботи влітку вибирається меншим, ніж для роботи взимку. Якщо немає можливості змінювати кут нахилу двічі на рік, то панелі повинні розташовуватися під оптимальним кутом, значення якого лежить десь посередині між оптимальними кутами для літа та зими [5].

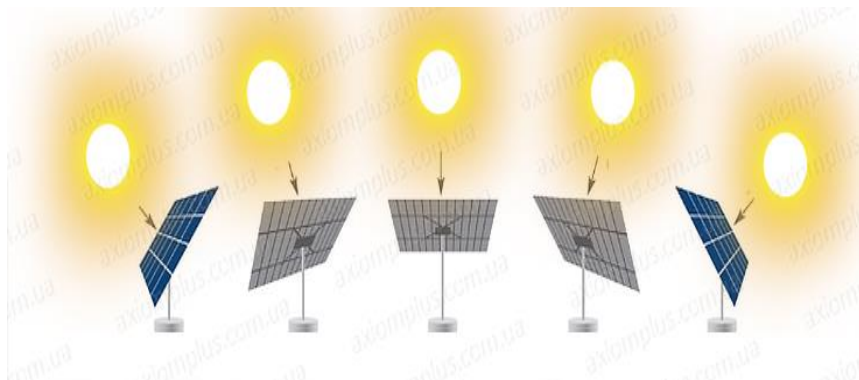


Рис. 10.1. Використання трекерної системи

Для кожної географічної широти місця розташування сонячної електростанції є свій оптимальний кут нахилу панелей. Для весни і осені оптимальний кут нахилу сонячних панелей приймається рівним значенню географічної широти місцевості встановлення електростанції, для зими до цього значення додається біля 15 градусів, а влітку – від цього значення віднімається біля 15 градусів. Невеликі відхилення до 5 градусів від цього оптимуму майже не змінюють продуктивність сонячних електростанцій.

При встановленні СБ на даху будинку, кут нахилу покрівлі часто не відповідає оптимальним кутам нахилу СБ. У таких випадках доцільно застосовувати спеціальний каркас, який утворює оптимальний кут нахилу. Крім цього, у

такому каркасі можна передбачити механічні конструкції, які дозволятимуть проводити сезонне переналаштування кута нахилу. До речі, при проектуванні нових будинків нахил їхньої покрівлі вже встановлюють під параметри оптимальної орієнтації СБ для даної місцевості.

Щодо трекерних систем, то вони можуть бути одновісними або двовісними, у залежності від того, у скількох напрямках обертаються СБ. У одновісній системі змінюється тільки один кут: відносно вертикальної стійки або відносно горизонтальної стійки. У двовісних системах можна змінювати обидва ці кути. Від вибору між цими двома типами систем орієнтації залежить точність орієнтації СБ на Сонце.

За принципом організації системи керування трекери поділяють на два види: фотодіодні та астрономічні.

У системах першого виду відслідковують положення Сонця за допомогою датчиків на основі фотодіодів. Датчики залежно від освітленості подають сигнали на МК, який, у свою чергу, обробляє сигнал та встановлює кут повороту трекерної системи. Якщо освітленість відсутня або дуже низька, то сигнал повороту не подається. Позитивною властивістю такої системи є те, що при низькому рівні генерації, через погане освітлення панелі, не використовується електроенергія на її обертання. З іншого боку, при захмаренні, забрудненні датчика чи наявності оптичних завад на МК надходитиме некоректний сигнал і може встановлюватися неправильний кут повороту. Тому такі системи орієнтації використовують переважно на космічних апаратах. При роботі на земній поверхні вони часто дають збої і застосовуються рідко.

Іншим методом регулювання роботи систем орієнтації є програмування МК на весь рік без безпосереднього відстеження положення Сонця. Щоб написати правильну програму функціонування такої

системи необхідно точно враховувати географічну широту місця розташування станції та висоту її розміщення над рівнем моря. Для цього застосовуються математичні рівняння зміни кутових координат Сонця на небесній сфері, які ми розглядали в попередніх розділах.

10.3. Поєднання сонячних батарей із сонячним колектором

Проблема більш повного використання енергії Сонця вирішується шляхом інтеграції фотоелектричних панелей і сонячних колекторів в один технологічний пристрій – когенераційний фотоелектричний тепловий модуль (Photovoltaic thermal modules). У таких пристроях сонячна енергія за рахунок ФЕП перетворюється в електричну, а за рахунок теплового абсорбера – і в теплоту. Один із найпоширеніших типів когенераційних модулів має так звану конструкцію «лист-труба» (рис.10.2). Він являє собою традиційний плоский сонячний колектор, на робочій поверхні якого розміщена СБ.

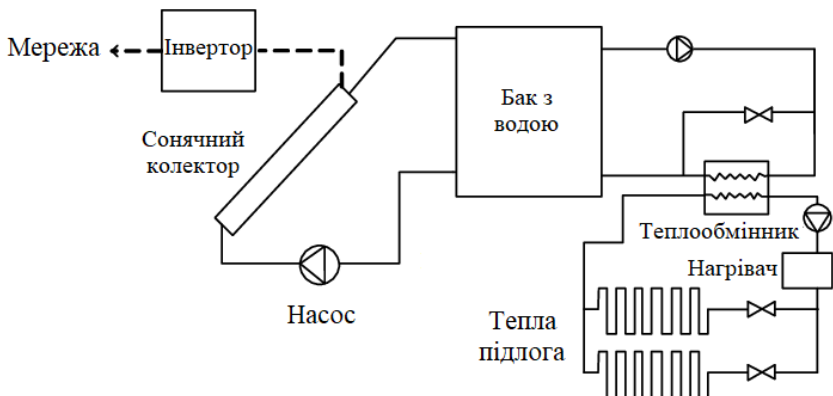


Рис. 10.2. Приклад когенераційного фотоелектричного теплового модуля

РОЗДІЛ 11. ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА

11.1. Основні терміни і визначення

Базовими поняттями вітроенергетики є [2]. Вітродвигун – пристрій для перетворення кінетичної енергії потоку повітря в механічну роботу.

Вітроколесо – складова частина вітродвигуна, призначена для перетворення кінетичної енергії вітру в механічну енергію обертання валу вітродвигуна.

Вітроенергетичний агрегат (вітроагрегат) – вітродвигун і одна або декілька енергетичних установок для генерування електричної енергії, підйому води, стиснення повітря і т.д.

Вітроелектрична установка (ВЕУ) – енергетичний комплекс у складі: вітроагрегат, акумулююча система (за необхідності) і система регулювання режимів роботи і керування.

Вітроелектрична станція (ВЕС) об'єднує в єдиний енергетичний комплекс від декількох одиниць до декількох тисяч ВЕУ.

11.2. Фізичні основи використання енергії вітру

Рух повітряних мас в атмосфері або вітер виникає під дією різниці тиску повітря в різних точках атмосфери. Різниця тиску зазвичай виникає через різницю температур повітряних мас. Однією з причин виникнення вітру є також обертання Землі навколо своєї осі.

Глобальну циркуляцію повітря в атмосфері показано на рис. 11.1. У зоні екватора повітря нагрівається і піднімається вгору. Верхні шари атмосфери рухаються у напрямку полюсів, де охолоджуються і опускаються до

поверхні. Холодні шари повітря переміщуються над поверхнею Землі у напрямку екватора [6].

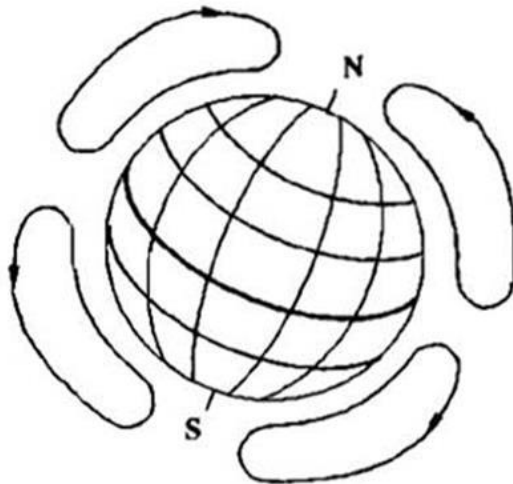


Рис. 11.1. Глобальна циркуляція повітря в атмосфері

Енергетичний потенціал вітру на земній кулі становить біля $17 \cdot 10^{15}$ кВт·год (близько 1 % від енергії Сонця). Проте, зважаючи на рельєфні особливості місцевості, віддаленість від морів і океанів та пори року, сила і напрям, як основні характеристики вітру, змінюються за різними законами. Тому енергія вітру в кожній точці поверхні Землі змінюється в широких межах. Середній потенціал енергії вітру за регіонами України на висоті $h_1 = 10$ м від поверхні Землі показано на рис. 11.2. Зі збільшенням висоти швидкість вітру h збільшується за таким законом:

$$v = v_1 \cdot (h/h_1)^n, \quad (11.1)$$

де n – коефіцієнт, який враховує особливості місцевості (зокрема, для рівнинної поверхні $n = 1/7$).

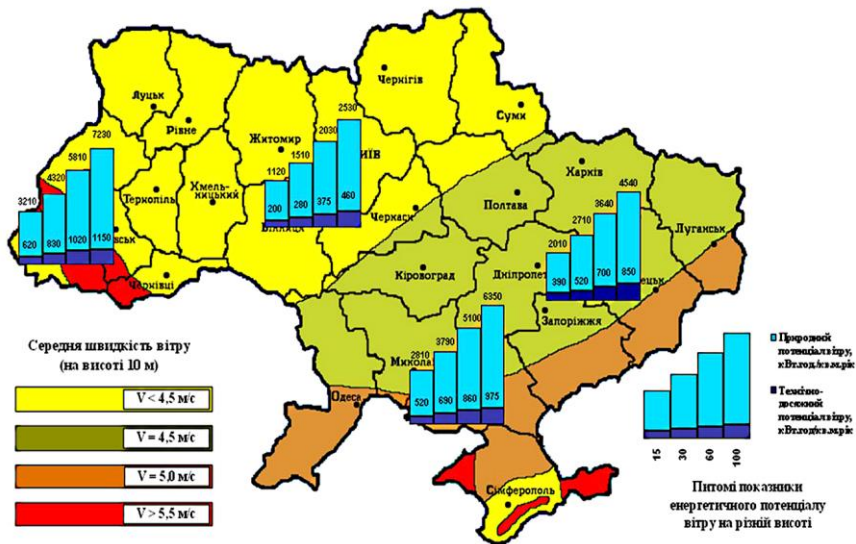


Рис. 11.2. Розподіл потенціалу енергії вітру на території України за метеорологічними даними

Кінетичну енергію E повітряного потоку розраховують за формулою:

$$E = 0,5 \cdot m \cdot v^2, \quad (11.2)$$

де m – маса повітря.

Масу повітря можна виразити через його об'єм V і густину $\rho = 1.23 \text{ кг/м}^3$. Тоді:

$$E = 0,5 \cdot V \cdot \rho \cdot v^2. \quad (11.3)$$

За одну секунду через площу поперечного перерізу потоку вітру в один квадратний метр проходить об'єм повітря v . Кінетична енергія, яка міститься у такому об'ємі повітряного потоку, називається питома потужність повітряного потоку. Вона дорівнює:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot v^3. \quad (11.4)$$

Для прикладу, за швидкості вітру $v = 3 \text{ м/с}$ питома потужність повітряного потоку складає 615 Вт/м^2 .

11.3. Вітроелектричні установки

Енергію вітру найчастіше використовують для генерування електричної енергії із застосуванням ВЕУ [2,7]. Основним конструктивним вузлом ВЕУ є вітроагрегат до складу якого входять вітроколесо, мультиплікатор і генератор.

Вітроколесо під дією вітру створює обертовий момент на валу генератора. Для узгодження частоти обертання вітроколеса і частоти мережі змінного струму використовують мультиплікатор.

Також ВЕУ комплектують системою керування роботою вітроагрегату і генератором.

Існує два основних типи ВЕУ: з вертикальною віссю обертання (рис. 11.3) і з горизонтальною віссю обертання (рис. 11.4).

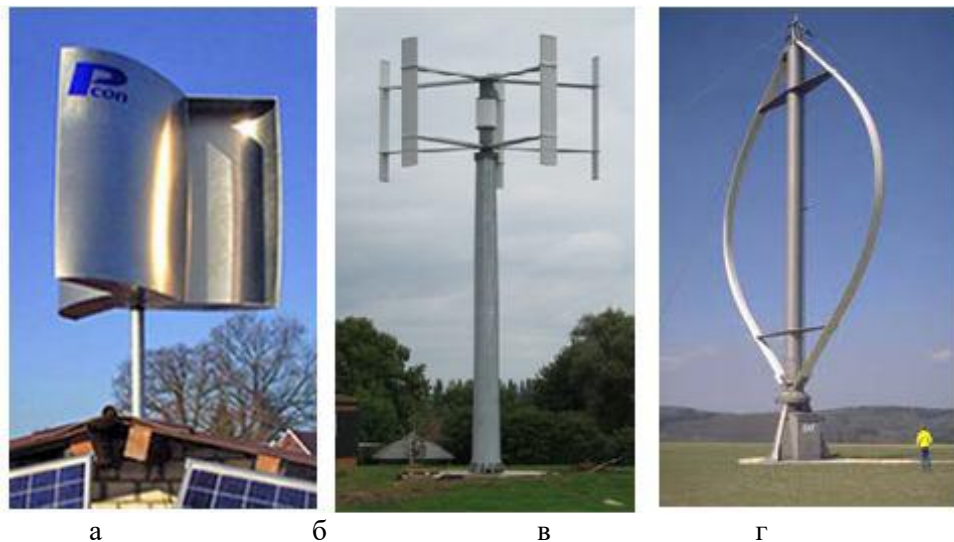


Рис. 11.3. ВЕУ з вертикальною віссю обертання: а) з ротором Савоніуса; б) з ротором Масгрува; в) з ротором Дар'є; г) з гелікодіним ротором

Переваги ВЕУ з вертикальною віссю обертання [7]:

- відсутність системи орієнтації за напрямом вітру, оскільки ефективність роботи ВЕУ з вертикальною віссю визначається лише швидкістю вітру і не залежить від його орієнтації;

- вісь обертання ротора генератора співпадає з віссю обертання вітроколеса, тому генератор і редуктор можна розміщувати внизу ВЕУ;

- менше навантаження на опору ВЕУ.

Незважаючи на ці переваги, ВЕУ з вертикальною віссю обертання не знайшли широкого застосування. Це пов'язано з тим, що ВЕУ з горизонтальною віссю обертання мають більший ККД і меншу вартість. Тому надалі будемо переважно розглядати ВЕУ з горизонтальною віссю.

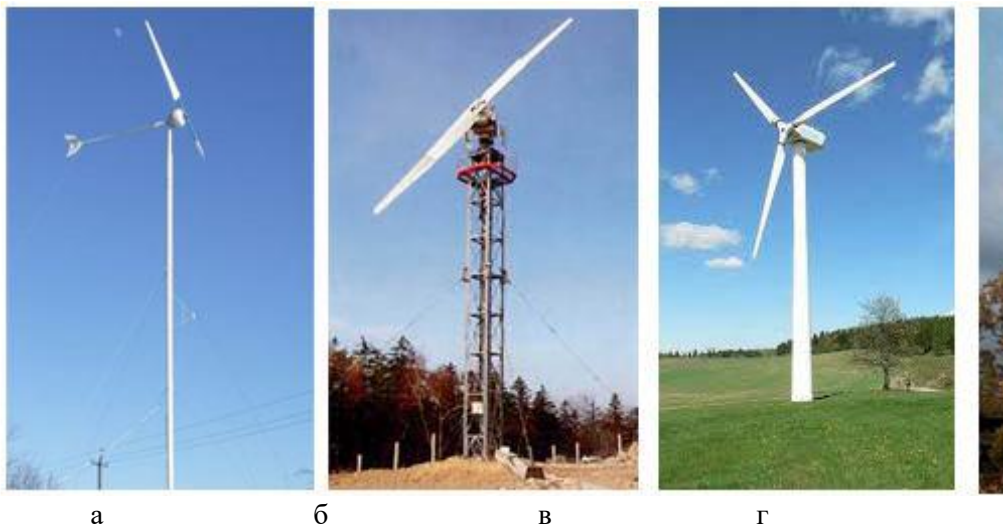


Рис. 11.4. ВЕУ з вертикальною віссю обертання:

а) однолопатева; б) дволопатева; в) трилопатева; г) багатолопатева

За геометрією вітроколеса ВЕУ з горизонтальною віссю обертання поділяють на одно-, дво-, три- і

багатолопатеві. Як правило, багатолопатеві агрегати працюють з низькою швидкістю обертання, але мають великий обертовий момент. Тому їх переважно використовують в якості механічних приводів насосів та інших виконавчих пристроїв.

Одно-, дво- і трилопатеві ротори мають високу швидкість обертання. Тому їх, як правило, під'єднують до електрогенераторів. Найчастіше використовують трилопатеві вітроколеса. Основним їхнім недоліком є досить висока стартова швидкість вітру, яка для сучасних лопатевих ВЕУ становить біля 3 м/с.

За призначенням вузли ВЕУ розділяють на механічні, аеромеханічні і електричні (рис. 11.5).

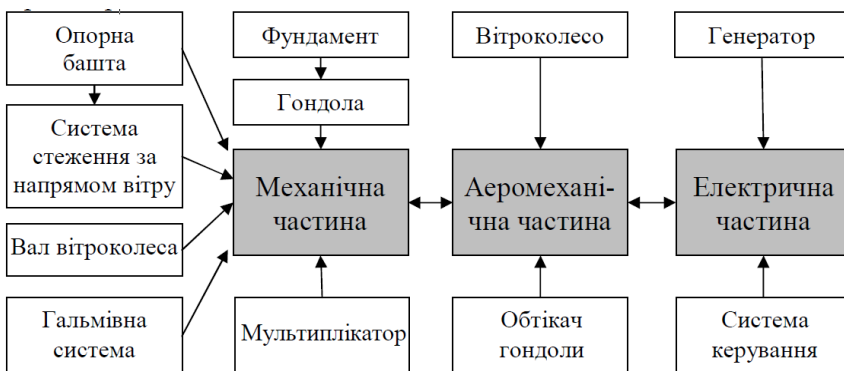


Рис. 11.5. Структурна схема ВЕУ

Всі виконавчі пристрої ВЕУ з горизонтальною віссю обертання розміщують у верхній частині опорної башти, яку називають гондола. Вся ця конструкція закріплюють на масивному фундаменті. Взаємне розміщення агрегатів у гондолі наведено на рис.11.6.

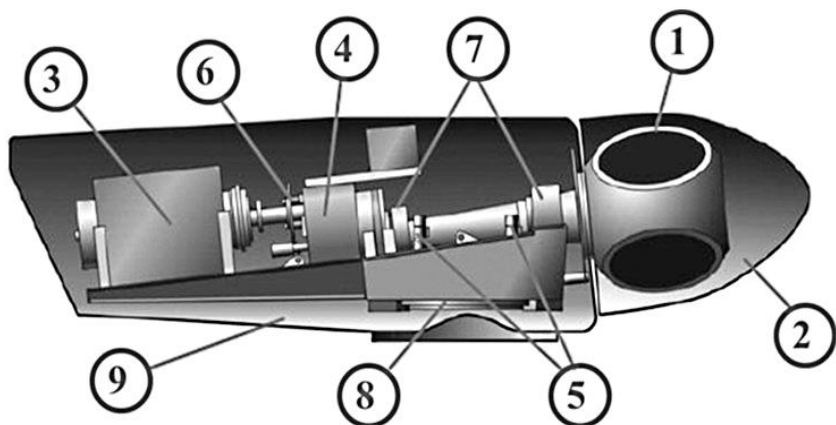


Рис. 11.6. Взаємне розміщення агрегатів у гондолі з обтікачем вітрового колеса: 1 - втулка вітроколеса; 2 - генератор; 3 - мультиплікатор; 4 - система стеження; 5 - гальмо; 6 - вал вітроколеса

11.4. Конструкція і технічні особливості основних складових частин вітроелектричних установок

Вітроколесо призначене перетворювати кінетичну енергію потоку повітря в механічну і концентрувати її на валу. Вітроколесо складається з втулки і закріплених у ній лопатей. У потужних ВЕУ лопаті мають додатковий привод, який змінює у просторі кут розміщення профілю крила залежно від швидкості вітру.

Більшість сучасних ВЕУ оснащують трилопатевиими вітроколесами, оскільки вони мають найнижчі аеродинамічні втрати. Сучасні ВЕУ потужністю в декілька мегават мають лопаті довжиною від 40 м до 90 м. Розмір лопатей обмежено граничною лінійною швидкістю їх кінців, яка не повинна перевищувати швидкості звуку. Крім того, довжина лопатей залежить від характеру зміни швидкості вітру з висотою для даної місцевості.

У процесі розвитку вітроенергетики спостерігається тенденція до збільшення діаметру вітроколів і потужності встановлених ВЕУ, оскільки при цьому зменшуються витрати на спорудження ВЕУ і термін їх окупності. Зокрема, на сьогодні переважно встановлюються ВЕУ з потужністю від 5 МВт до 7 МВт, а ВЕУ потужністю до 3 МВт вже зняті з виробництва і не обслуговуються фірмами виробниками.

Мультиплікатор. Вітроколесо разом з валом є рухомою частиною вітродвигуна – ротором. Кутова швидкість обертання ротора зазвичай значно менша ніж стандартної частоти напруги мережі змінного струму. У той же час для генераторів змінного струму ці частоти мають бути порівнювані по величині. Тому між ротором вітроколеса і генератором встановлюють мультиплікатор (рис. 11.7), який являє собою механічний редуктор із передавальним числом від 5 до 50. Звичайно, що використання мультиплікатора призводить до додаткових втрат потужності ВЕУ.



Рис. 11.7. Схема з'єднання валу вітроколеса, мультиплікатора і генератора

На сьогодні деякі виробники проектують ВЕУ з безпосереднім з'єднанням роторів вітроколеса і генератора. Для таких систем використовують спеціальні швидкохідні вітроколеса і генератори з багатьма парами полюсів.

Система керування ВЕУ виконує такі функції:

- орієнтацію ВЕУ за напрямом вітру;
- гальмування вітроколеса за великих небезпечних для роботи швидкостей вітру (вище ніж 30 м/с);
- регулювання вихідної електричної потужності.

Виконавчим механізмом системи орієнтації за напрямом вітру є електродвигун, вал якого з'єднано з системою обертання гондоли ВЕУ відносно її опорної башти за допомогою зубчатої передачі (рис. 11.8).

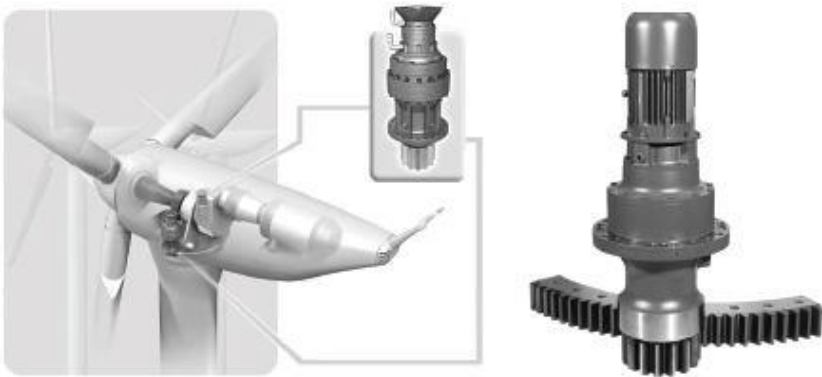


Рис. 11.8. Механізми системи орієнтації гондоли ВЕУ за напрямком вітру

Кут повороту ВЕУ визначають за даними, отриманими від сенсорів швидкості і напрямку вітру.

Для забезпечення аварійної зупинки вітроколеса при нештатних ситуаціях на ВЕУ встановлюють також гальмівні системи. Як правило, це гальмо аеродинамічного типу або механічного типу. Перше гальмо повертає лопаті вітрового колеса таким чином, щоб зменшити силу дії

вітру на них. Гальмо механічного типу подібне до дискових гальм автомобіля.

Регулювання вихідної потужності здійснюють регулюванням швидкості обертання валу вітроколеса залежно від швидкості вітру. Для цього також застосовують два методи:

- зміну кута повороту лопатей (pitch-регулювання);
- зрив вітрового потоку (stall-регулювання).

За умови використання pitch-регулювання шляхом повертання лопатей змінюють його кут атаки).

Stall-регулювання забезпечується підбором відповідного профілю лопатей і є ефективним для забезпечення постійної швидкості їх обертання. Цей метод реалізують, використовуючи той факт, що лінійна швидкість різних точок лопаті вітроколеса збільшується з віддаленням від осі його обертання. Тому при певній швидкості вітру на деякій відстані від центру обертання відбувається зрив вітрового потоку і його підйомна сила перестає діяти на частину лопаті, починаючи від цієї точки і до її кінця. Якщо швидкість вітру збільшується, то зрив вітрового потоку починається все ближче до осі обертання вітроколеса, що зменшує силу дії вітру. У результаті Stall-регулювання забезпечує такі умови роботи вітроколеса, що за різкого збільшення швидкості вітру потужність на валу вітроколеса не збільшується.

11.5. Генератори вітроелектричних установок

Для ВЕУ в якості джерел автономного електроживлення малої потужності застосовують генератори постійного струму. У цьому випадку такі системи виробляють електричну енергію з параметрами, подібними до параметрів електричної енергії сонячних електростанцій. Із збільшенням швидкості вітру зростає

величина ЕРС таких генераторів. Тому їх можна застосовувати при зміні швидкості вітру в широких межах, що не потребує складних систем регулювання швидкості обертання вітрового колеса.

ВЕУ середньої і великої потужності комплектують синхронними генераторами змінного струму і під'єднують їх до стандартної електричної мережі. Такі генератори вимагають постійної швидкості обертання свого валу, що забезпечується розглянутими вище системами стабілізації частоти.

11.6. Фізико-технічні параметри функціонування вітрового колеса

У результаті взаємодії лопатей і повітряного потоку частина його кінетичної енергії передається вітроколесу. У ідеальній вітровій установці в механічну енергію може перетворитися біля 60 % енергії повітряного потоку. Параметр, який характеризує величину енергії потоку, яка перетворюється в механічну енергію, називають коефіцієнтом потужності C_p . У реальних вітроагрегатах цей показник має значення в межах від 0,2 до 0,45. Враховуючи даний коефіцієнт, потужність вітроколеса з радіусом R описують формулою:

$$P = C_p \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot v^3 / 2. \quad (11.5)$$

Важливим параметром вітроколеса є його швидкохідність

$$Z = \omega \cdot R / v, \quad (11.6)$$

де ω – кутова швидкість вітроколеса.

Швидкохідність показує співвідношення між лінійною швидкістю кінця лопаті та швидкістю повітряного потоку. За правильно обраного значення швидкохідності лопать вітроколеса не потрапляє в турбулентний потік, створений попередньою лопаттю,

оскільки цей потік встигає покинути область вітроколеса. Разом з тим не повинно відбуватися і вільного проходження повітряного потоку через вітроколесо без взаємодії з лопатями. Для одночасного виконання цих умов співвідношення між швидкохідністю і кількістю лопатей N вітрового колеса має бути таким:

$$Z_{opt} = 4\pi/N. \quad (11.7)$$

Коефіцієнт потужності C_p залежить від швидкохідності Z . Таку функціональну залежність для вітроагрегатів різного типу наведено на рис. 1.9.

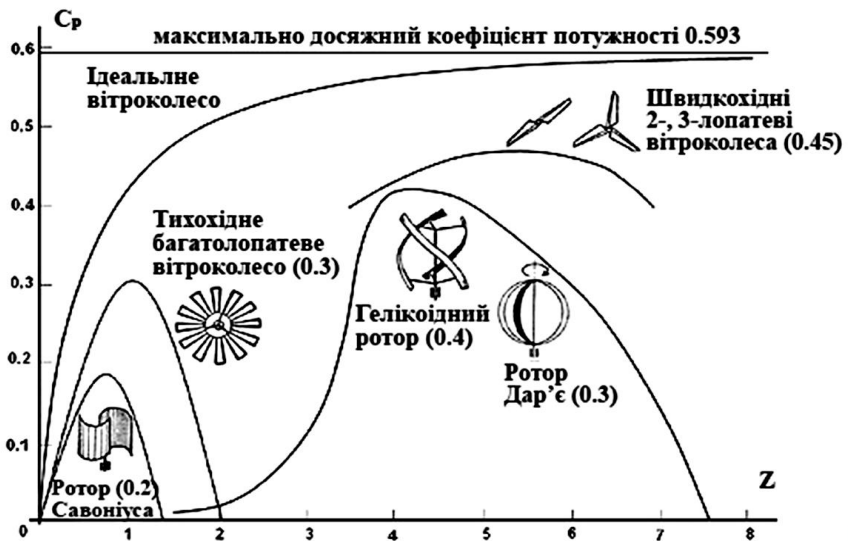


Рис. 11.9. Значення коефіцієнту потужності різних типів вітроколес

З наведеного рисунку можна зробити такі висновки:

- найбільший коефіцієнт потужності мають дво- і трилопатеві вітроколеса;
- досягти максимального коефіцієнта потужності для даного типу ВЕУ можливо за умови правильно підбраного значення швидкохідності вітроколеса Z_{opt} ;
- для оптимального значення швидкохідності існує свій робочий діапазон швидкостей вітроколеса.

11.7. Узгодження характеристик вітрового колеса і генератора

Із неведених вище математичних співвідношень слідує, що потужність на валу вітроколеса пропорційна третій степені швидкості вітру. Тому ця потужність може змінюватись в широких межах. До того ж, зі зміною швидкості вітру змінюється і та швидкість обертання вітроколеса, за якої потужність на валу вітроколеса є максимальною. Синхронний же генератор має мати стабільну частоту обертання свого робота. Тому необхідно постійно узгоджувати характеристики вітроколеса і генератора ВЕУ. Ці характеристики повинні відображувати зміни потужності вітроколеса і генератора залежно від швидкості обертання вітроколеса [8]. Загальний вигляд цих характеристик наведено на рис. 11.10.

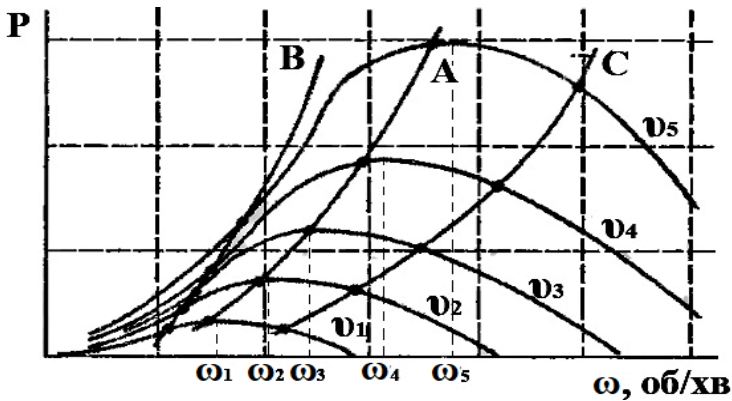


Рис. 11.10. Суміщені характеристики потужності вітроколеса і генератора

З наведеного рисунку випливає, що за різних швидкостей вітру ми маємо суттєво різні залежності потужності на валу вітроколеса від частоти його обертання

– графіки цих залежностей мають вигляд куполів. Як бачимо, є такі значення частоти обертання вітроколеса ω , при яких на його валу розвивається максимальна потужність. Ці частоти відповідають положенням максимумів на куполоподібних графіках.

Плавними кривими на рис. 11.10 показано залежності потужності електрогенератора від частоти обертання його вала при трьох різних режимах функціонування мультиплікатора: А, В та С.

Для узгодження характеристик потужності вітроколеса та генератора необхідно обрати таке передавальне число мультиплікатора, щоб плавна крива максимальної потужності генератора проходила близько від вершин куполоподібних графіків потужності вітроколеса. У нашому випадку такому режиму відповідає крива А на рис. 11.10. Це означає, що мультиплікатор має підбирати таке оптимальне передавальне число, при якому функціонування ВЕУ відповідає кривій А. Якщо передавальне число мультиплікатора завищене, крива потужності відповідає ситуації В, а якщо занижене – ситуації С. У двох останніх ситуаціях робота генератора і вітроколеса є неузгодженою і це позначиться на зменшенні потужності генерованої електричної енергії.

11.8. Структура систем електроживлення на основі вітроелектричних установок

Залежно від типу та потужності електрогенератора ВЕУ можуть використовувати для організації різних мережевих чи автономних систем живлення змінного чи постійного струму (рис.11.11).

Як і в сонячній енергетиці, для організації автономних систем живлення малої потужності (до 10 кВт) використовують ВЕУ з генераторами постійного струму. У

цьому випадку нема потреби регулювати швидкість обертання вітроколеса і використовувати мультиплікатор. Тому на виході величина ЕРС генератора змінюється в широких межах. Для стабілізації вихідної споживаної напруги на постійному рівні застосовують перетворювачі постійної напруги, аналогічно сонячним електростанціям. У таких ВЕУ найчастіше використовують як буферний накопичувач електричної енергії акумуляторні батареї (рис. 11.11а).

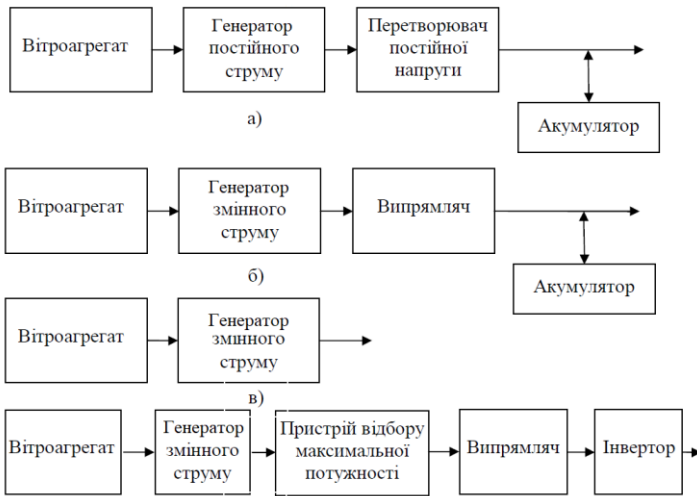


Рис. 11.11. Схеми систем електроживлення на основі ВЕУ: а) та б) – автономні системи; в та г) – комерційні системи зі стабілізацією (в) та без стабілізації (г) швидкості обертання вала генератора

Іноді для організації систем живлення постійного струму використовують і генератори змінного струму, на виході яких встановлено випрямляч з фільтром (рис.11.11б). Такі системи подібні до електроживлення автомобілів.

Бізнесові ВЕУ середньої і великої потужності зазвичай застосовують для генерування напруги змінного струму у стандартну мережу змінного струму (рис.11.11в). Для цього використовують синхронні генератори змінної напруги із стабілізацією частоти обертання вала генератора, що зменшує ефективність роботи ВЕУ.

Для усунення недоліку останньої розглянутої схеми можна застосовувати генератори змінного струму без стабілізації частоти. Тоді на виході такого генератора встановлюють пристрій відбору максимальної потужності, випрямляч і інвертор. У даному варіанті ВЕУ швидкість обертання ротора вітроколеса може змінюватись у широких межах.

ЧАСТИНА ІІІ ЕЛЕКТРОНІКА ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

РОЗДІЛ 12. ЕЛЕКТРОНІКА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

Одержана електрична енергія від сонячних модулів або вітроагрегатів може напряму направлятися на живлення споживачів. За таким принципом працюють потужні комерційні електростанції. Для автономних енергетичних систем обов'язковим компонентом має бути певний пристрій для накопичення надлишків виробленої енергії в одні часові періоди функціонування генеруючих модулів. При недостатній генерованій потужності накопичувальні пристрої віддають свою енергію споживачам.

Існують різні системи накопичування та зберігання як теплової, так і електричної енергії. Для першого виду енергії на сьогодні переважно застосовують великі ємності, заповнені водою або іншою теплонакопичуючою речовиною, наприклад, теплові ставки, які ми розглядали раніше.

Для накопичення електричної енергії на сьогодні основними пристроями є акумуляторні батареї різних типів. Однак, їхнє використання є економічно виправданим лише для випадку автономних електростанцій малої потужності. При цьому об'єднання всіх компонент таких електростанцій між собою та зі споживачами вимагає застосування додаткових електронних пристроїв. У даному розділі коротко проаналізуємо основні з таких пристроїв та особливості їх функціонування у складі електростанцій.

12.1. Контролери заряду та розряду акумуляторних батарей

Акумулятори – хімічні джерела струму. Вони накопичують електричну енергію під час своєї зарядки. Даний процес відбувається тоді, коли до акумулятора прикладено електричний потенціал, який більший від ЕРС акумулятора. Таким чином, генеруючий модуль електростанції має мати таку конструкцію, щоб його робоча напруга перевищувала ЕРС акумуляторної батареї (з урахуванням падіння напруги на проміжних компонентах), а сумарний струм генеруючого модуля забезпечував необхідну величину зарядного струму. Наприклад, для зарядки свинцевої акумуляторної батареї з ЕРС 12 В необхідно мати генеруючий модуль, який на виході видає постійний електричний струм з напругою більше 14 В та силою струму від кількох ампер до кількох десятків ампер.

На сьогодні існує багато різних видів акумуляторних батарей. Кожен із цих видів розрахований на певне використання. У цьому відношенні для автономних електростанцій не підходять акумулятори, які не передбачені для роботи в режимах з глибокою розрядкою. Тому оптимальним є використання акумуляторів глибокого циклу, які надійно працюють як при регулярних часткових розрядах, так і при повільному глибокому розряджанні.

Найбільш ефективним у ресурсозберігаючій енергетиці на сьогодні є використання літєвих, гелієвих і спеціальних свинцевих акумуляторних батарей, які виготовлені за AGM-технологією. Таким батареям не потрібні спеціальні умови для встановлення та експлуатації і вони не потребують постійного обслуговування. Паспортний термін служби таких батарей лежить в межах від 10 років до 12 років. При цьому допускається глибина

розряду до 20% від номінальної ємності. Увага! Такі акумуляторні батареї ніколи не повинні розряджатися нижче цього значення, інакше їх термін служби різко скорочується! Важливо також пам'ятати, що чим частіше трапляються глибокі цикли розряду, тим швидше зменшується термін експлуатації акумулятора.

При малій потужності генерованого модулем струму акумуляторна батарея віддає електричну енергію споживачам і її заряд зменшується. Тобто, накопичувальні буферні акумуляторні батареї постійно працюють у режимі розряд-заряд. Ці процеси мають свої оптимальні режими протікання. Для забезпечення такої оптимальності застосовують спеціальні електронні пристрої, які називають контролерами заряду та розряду.

Контролери виконують цілий спектр функцій. Основними із них є:

- контроль ступеня зарядженості батареї;
- відключення батареї від заряджання при досягненні номінального заряду;
- підключення батареї при необхідності до заряджання;
- підтримання необхідної сили струму заряджання на різних етапах процесу зарядки;
- підтримання оптимальної напруги на батареї під час всього процесу заряджання;
- переключення на різні режими заряджання при різних рівнях розрядки акумуляторної батареї;
- відключення батареї від споживачів при досягненні максимально допустимого ступеня розряду;
- переключення генеруючого модуля на баластне навантаження, якщо вироблена енергія не споживається споживачами і не потрібна для подальшого заряджання акумулятора (у якості такого навантаження може бути бойлер гарячого водопостачання домогосподарства);

- підтримання положення точки передачі максимальної потужності від СП;
- моніторинг параметрів генерованого та споживаного електричного струму;
- виконання різних сервісних та інформаційних функцій.

Як видно із наведеного переліку, на контролер покладається дуже багато функцій. Зрозуміло, що пристрої, які виконують усі наведені операції в комплексі, досить дорогі. Тому на ринку присутні багато моделей дешевих контролерів, які виконують лише кілька із перерахованих вище функцій. Тому вибір того або іншого контролера покладається на господаря автономної електростанції. Однак, для досягнення максимальної ефективності використання генерованої електроенергії, слід вибирати контролер, який виконує більшість із важливих операцій.

Весь наявний спектр широкого вибору контролерів на ринку можна розділити на три основні групи:

- контролери типу ON/OFF;
- ШІМ-контролери (PWM-controllers – pulse-width modulation);
- ТМП-контролери (або контролери із слідкуванням за точкою максимальної потужності – (MPPT-controllers — Maximum power point tracker).

Контролери першого типу не використовуються для стаціонарних автономних електростанцій. Їхня сфера використання – це малопотужні мобільні пристрої підзарядки різних акумуляторних батарей потужністю до 1 кВт.

Таким чином, для автономних електростанцій домогосподарств оптимальним є використання лише ШІМ-контролерів або ТМП-контролерів.

12.2. Перетворювачі постійного струму

Особливістю стаціонарних сонячних електростанцій, які на сьогодні є основними в ресурсозберігаючій енергетиці, - нерівномірність параметрів генерованого електричного струму. Зранку та увечері, при високій хмарності та при опадах електростанція видає дуже слабкий електричний струм. При таких режимах традиційні контролери відключають СБ як від споживачів, так і від акумуляюючих пристроїв, оскільки не можуть забезпечити роботу цих пристроїв. Тому знижується середньодобова продуктивність сонячної електростанції. Такі втрати за добу є невеликими, але при експлуатації автономної електростанції протягом року вони дають досить великі об'єми невикористаної електроенергії.

Для рішення окресленої проблеми застосовують електронні перетворювачі постійного струму. Вони вмикаються між модулями СБ і контролером зарядки акумуляторів. Основна їхня функція – перетворити генеровану СБ електроенергію малої потужності в енергію з параметрами, достатніми для безперебійного функціонування контролера. Іншою функцією такого електронного модуля є узгодження вихідного опору модуля СБ і опору навантаження.

Перетворювачі постійного струму переважно працюють в режимі підвищення та стабілізації свого вихідного струму чи напруги при поступленні на вхід слабого електричного струму від СБ. Для сонячних електростанцій досить високої потужності функції перетворювача виконує сам контролер.

Для визначення робочої точки фотобатареї з максимальною потужністю у системі керування за миттєвими значеннями вихідного струму і напруги фотобатареї розраховують вихідну потужність батареї [9].

Після чого ППН регулює вихідний струм (напругу) фотобатарей таким чином, щоб її робоча точка зміщувалась у напрямку збільшення вихідної потужності. За відомих значень параметрів фотобатарей I_ϕ , U_{xx} , R_ϕ , A точку з максимальною потужністю визначають з формули за виразом U_H :

$$U_H = \left(\ln \left((I_\phi - I_H) / I_0 + 1 \right) \cdot A \cdot k \cdot T \right) / q_e + I_H \cdot R_\phi.$$

Залежність потужності P_H від струму розраховують з формули множенням цього виразу на струм навантаження I_H :

$$P_H(I_H) = \left(\ln \left((I_\phi - I_H) / I_0 + 1 \right) \cdot A \cdot k \cdot T \cdot I_H \right) / q_e + I_H^2 \cdot R_\phi.$$

Точку максимальної потужності знаходять прирівнюванням похідної потужності до нуля.

$$\frac{dP_H}{dI_H} = \left(-\frac{I_0 \cdot A \cdot k \cdot T \cdot I_H}{I_\phi - I_H + I_0} + \ln \left(\frac{I_\phi - I_H}{I_0} + 1 \right) \cdot A \cdot k \cdot T \right) / q_e + 2I_H \cdot R_\phi = 0.$$

З рівняння (7.4) розраховують силу струму I_H , за умови протікання якого в зовнішнє коло віддається максимальна потужність.

Робота фотобатарей в режимі віддачі максимальної енергії можлива за умови, що вхідний струм ППН має неперервний характер [9]. Цій умові відповідають такі типи перетворювачів: підвищувального типу, перетворювач Чука, SEPIC перетворювач (Single-ended primary-inductor converter – одноканальний перетворювач з індуктивністю у первинному колі), двотактні перетворювачі з дроселем в первинному колі. За умови використання інших перетворювачів у вихідному колі фотобатарей необхідно встановити конденсатор. Перетворювач підвищувального типу має найпростішу конструкцію і найвищий ККД за потужностей до 200 Вт, тому його часто використовують на практиці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лендшел М.О., Іваницький В.П., Гичка А.Ю. Енергозбереження та енергоаудит: Методичний інформаційний посібник. Ужгород: УжНУ, 2021. 35 с.
2. Вербицький Є. В. Енергозбереження і енергоефективність. Конспект лекцій для студентів напрямку підготовки 6.050802 «Електронні пристрої та системи». К.: НТУУ «КПІ», 2014. 106 с.
3. Літнарівич Р.М. Геодезична астрономія. Навчальний посібник для студентів спеціальності «Землепорядкування та кадастр». ЧДІЕіУ, Чернігів, 2000. 76 с.
4. Теоретичні аспекти оцінки надходження прямої сонячної радіації для негоризонтальних квазіодновимірних об'єктів. Фізична географія Наукові записки. №2. 2013. Сергій Ковальчук.
5. Лисенко Л.І. Фактори впливу на ефективність сонячних колекторів та фотоелектричних панелей в Харківській області. / Л.І. Лисенко, К.В. Махотіло, Д.М. Косатий. Харків: Вісник НТУ «ХПІ». 2013. №59(1032). С. 101-111.
6. Визначення рівня генерації електроенергії на сонячній електростанції відносно її встановленої потужності. Стадник Микола Іванович, Рубаненко Олена Олександрівна, Бондаренко Сергій Валерійович. Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця, 2016. №3 (95). С.213-220.
7. Jain P., Kaur T. Optimization of Solar PV System and Analysis of Tilt
8. Angle // ACM Conf. Proc.eEnergy IS. 2015. P. 14–17.
9. Cooke D. Single vs. Dual Axis Solar Tracking // Altern. Energy e Magazine. 2011.

Навчальний посібник

В.П. Іваницький, О.В. Лукша, І.І. Чичура, Р.О. Мешко

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧА ЕНЕРГЕТИКА

2023

Оригінал-макет виготовлено
у редакційно-видавничому відділі УжНУ
88015, м. Ужгород, вул. Заньковецької, 89.
E-mail: dep-editors@uzhnu.edu.ua

Рецензенти:

Жигуц Ю.Ю., професор, доктор технічних наук, зав. кафедри технології машинобудування ДВНЗ «УжНУ»;

Станкевич-Волосянчук О.І., головний еколог Громадської організації «Екосфера», експерт Всеукраїнської мережі експертів регіонального та місцевого розвитку «Регіонет».

Віддруковано з наданого оригінал-макету:
ТОВ «РІУ-У» 88000, м. Ужгород,
вул. Карпатської України, 36
Свідоцтво Серія ДК 5040 від 21 січня 2016 р.

Підписано до друку 27.10.2023 р.
Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman.
Формат 60x84/16. Зам.№ 134К.
Ум.друк.арк.8,83. Обл.вид.арк. 4,25.
Наклад 100 прим.

ISBN 978-617-8276-63-8

Р 44 Ресурсозберігаюча енергетика/ В.П. Іваницький, О.В. Лукша, І.І. Чичура, Р.О. Мешко. Ужгород: УжНУ, 2023. 152 с.

У виданні викладено матеріали щодо природи та особливостей використання відновлювальних джерел енергії. Висвітлені загальні питання екологічного впливу та економічної доцільності ресурсозберігаючої енергетики. Розглянуто закономірності розвитку ресурсозберігаючої енергетики у світі і в Україні. Проаналізовано фізичні та технічні основ застосування відновлювальних джерел для генерації теплової та електричної енергії. Досліджено принципи роботи і позитивні та негативні сторони різних класів енергетичних установок, їх структурні схеми, параметри, характеристики і конструкції. Значна увага приділена умовам підвищення ефективності функціонування та коефіцієнта корисної дії сучасних генеруючих енергетичних станцій на основі відновлювальних джерел. Розглянуті основні режими роботи, базові принципи керування і регулювання параметрів різних енергетичних установок. Викладено матеріали щодо систем акумулювання теплової та електричної енергії, отриманої з відновлювальних джерел.

Підручник орієнтовано на широке коло студентів, які навчаються за різними технічними спеціальностями.

УДК 620.9(075.8):621.311