

*Ю. В. Куріс, д.т.н., професор  
І. О. Кутузова, старший викладач*

***Відповідальний за випуск:** зав. кафедри ПЕОП,  
к. т. н., професор Г. Б. Кожемякін*

***Рецензенти:***

***В. В. Луньов, д.т.н., професор, Академік АІН України, директор фізико-технічного інституту Запорізького національного технічного університету***

***В. І. Сокольник, к.т.н., професор, декан факультету будівництва та цивільної інженерії ЗДІА***

**Куріс Ю. В., Кутузова І. О.**

Ресурсозберігаючі технології та альтернативні джерела енергії: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 183 «Технологія захисту навколишнього середовища» / Куріс Ю.В., Кутузова І.О.; Запоріз. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2018. - 111 с.

## ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП .....	6
<b>1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ .....</b>	<b>7</b>
1.1 Сонячне енергопостачання .....	12
1.2 Розрахунок величини сумарного надходження сонячної радіації .....	13
1.3 Системи сонячного теплопостачання .....	19
1.4 Плоскі сонячні колектори та їх ефективність .....	24
1.5 Економічні показники використання ССТ та їх визначення .....	31
1.6 Сонячне електропостачання та тепло електроенергетика .....	35
1.7 Сонячна фотоенергетика .....	39
<b>2. ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ .....</b>	<b>44</b>
2.1 Потенціал вітрової енергії в Україні .....	46
2.2 Вітроенергетичні установки та їх елементи .....	49
<b>3. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА .....</b>	<b>54</b>
3.1 Потенціал геотермальної енергії в Україні .....	57
3.2 Геотермальні електростанції .....	59
<b>4 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВОДИ .....</b>	<b>63</b>
4.1 Мала гідроенергетика .....	63
4.2 Енергія морів та океанів .....	73
4.1 Утилізація теплової енергії стічних вод .....	81

5 УТИЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ПОТОКІВ ГАЗІВ .....	85
5.1 Утилізація енергії надлишкового тиску природного газу .....	85
5.2 Утилізація енергії надлишкового тиску доменного газу .....	86
5.3 Утилізація енергії шахтного метану .....	89
6 АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ .....	91
6.1 Акумуляування теплоти .....	93
6.2 Акумуляування електричної енергії .....	96
6.3 Акумуляування на основі водню .....	97
ТЕМАТИКА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ. ....	104
ОБОВ'ЯЗКОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ЗАПИТАННЯ ДО ПИСЬМОВОГО ЕКЗАМЕНУ. ....	107
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА. ....	109

## ВСТУП

Поняття "ресурс" походить від французького слова "ressource" – цінність, запас, джерело засобів. По суті саме значення ресурсів в енергетиці передбачає економне, заощадливе ставлення до них. На жаль, ресурси, зазвичай, лімітована величина, адже не даремно говорять, що економіка є мистецтвом задовольняти безмежні потреби за допомогою обмежених ресурсів. В такому контексті, першочерговим для виживання суб'єктів господарювання в умовах нестабільності економічного середовища, є розробка та впровадження політики ресурсозбереження, яка дасть змогу не лише оптимально та адекватно використовувати більшість можливостей потенціалу регіонів, але й допоможе ефективно адаптуватися до швидкоплинних змін умов ринку для забезпечення конкурентоспроможності і успішного функціонування галузей, комплексів, господарства в довгостроковій перспективі.

*Ресурсозбереження* - це прогресивний напрям використання природно-ресурсного потенціалу, що забезпечує економію природних ресурсів та зростання виробництва продукції при тій самій кількості використаної сировини, палива, основних і допоміжних матеріалів. Основні стратегічні напрями ресурсозбереження можуть бути зведені до таких: комплексне використання мінерально-сировинних і паливних ресурсів; впровадження ресурсо-зберігаючої техніки і технології; широке використання в галузях переробної промисловості вторинної сировини; стабілізація земельного фонду, відновлення родючості землі, рекультивация відпрацьованих кар'єрів тощо; ефективне регулювання лісокористування, підтримання продуктивності лісів, активне лісовідновлення; збереження рекреаційних ресурсів при розміщенні нових промислових об'єктів.

Одним з вагомих компонентів ресурсозбереження є вторинний ресурсний потенціал. Навіть за кризових умов господарювання щорічно утворюється близько 600-700млн.т відходів з номенклатурою більше ніж 50 найменувань, в

структурі яких переважає виробнича, паливно-енергетична, металургійна, хімічна промисловість. У перспективі передбачається формування ефективного механізму вторинного ресурсоспоживання і залучення у цю сферу іноземних інвестицій.

В цілому комплексний розвиток усіх напрямів ресурсозбереження дасть змогу сформувати нову ідеологію господарювання, що базується на економному використанні наявної ресурсної бази, оптимальному співвідношенні первинних і вторинних ресурсів та маловідходному виробничому циклі.

# 1. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*Основні причини, що вказують на важливість швидкого переходу до альтернативних джерел енергії (АДЕ):*

**Глобально-екологічний:** сьогодні загальновідомий і доведений факт згубного впливу на навколишнє середовище традиційних енергодобувних технологій (в т.ч. ядерних і термоядерних), їх застосування неминує веде до катастрофічної зміни клімату вже в перших десятиліттях ХХІ столітті.

**Політичний:** та країна, яка першою повною мірою освоїть альтернативну енергетику, здатна претендувати на світову першість і фактично диктувати ціни на паливні ресурси;

**Економічний:** перехід на альтернативні технології в енергетиці дозволить зберегти паливні ресурси країни для переробки в хімічній і інших галузях промисловості. крім того, вартість енергії, вироблюваної багатьма альтернативними джерелами, вже сьогодні нижче за вартість енергії з традиційних джерел, та і терміни окупності будівництва альтернативних електростанцій істотно коротші. ціни на альтернативну енергію знижуються, на традиційну - постійно ростуть;

**Соціальний:** чисельність і щільність населення постійно ростуть. При цьому важко знайти райони будівництва АЕС, ГРЕС, де виробництво енергії було б рентабельне і безпечно для навколишнього середовища. Загальновідомі факти зростання онкологічних і інших важких захворювань в районах розташування АЕС, крупних ГРЕС, підприємств паливно-енергетичного комплексу, добре відома шкода, що наноситься гігантськими рівнинними ГЕС, - все це збільшує соціальну напруженість.

**Еволюційно-історичний:** у зв'язку з обмеженістю паливних ресурсів на землі, а також експоненціальним наростанням катастрофічних змін в атмосфері

і біосфері планети існуюча традиційна енергетика представляється тупиковою; для еволюційного розвитку суспільства необхідно негайно почати поступовий перехід на альтернативні джерела енергії.

Всі енергетичні ресурси на землі можуть бути поділені на дві основні групи: не поновлювані і поновлювані (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Потенційні запаси джерел енергії на Землі

<b>ВИДИ ЕНЕРГІЇ</b>	<b>Запаси енергії</b>
<b>Не поновлювані (кВт·год)</b>	
1. Термоядерна енергія	$100.000.000 \cdot 10^{12}$
2. Ядерна енергія	$574.000 \cdot 10^{12}$
3. Енергія паливних родовищ	$55.364 \cdot 10^{12}$
<b>Поновлювані (кВт·год)</b>	
1. Енергія сонця	$667.800 \cdot 10^{12}$
2. Енергія морів і океанів	$70.000 \cdot 10^{12}$
3. Енергія вітру	$17.360 \cdot 10^{12}$
4. Енергія внутрішнього тепла Землі	$134 \cdot 10^{12}$
5. Енергія річок	$18 \cdot 10^{12}$

**Непоновлювані джерела енергії** – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії. Прикладом можуть служити: нафта, кам'яне і буре вугілля, сланці, торф, підземні гази, а також термоядерна і ядерна енергія.

Енергія непоновлюваних джерел на відміну від поновлюваних знаходиться в природі в зв'язаному стані і вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини.

**Поновлювані джерела енергії** – це джерела на основі постійних існуючих або періодично виникаючих в навколишньому середовищі потоків енергії. Поновлювана енергія не є наслідком цілеспрямованої діяльності людини, і це є її відмітною ознакою (дані джерела постійно оновлюються) – сонячна енергія, вітер, потоки річок, морські хвилі і приливи, внутрішнє тепло Землі.

**Поновлюваними джерелами енергії** називаються ресурси енергії, які постійно циклічно відновлюють енергетичну цінність і можуть бути перетворені на корисну роботу. Іншими словами, поновлювані джерела енергії поновлюються постійно, без тимчасових обмежень, в той час, як ресурси органічних палив скорочуються у міру їх використання на мільярди тонн в рік.

Тому найбільш відповідною альтернативою органічним паливам є поновлювані і альтернативні джерела енергії. До них як мовилося раніше відносяться: сонячна енергія, енергія вітру, біоенергетичної маси, фотоенергетика, гідроенергетика, хвильова енергія, геотермальна енергія, показані на схемі рисунку 1.1.

сонце							
пряма сонячна енергія		побічна діяльність сонця					
тепловий ефект	фотоефект	ефекти в атмосфері		ефекти в гідросфері		ефекти в геосфері	
теплова сонячна енергія	енергія біомаси	фотоенергетика	енергія вітру	гідроенергія	хвильова енергія	геотермальна енергія	

Рисунок 1.1 – Альтернативні джерела енергії



Фундаментом економіки розвиненої держави є його паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) - складна міжгалузева система, що забезпечує споживачів всіх категорій паливно-енергетичними ресурсами: безпосередньо паливом або отриманими з нього іншими видами енергії. Безперервне забезпечення народного господарства країни газом, нафтою, вугіллям, електричною і тепловою енергією - одна з умов існування її економічною і політичне незалежності і національній безпеці.

Як стратегічна галузь економіки енергетика визначає рівень її розвитку, характер міжгалузевих зв'язків, статус держави на міжнародній арені, його привабливість як партнера.

Україні в спадок від радянського союзу дістався крупний промисловий і енергетичний потенціал: до 1990 р. на її частку доводилося близько 25 % видобутку вугілля, 40 % виплавки стали, 50 % - чавуну. не говорячи вже про вироблення електроенергії на душу населення вище 5 тис. квт, що забезпечувало потреби могутньої промислової, машинобудівної, хімічної і здобувної промисловості.

На жаль, запаси нафти, газу, вугілля зовсім не нескінченні. щоб створити їх, природі було потрібно мільйони років, а витрачені вони будуть за сотні років. сьогодні в світі стали серйозно замислюватися над тим, як не допустити розграбування земних багатств. лише за цієї умови запасів палива може вистачити на століття.

А поки учені, інженери займаються пошуками нових, нетрадиційних джерел, які могли б узяти на себе хоч би частина турбот по постачанню людства енергією. вирішення цієї задачі дослідники шукають різними шляхами. найпринаднішим, звичайно, є використання вічних, поновлюваних джерел енергії — енергії поточної води і вітру, океанських приливів і відливів, тепла земних надр, сонця. багато уваги приділяється розвитку атомної енергетики, біоенергетиці, учені шукають способи відтворення на землі процесів, що протікають в зірках і забезпечують їх колосальними запасами енергії.

## 1.1 Сонячне енергопостачання

Використання сонячної енергії в наш час – різноманітне. Це – опалення та охолодження будівель, приготування гарячої води та сушіння сільськогосподарських продуктів, та багато інших застосувань.

Хоча сонячна енергія здається легкодоступною, але для її використання у тепlopостачанні, а особливо для електропостачання, потребуються значні кошти на обладнання. Тому для прийняття рішення про доцільність використання сонячної енергії потрібен детальний техніко-економічний аналіз. Але здобути попередню відповідь на питання доцільності інсталяції такої системи можна, розглянувши основні фактори, які впливають на це:

1. Високі середньорічні значення інтенсивності сонячної радіації, яка надходить, та велика кількість сонячних днів. Вагомість цього фактору – очевидна, тому нижче буде розглянуто ресурси сонячної енергії в Україні, і те, як розрахувати потік сонячної радіації.

2. Висока вартість традиційного джерела енергії. Тому можна майже впевнено сказати, що при наявності дешевого джерела тепlopостачання (газопровід) чи надійного електропостачання строк окупності сонячних систем буде дуже великим.

3. Ще один фактор – це відповідність періодів з високим значенням потоку сонячної радіації та потреб у енергії, що зменшить затрати на акумуляцію енергії (сезонну, або добову).

4. Жорсткі обмеження на використання традиційних джерел енергії у зв'язку з вимогами до чистоти оточуючого середовища (курортні та заповідні зони), або пов'язані з вимогами безпеки (заборона газоспоживного обладнання у дитячих садках).

5. Наявність площі для розміщення колекторів та відсутність їх затінення.

Оцінювання цих факторів дозволить зробити попередній висновок, чи є сенс проводити фінансовий аналіз можливості впровадження систем, які використовують сонячну енергію.

Перераховані фактори відносяться до всіх систем використання сонячної енергії – як у тепlopостачанні, так і у електропостачанні. Крім цього нижче у відповідних розділах для кожного виду використання будуть окремо розглянуті більш детально умови та технічні рішення, які дозволяють зробити сонячні системи як тепло- так і електропостачання конкурентно спроможними серед інших можливостей енергопостачання.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт-год/м<sup>2</sup> в північній частині України до 1400 кВт-год/м<sup>2</sup> і вище в АР Крим (рис. 1.2). У табл. 1.2 наведено сумарний річний потенціал сонячної енергії для областей України.

## **1.2 Розрахунок величини сумарного надходження сонячної радіації**

Середні місячні значення величин денних надходжень сонячної радіації на горизонтальну поверхню відомі для багатьох географічних пунктів, тоді як для похилої поверхні таких даних нема.

Середньомісячні денні надходження сумарної сонячної радіації на похилу поверхню визначаються таким чином

$$\bar{H}_T = R\bar{H}, \quad (1.1)$$

де  $\bar{H}$  - середньомісячна величина денного надходження сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кДж/(м<sup>2</sup>×добу);

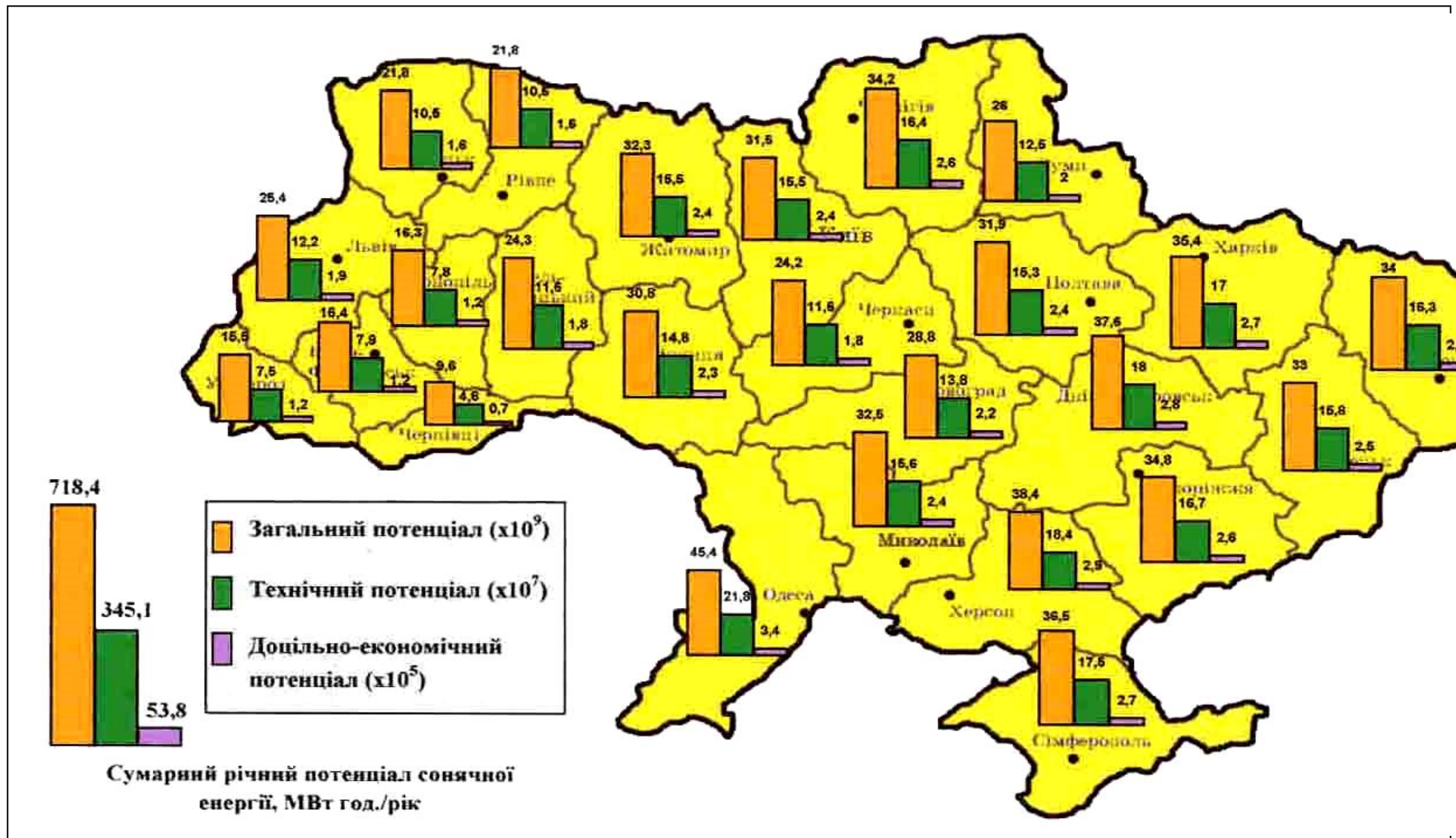


Рисунок 1.2 – Потенціал сонячної енергії на території України

Таблиця 1.2 - Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України

№ п/п	Області	Потенціал сонячної енергії МВт-год/рік		
		Загальний потенціал ( $\times 10^9$ )	Технічний потенціал ( $\times 10^7$ )	Доцільно-економічний потенціал ( $\times 10^5$ )
1	Вінницька	30,8	14,8	2,3
2	Волинська	21,8	10,5	1,6
3	Дніпропетровська	37,6	18	2,8
4	Донецька	33	15,8	2,5
5	Житомирська	32,3	15,5	2,4
6	Закарпатська	15,5	7,5	1,2
7	Запорізька	34,8	16,7	2,6
8	Івано-Франківська	16,4	7,9	1,2
9	Київська	31,5	15,5	2,4
10	Кіровоградська	28,8	13,8	2,2
11	Луганська	34	16,3	2,5
12	Львівська	25,4	12,2	1,9
13	Миколаївська	32,5	15,6	2,4
14	Одеська	45,4	21,8	3,4
15	Полтавська	31,9	15,3	2,4
16	Рівненська	21,8	10,5	1,6
17	Сумська	26	12,5	2,0
18	Тернопільська	16,3	7,8	1,2
19	Харківська	35,4	17	2,7
20	Херсонська	38,4	18,4	2,9
21	Хмельницька	24,3	11,6	1,8
22	Черкаська	24,2	11,6	1,8
23	Чернівецька	9,6	4,6	0,7
24	Чернігівська	34,2	16,4	2,6
25	АР Крим	36,5	17,5	2,7
	Всього	718,4	345,1	53,8

$\bar{R}$  - відношення середньомісячних величин денного надходження сумарної радіації на похилу і горизонтальну поверхні.

Щоб визначити  $\bar{R}$ , потрібно знати складові потоку сонячної радіації:

- пряму;
- дифузну;
- відбиту.

Пряме випромінювання спричиняє відкидання тіні освітлюваним сонцем предметом. Дифузне - відбивається і розсівається хмарами і пилом, перш ніж досягає поверхні землі, і, на відміну від прямого випромінювання, не приводить до утворення тіней. Третя складова – це випромінювання, відбите від землі на поверхню колектора. Підсумувавши ці складові, величину  $\bar{R}$  можна представити у вигляді:

$$\bar{R} = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right) \bar{R}_B + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (1.2)$$

де  $\bar{H}_d$  - середньомісячна величина денного надходження дифузної радіації на горизонтальну поверхню, кДж/(м<sup>2</sup>·добу);

$\bar{R}_B$  - відношення середньомісячних величин денного надходження прямої радіації на похилу і горизонтальну поверхні;

$\beta$  - кут нахилу колектора до горизонту;

$\rho$  - відбивна здатність землі, яка змінюється від 0,2 (влітку) до 0,7 (взимку за наявності снігового покриву).

Дослідження показали, що частка дифузної складової в сумарній радіації  $\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$  залежить від показника хмарності  $\bar{K}_T$  (коефіцієнта ясності атмосфери):

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{H_0}, \quad (1.3)$$

де  $H_0$  - середньомісячне денне надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню за межами земної атмосфери, що розраховується на основі геометричних міркувань з використанням сонячної постійної, кДж/(м<sup>2</sup> × добу).

Залежність частки дифузної радіації від показника хмарності може бути виражена формулою:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = 1,39 - 4,03\bar{K}_T + 5,53\bar{K}_T^2 - 3,11\bar{K}_T^3. \quad (1.4)$$

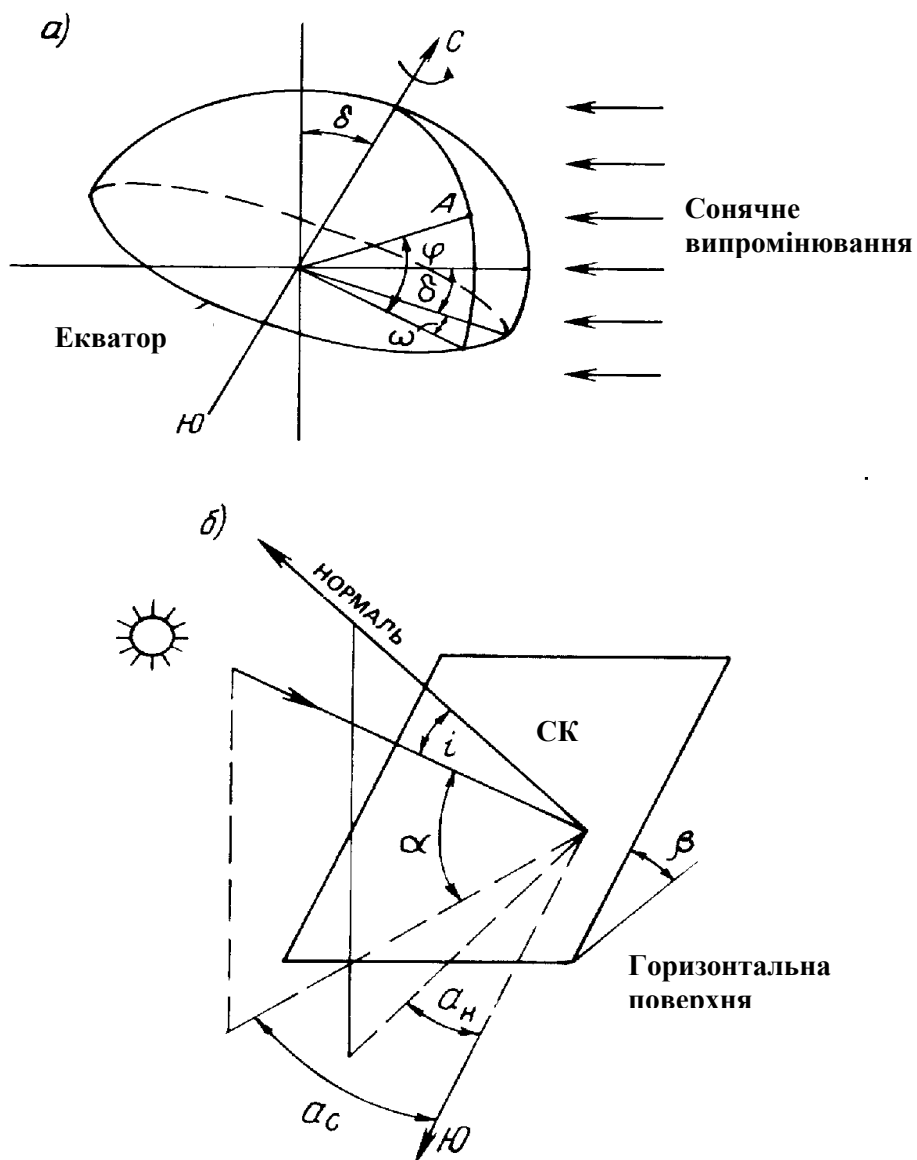
Для поверхонь, орієнтованих на південь, величина  $\bar{R}_B$  може бути визначена згідно рівнянню (1.5). Ці ж значення з допустимою погрішністю можна використовувати і для поверхонь, азимут яких по абсолютному значенню не перевищує 15°.

$$\bar{R}_B = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega + \frac{\pi}{180} \omega' \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega + \frac{\pi}{180} \omega \sin \varphi \sin \delta}, \quad (1.5)$$

де  $\omega$  - годинний кут заходу сонця на горизонтальній поверхні (рис. 1.3)

$$\omega = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \operatorname{tg} \delta), \quad (1.6)$$

$\omega'$  - годинний кут заходу сонця на похилій поверхні:



$\omega$  - годинний кут;  $\delta$  - схилення сонця;  $i$  - кут падіння сонячного проміння на похилу поверхню сонячного колектора;  $\alpha$  - кут висоти Сонця;  $\alpha_c$  - азимут Сонця;  $\alpha_n$  - азимут похилої поверхні

Рисунок 1.3 - Кути, що характеризують положення точки на земній поверхні (а) і похилій поверхні колектора (б) відносно сонячного проміння



$$\omega' = \min\{\omega, \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta)\operatorname{tg}\delta]\}, \quad (1.7)$$

$\delta$  - схилення сонця (рис. 1.4)

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284+n}{365}\right), \quad (1.8)$$

тут  $n$  – порядковий номер дня року.

При розрахунках і проектуванні систем сонячного тепlopостачання можуть виникнути ситуації, коли дані щодо щільності сонячної радіації відсутні, але є інформація про тривалість сонячного сяяння.

Тоді можна оцінити денну суму радіації, скориставшись запропонованим Говером і Мак-Кулохом співвідношенням:

$$\bar{N} = Q_{\text{с.п}}(0,29 \cos \varphi + 0,52 P/P_{\text{max}}), \quad (1.9)$$

де  $Q_{\text{с.п}} = 9830 \text{ Вт}\cdot\text{год}/(\text{м}^2\cdot\text{добу})$  - сонячна постійна;

$P_{\text{max}}$  — можливе число годин сонячного сяяння, год.

Формула (1.9) дозволяє виразити густину потоку сонячної радіації, що приходить на площину сонячного колектора, через тривалість сонячного сяяння.

### 1.3 Системи сонячного тепlopостачання

*Системи сонячного тепlopостачання* (ССТ) можна поділити на пасивні та активні. Найбільш простими та дешевими є пасивні системи, або „сонячні

дома”, які для збору сонячної енергії використовують елементи конструкцій будівель. Незважаючи на деякі переваги пасивних систем. Найбільш поширеними є активні системи, які використовують спеціальне обладнання для збору, акумулювання та розподілу теплоти сонячної радіації.

Залежно від призначення, використаних елементів активні ССТ можна класифікувати у різний спосіб:

1. по призначенню:

- системи гарячого водопостачання;
- системи опалення;
- системи тепlopостачання (опалення та гарячого водопостачання);
- комбіновані установки для цілей тепloxладопостачання.

2. по терміну роботи:

- цілорічні;
- сезонні.

3. по виду теплоносія, що використовують:

- рідинні;
- повітряні.

4. по технічному рішенню схеми:

- одноконтурні;
- двоконтурні;
- багатоконтурні.

Найчастіше вживаними теплоносіями в системах сонячного тепlopостачання є рідини (вода, розчин етіленгліколя, органічні речовини) і повітря. Кожний з них має певні переваги і недоліки. Повітря не замерзає, не створює великих проблем, пов'язаних з витокami і корозією обладнання. Проте через низьку густину і теплоємність повітря розміри повітряних установок, витрати електроенергії на перекачування теплоносія вищі, ніж у рідинних систем. Тому в більшості експлуатованих систем сонячного тепlopостачання

перевага віддається рідинам. Для житлово-комунальних потреб основний теплоносій – вода.

При роботі сонячних колекторів в періоди з від'ємною температурою зовнішнього повітря необхідно або використовувати в якості теплоносія антифриз, або якимсь способом уникати замерзання теплоносія (наприклад: своєчасним зливом води, нагрівом її, утепленням сонячного колектора).

Геліоустановками гарячого водопостачання цілорічної дії з дублюючим джерелом теплоти можуть бути обладнані дома сільського типа, багатопверхові і багатоквартирні будинки, санаторії, лікарні і інші об'єкти. Сезонні установки, такі як, наприклад, душові установки на базах відпочинку, пересувні установки для будівників функціонують звичайно в літні і перехідні місяці роки, в періоди з додатною температурою зовнішнього повітря. Вони можуть мати дублююче джерело теплоти або обходитися без нього залежно від типу об'єкту і умов експлуатації.

Вартість геліоустановок гарячого водопостачання може складати від 5 до 15 % вартості об'єкту і залежить від кліматичних умов і вартості обладнання.

У геліоустановках, призначених для систем опалювання, в якості теплоносіїв використовують як рідини, так і повітря. В багатоконтурних геліоустановках в різних контурах можуть бути використані різні теплоносії (наприклад: в геліоконтурі – вода, в розподільчому контурі – повітря).

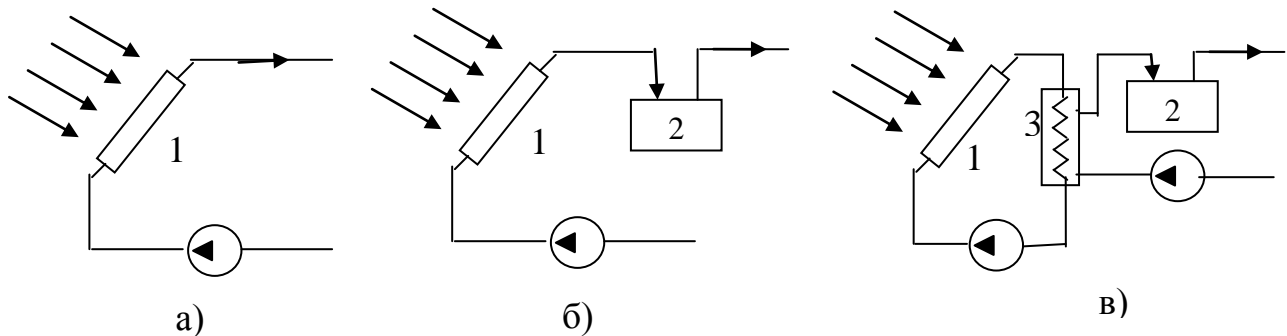
Площа поверхні сонячних колекторів, необхідна для систем опалювання, звичайно у 3 - 5 разів перевищує площу поверхні колекторів для систем гарячого водопостачання, тому коефіцієнт використання цих систем нижчий, особливо в літній період року. Вартість установки для системи опалювання може складати 15...35 % вартості об'єкту.

До комбінованих систем можуть бути віднесені установки цілорічної дії для цілей опалювання і гарячого водопостачання, а також установки, що працюють в режимі теплового насоса і теплової труби для цілей теплохолодопостачання. Ці системи поки не застосовуються широко в

промисловості. Головний їх недолік полягає у великих початкових капітальних вкладеннях, тому потрібен ретельний техніко-економічний аналіз умов вживання комбінованих систем.

Принципові схеми систем сонячного теплопостачання, представлені на рис. 1.4, 1.5, можна розділити на дві основні групи:

- установки, що працюють по *розімкненій* або *прямоточній* схемі (рис. 1.4);
- установки, що працюють за *замкнутою* схемою (рис. 1.5).

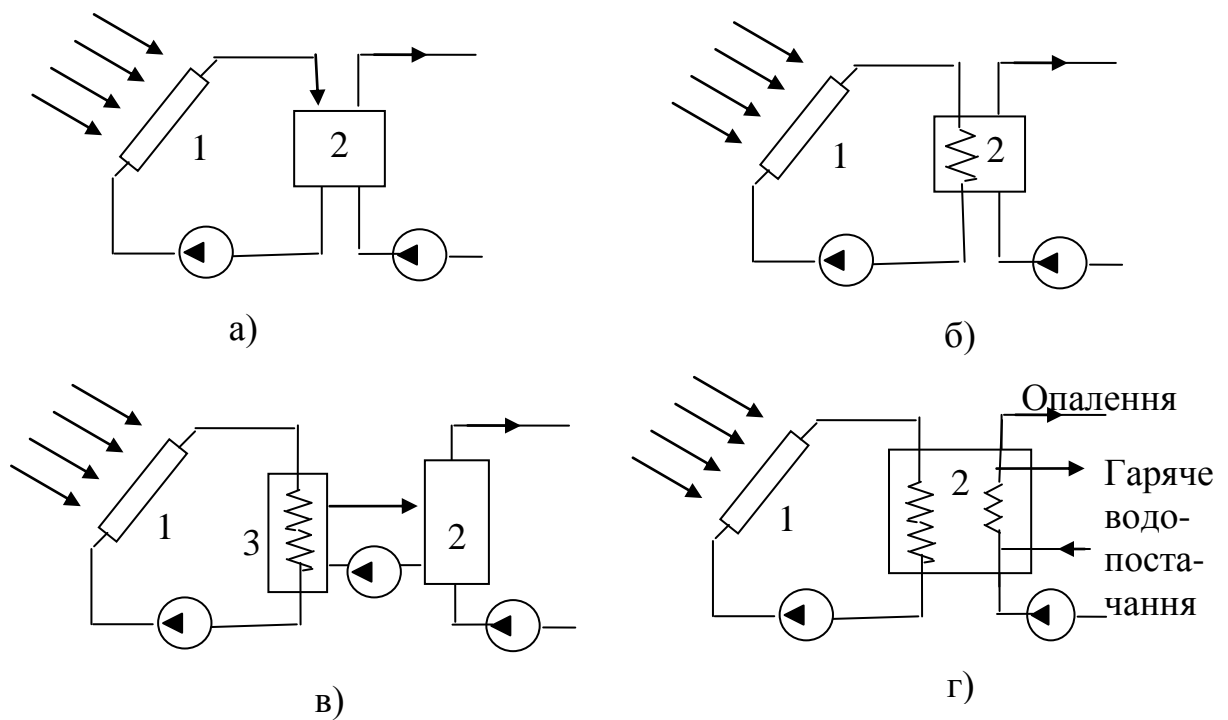


1 – сонячний колектор; 2 – акумулятор; 3 – теплообмінник

Рисунок 1.4 - Принципові схеми прямоточних систем

В установках першої групи теплоносій подається в сонячні колектори (рис. 1.4, а,б) або в теплообмінник геліоконтура (рис. 1.4,в), де він нагрівається і поступає або безпосередньо до споживача, або в бак-акумулятор.

Якщо температура теплоносія після геліоустановки виявляється нижче заданого рівня, то теплоносій догрівають за рахунок дублюючого джерела теплоти. Розглянуті схеми знаходять вживання, в основному, в промислових об'єктах, в системах з довготривалою акумуляцією теплоти.



1 – сонячний колектор; 2 – акумулятор; 3 – теплообмінник

Рисунок 1.5 - Принципові схеми замкнутих систем

Щоб забезпечити постійний температурний рівень теплоносія на виході з колектора, необхідно змінювати витрату теплоносія відповідно до закону зміни інтенсивності сонячної радіації протягом дня, що вимагає вживання автоматичних пристроїв і ускладнює систему.

У схемах другої групи передача теплоти від сонячних колекторів здійснюється або через бак-акумулятор, або шляхом безпосереднього змішування теплоносіїв (рис. 1.5,а), або через теплообмінник, який може бути розташований як усередині бака (рис. 1.5,б), так і зовні нього (рис. 1.5,в). До споживача нагрітий теплоносій поступає через бак і у разі потреби його догрівають за рахунок дублюючого джерела теплоти. Установки, що працюють за схемами, представленими на рис. 1.5, можуть бути одноконтурними (рис. 1.5,а), двоконтурними (рис. 1.5,б) або багатоконтурними (рис. 1.5,в,г).

Вживання того або іншого варіанту схеми залежить від характеру навантаження, типу споживача, кліматичних, економічних факторів і інших умов. Розглянуті на рис. 1.5 схеми знайшли в даний час найбільше вживання, оскільки відрізняються порівняльною простотою, надійністю в експлуатації.

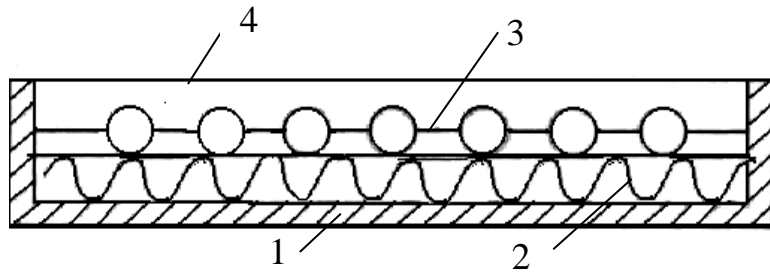
#### **1.4 Плоскі сонячні колектори та їх ефективність**

У системах сонячного теплопостачання може бути застосований будь-який з існуючих типів колекторів – фокусуючий або плоский. Фокусуючі колектори дозволяють забезпечити нагрів теплоносія до порівняно високих температур (400...600 °С). Основний їх недолік в тому, що в них сприймається тільки пряма складова сонячної радіації, хоча дифузна може складати до 40% сумарної радіації, особливо в північних широтах. Крім того, вартість фокусуючих колекторів велика, що не завжди дозволяє використовувати їх в системах теплопостачання, тому найбільше поширення набули плоскі колектори.

Термін «плоский» є дещо умовним і відноситься як до різних типів сонячних колекторів, поглинаюча поверхню яких може бути поєднанням плоских, гофрованих, фокусуючих елементів, поверхонь, що відбивають, так і до різних способів перетворення сонячного випромінювання.

Більшість плоских колекторів має наступні елементи (рис. 1.6):

- прозоре покриття з одного або декількох шарів скла або іншого прозорого матеріалу;
- поглинаючу поверхню (або поглинаючий елемент) з каналами для проходу теплоносія і оребрення різної форми;
- ізоляцію для зменшення теплових втрат;
- сантехнічну арматуру, патрубки, теплообмінники;
- корпус для розміщення вищезазначених елементів і кріплення до опори.



1 – корпус; 2 – ізоляція; 3 – поглинаюча поверхня; 4 – прозоре покриття

Рисунок 1.6 - Поперечний розріз сонячного колектора.

Залежно від області вживання конструкція і набір елементів можуть мінятися.

Принцип дії плоского колектора наступний. Велика частка сонячної радіації, падаючої на колектор, поглинається поверхнею. Частка поглиненої енергії передається теплоносію, циркулюючому через колектор, а решта втрачається в результаті теплообміну з навколишнім середовищем через прозоре покриття і стінки корпусу.

Прозоре покриття зменшує теплові втрати конструкцій і втрати випромінюванням від поглинаючої поверхні. Наприклад, скло прозоро для короткохвильового високотемпературного випромінювання, але фактично непроникно для довгохвильового випромінювання від поверхні при температурі нижче 373 К.

Хоча прозоре покриття викликає деяке зменшення щільності потоку сонячної радіації за рахунок оптичних втрат при пропусканні, ефект від зниження теплових втрат, більше. Звичайно використовують одно- або двошарове прозоре покриття. Скло володіє стійкістю до атмосферних дій, має високу прозорість, воно недороге. Недоліки скла – його крихкість і велика маса. Окрім скла для покриття можна застосовувати прозорі полімерні плівки. Але

вони, як правило, не володіють стійкістю до дії погодних умов, з часом жовтіють, що знижує їх здатність пропускання.

В якості поглинаючої поверхні може бути використаний лист з металу або іншого матеріалу з каналами для проходу теплоносія. На рис. 1.7 представлені поперечні перетини деяких конструкцій поглинаючої поверхні.

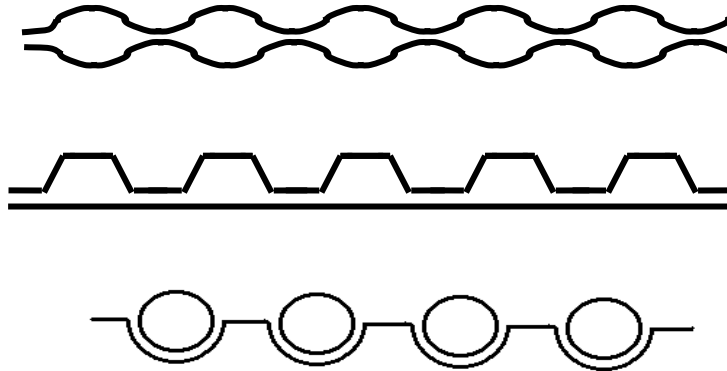


Рисунок 1.7 - Поперечні перетини поглинаючої поверхні.

В якості конструкційних матеріалів для її виготовлення звичайно використовують сталь, алюміній, мідь, різні сплави, пластмасу, гуму і ін. Поглинаючу поверхню зачернюють, або використовують інші заходи для досягнення високої поглинаючої здатності.

Корпус колектора може бути виготовлений з дерева, металу, полімерних і інших матеріалів. В якості теплової ізоляції використовують тирсу, мінеральну вату, синтетичні матеріали і ін.

Рівняння, яке застосовне для розрахунку майже всіх існуючих конструкцій плоского колектора, має вигляд:

$$Q_U = F_R A [I_T (\tau\alpha) - U_L (T_I - T_{O.C.})], \quad (1.10)$$



де  $Q_U$  - корисна енергія, що відводиться з колектора в одиницю часу, Вт;

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

$F_R$  - коефіцієнт відведення тепла з колектора;

$I_T$  - щільність потоку сумарної сонячної радіації в площині колектора, Вт/м<sup>2</sup>,

$\tau$  - здатність пропускання прозорих покриттів по відношенню до сонячного випромінювання;

$\alpha$  - поглинальна здатність пластини колектора по відношенню до сонячного випромінювання;

$U_L$  - повний коефіцієнт теплових втрат колектора, Вт/(м<sup>2</sup>·К);

$T_I$  - температура рідини на вході в колектор, К;

$T_{O.C.}$  - температура навколишнього середовища, К.

У рівнянні (1.10) корисна енергія колектора визначається за температурою рідини на вході. Проте втрати тепла в навколишнє середовище залежать від середньої температури поглинаючої пластини, яка завжди вища за температуру на вході, якщо рідина нагрівається, проходячи через колектор.

Коефіцієнт  $F_R$  враховує нерівномірність розподілу температури поглинаючої поверхні і пов'язане з цим збільшення теплових втрат в порівнянні з втратами теплоти за умови, що температура поверхні дорівнює  $T_{BX}$ . Таким чином, коефіцієнт відведення теплоти  $F_R$  рівний відношенню фактично одержаної корисної енергії до тієї енергії, яку можна одержати у разі, коли температура всієї поглинаючої поверхні рівна  $T_{BX}$ . Коефіцієнт  $F_R$  залежить від конструкції колектора і витрати теплоносія, але мало залежить від щільності потоку сонячної радіації і температур поглинаючої поверхні і навколишнього середовища.

Приведена здатність поглинання колектора визначається властивостями матеріалів прозорого покриття та поглинаючої поверхні і кутом падіння сонячного випромінювання на площину колектора.

Повний коефіцієнт теплових втрат  $U$  рівний сумі коефіцієнтів втрат через прозоре покриття, днище і бічні стінки корпусу. Для більшості конструкцій сонячних колекторів значення двох останніх коефіцієнтів можуть складати  $0,5 \dots 1,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ . Тепловий баланс колектора приведено на рис. 1.8.

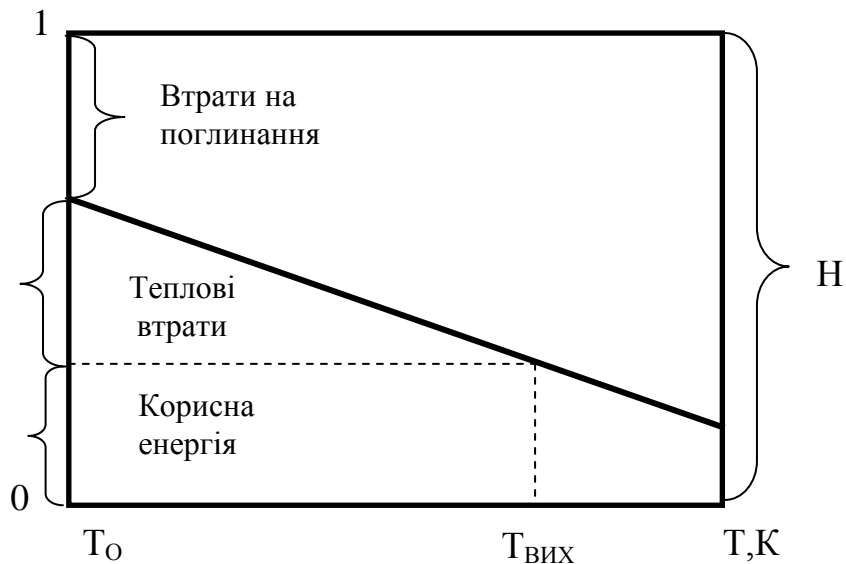


Рисунок 1.8 - Тепловий баланс сонячного колектора

Добутки  $F_R \cdot (\tau\alpha)_n$  і  $F_R \cdot U_L$  неважко визначити за результатами стандартних випробувань колекторів. Такі випробування проводять або за натурних умов приблизно ополудні в ясний сонячний день, або в приміщенні із застосуванням сонячного імітатора. В обох випадках дифузна складова радіації мала і падаюче випромінювання спрямовано майже за нормаллю до поверхні колектора. Внаслідок цього, значення приведеної поглинальної здатності, визначуваної з цих дослідів, відповідає прямій радіації, падаючій по нормалі до поверхні, і позначається  $(\tau\alpha)_n$ .

У процесі випробувань ретельно вимірюють щільність потоку падаючої сонячної радіації, температуру рідини на вході і виході з колектора. Корисна енергія колектора визначається виразом, Вт:

$$Q_U = A \cdot G \cdot C_P \cdot (T_2 - T_1), \quad (1.11)$$

де  $G$  – витрата рідини на  $1 \text{ м}^2$  площі колектора,  $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$ ;

$C_P$  – теплоємність рідини,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$T_2$  – температура рідини на виході з колектора,  $\text{К}$ .

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

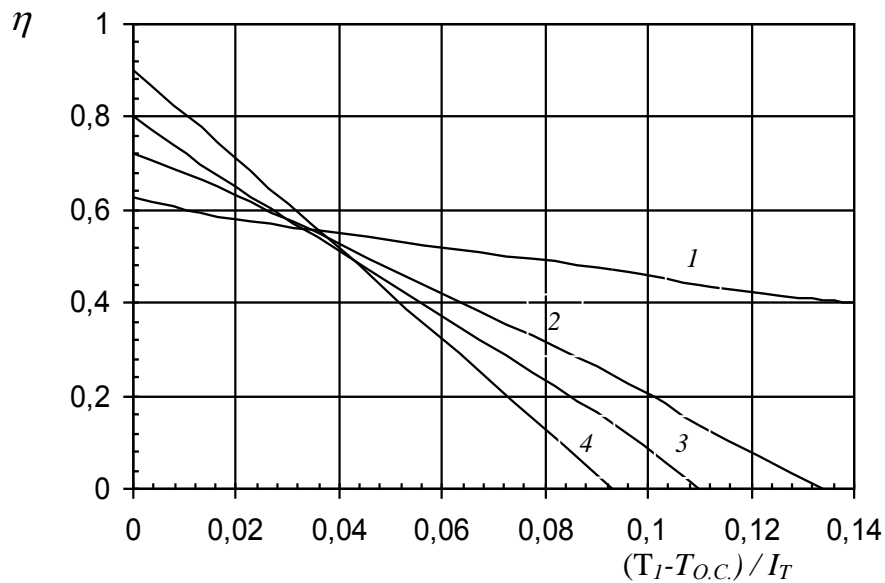
$$\eta = Q_U / (A I_T). \quad (1.12)$$

Результати випробувань краще всього представити у вигляді графіка залежності миттєвого ККД колектора від параметра  $(T_1 - T_{O.C.}) / I_T$ . В основі такої форми подання дослідних даних лежить рівняння (1.10). Розділивши обидві частини цього рівняння на  $I_T A$ , одержимо наступний вираз ККД колектора:

$$\eta = Q_U / (A I_T) = F_R (\tau\alpha)_n - F_R U_L (T_1 - T_{O.C.}) / I_T. \quad (1.13)$$

При  $U_L = \text{const}$  залежність ККД колектора від параметра  $(T_1 - T_{O.C.}) / I_T$  є лінійною, причому кутовий коефіцієнт прямої дорівнює  $-F_R U_L$ , а координата точки перетину з вертикальною віссю складає  $F_R (\tau\alpha)_n$ . – рис. 1.9.

Незважаючи на ряд допущень, зроблених під час виведення залежності (1.13), вона дозволяє порівнювати між собою різні типи сонячних колекторів. Проте слід помітити, що колектори з близькими тепловими характеристиками можуть відрізнятися в 1,5...2,5 рази за вартістю. Тому об'єктивнішої оцінки необхідне залучення методів техніко-економічного аналізу.



1 – вакуумований колектор; 2 – колектор з подвійним склінням і селективним покриттям поглинаючої поверхні; 3 – колектор з подвійним склінням; 4 – колектор з одинарним склінням.

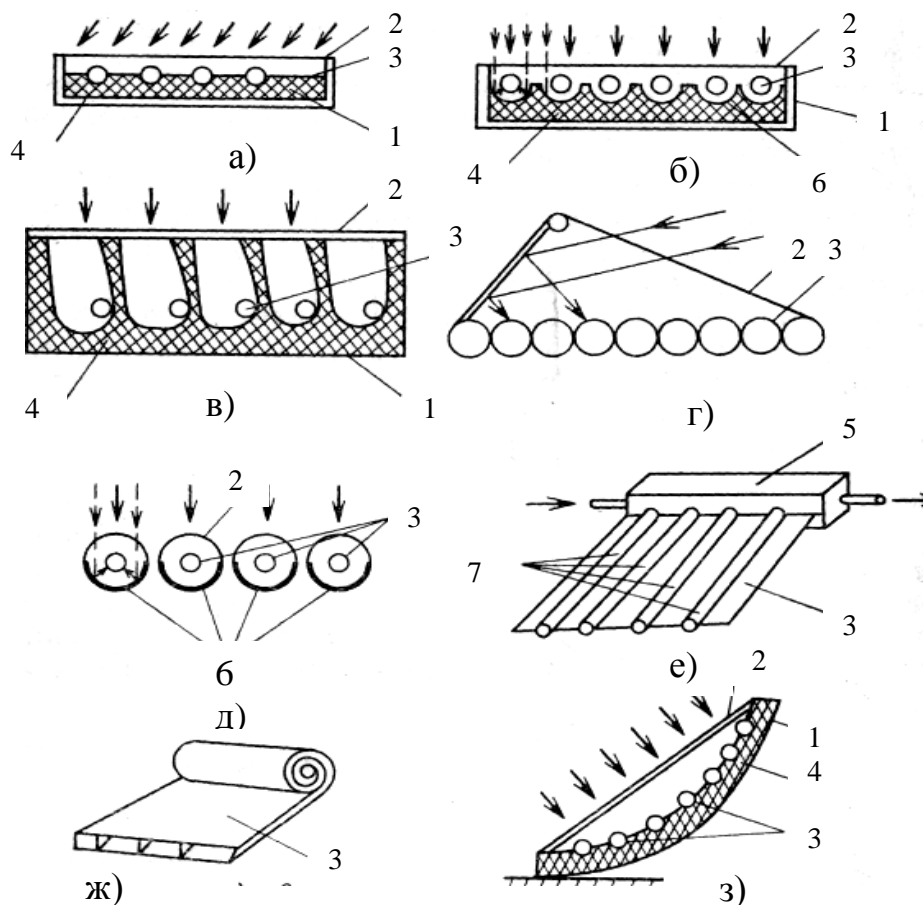
Рисунок 1.9 - Залежність ККД рідинного колектора від кліматичних і конструктивних факторів:

Величиною, що характеризує теплотехнічну досконалість сонячного колектора при порівнянні різних конструкцій, може бути приведений коефіцієнт теплових втрат:

$$U_0 = U / (\alpha\tau) \quad (1.14)$$

Величина  $U$  є мірою якості вироблюваної сонячним колектором енергії, тобто рівень температури теплоносія, що нагрівається;  $(\alpha\tau)$  - міра кількості енергії, одержуваної від колектора. Чим менше, тим вище теплова потужність колектора. Проте зменшення  $U_0$ , практично завжди пов'язано із збільшенням вартості колектора.

**Конструкції сонячних колекторів плоского типу.** Існують різні підходи до удосконалення конструкції сонячного колектора. Підвищення його ефективності найчастіше пов'язано з ускладненням конструкції і, як наслідок, із збільшенням його вартості. На рис. 1.10,а-з представлені деякі конструкції плоских колекторів, вживані в даний час.



1 – корпус; 2 – прозоре покриття; 3 – поглинаюча поверхня; 4 – ізоляція;  
 5 – теплообмінник; 6 – поверхня, що відбиває; 7 – випарники теплових  
 труб

Рисунок 1.10 - Сонячні колектори плоского типу:

Поверхні, що відбивають (рис. 1.10,б,в,г), з розміщеними у фокусі поглинаючими трубами, забезпечують підвищення концентрації сонячного випромінювання і зменшення теплових втрат. Поверхня, що відбиває, може бути плоскою, гофрованою, криволінійною.

Вакуумований колектор (рис. 1.10, д) має порожнину, обмежену прозорою для сонячного випромінювання огорожею, з якої відкачують повітря. У середині порожнини розміщена труба, поглинаюча сонячне випромінювання, і заповнена теплоносієм. Вакуумований колектор забезпечує зниження теплових втрат, особливо при високих температурах (373...473 °С). Труба, поглинаюча сонячне випромінювання, може бути виготовлена із скла, металу або полімерних матеріалів. Вакуум може складати 0,01...0,1 Па. Окремі трубчасті конструкції збирають в секції. Основна трудність при створенні вакуумних колекторів полягає в розробці надійного ущільнення на виході поглинаючої поверхні.

Останнім часом виявляється сильний інтерес до використання принципу теплової труби в сонячних колекторах (рис. 1.10,е). Застосовуючи В якості теплоносія виступають низькокип'ячі рідини, тому можна нагрівати теплоносій не тільки за рахунок сонячної радіації, але і за рахунок теплоти навколишнього середовища. При цьому підвищується ККД через зменшення теплових втрат.

Використання полімерних матеріалів (рис. 1.10,ж,з) дозволяє зменшити масу сонячного колектора, спростити технологію виготовлення, збирання і монтаж в процесі експлуатації.

На рис. 1.10,ж представлений варіант сонячного колектора виконаного з еластичного матеріалу, який можна скручувати в рулон, що зручне при монтажі, транспортуванні та зберіганні.

**Плоскі колектори з системою орієнтації.** Максимальну теплову потужність сонячний колектор має у разі нормального падіння сонячного проміння на поглинаючу поверхню. Ці умови дотримуються тільки ополудні. В решту часу дня кут падіння змінюється від 0 до 90°. що призводить до зменшення теплової потужності установки. В концентруючих системах для

забезпечення стеження за положенням сонця використовують механічні пристрої та автоматику. Це здорожує і ускладнює конструкцію і найчастіше неприйнятно для систем сонячного теплопостачання по економічних міркуваннях. Тому для забезпечення стеження в сонячних колекторах плоского типу застосовуються різні технічні рішення. На рис. 1.10(з) представлена конструкція сонячного колектора з еластичного матеріалу, прозоре покриття якого виконано з жорсткого матеріалу (наприклад, скла). Одна з стінок колектора жорстко пов'язана з підставою. При збільшенні сонячної радіації підвищується тиск теплоносія в каналах поглинаючої поверхні і за рахунок пружних властивостей матеріалу колектора змінюється його форма і положення відносно підстави. Таким чином здійснюється орієнтація на сонці.

**Селективні покриття** на поглинаючій поверхні дозволяють зменшити втрати випромінювання в інфрачервоній частині сонячного спектру. Це зменшення стає все більш істотним у міру підвищення температури поглинаючої поверхні. В якості селективних покриттів найчастіше використовують чорний нікель, чорний хром, оксид натрію й інші. При виборі того або іншого матеріалу для селективного покриття необхідно прагнути до збільшення відношення  $\alpha/\epsilon$ ; де  $\alpha$  – поглинальна здатність покриття;  $\epsilon$  – ступінь чорноти поглинаючої поверхні.

Як вказувалось раніше, в якості теплоносіїв в сонячного теплопостачання може бути використано повітря. Сонячні повітрянагрівачі мають наступні переваги:

- повітря не замерзає;
- наслідки від витоку повітря менш значні, ніж до інших теплоносіїв;
- відсутня проблема корозії і сумісності різних матеріалів.

## 1.5 Економічні показники використання ССТ та їх визначення

Як правило, системи сонячного теплопостачання потребують значних коштів, тому техніко-економічне обґрунтування є важливим аспектом при розгляданні цих систем. При всіх своїх позитивних властивостях (екологічна чистота, відсутність необхідності у паливі), якщо розглядати ССТ як спосіб економії коштів, прийняття рішення про впровадження цієї системи потребує достатнього обґрунтування. Якщо не провести детальний аналіз, а орієнтуватись тільки на рекламні данні, можна затратити великі кошти і встановити систему, строк окупності якої буде 25...40 років для систем теплопостачання, чи 70...100 років для фотопанелей.

Нерідко інформація про сонячне обладнання, яку пропонують фірми-виробники, або фірми, впроваджуючи це обладнання дуже неповно вказують технічні характеристики. Наприклад, може бути приведено ККД, який має досить привабливе значення – 0,8, без пояснення що це оптичний ККД, який неможливо досягти в практичному використанні. Вказуються малі строки окупності без розкриття того, при яких умовах вони можуть бути здобуті. Тому для проведення техніко-економічного аналізу енергоменеджер повинен запросити точну інформацію про обладнання, особливо про сонячний колектор. До необхідної інформації можна віднести наступні питання:

1. Результати випробування колектора. Це повинен бути не ККД, а графік залежності ККД від комплексу  $(T_1 - T_{o.c.}) / I_m$ , або два параметри: оптичний ККД колектора  $F_R(\tau\alpha)_n$  та коефіцієнт втрат  $F_R U_L$  (див. розділ 1.4).

2. Матеріали, з яких вироблено колектор:

- трубки для рідини (мідь, алюміній, нержавіюча сталь, звичайна сталь);
- скло (термостійкість, наявність оксиду заліза);
- ізоляція (виробник, строк працездатності);
- корпус (антикорозійна здатність);
- матеріал прокладок.



Відповідь на перше питання дозволить розрахувати річну економію енергії від впровадження системи. Данні про матеріали дадуть змогу реально оцінити строк служби колектора, про дослідження показують, що деякі колектори (наприклад, Братського заводу, Росія) вже через три роки в своїй більшості непрацездатні.

## **1.6 Сонячне електропостачання та тепло електроенергетика**

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

Електроенергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримати в теплосилових установках, в яких тепло від згорання палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема будови енергетичних геліоустановок наведена на рис. 1.11.

Робочим тілом в колекторах є вода або водно-спиртовий розчин у зимовий період. Ефективність використання падаючого на приймач випромінювання становить від 20 до 35 %, вироблена електроенергія становить від 10 до 30 % ефективного падаючого випромінювання.

Більшість з подібних сонячних електростанцій передбачає однаковий принцип дії: поле розміщених на рівні землі дзеркал-геліостатів, що "слідкують" за сонцем, відбивають сонячні промені на приймач-ресивер, встановлений на досить високій вежі.

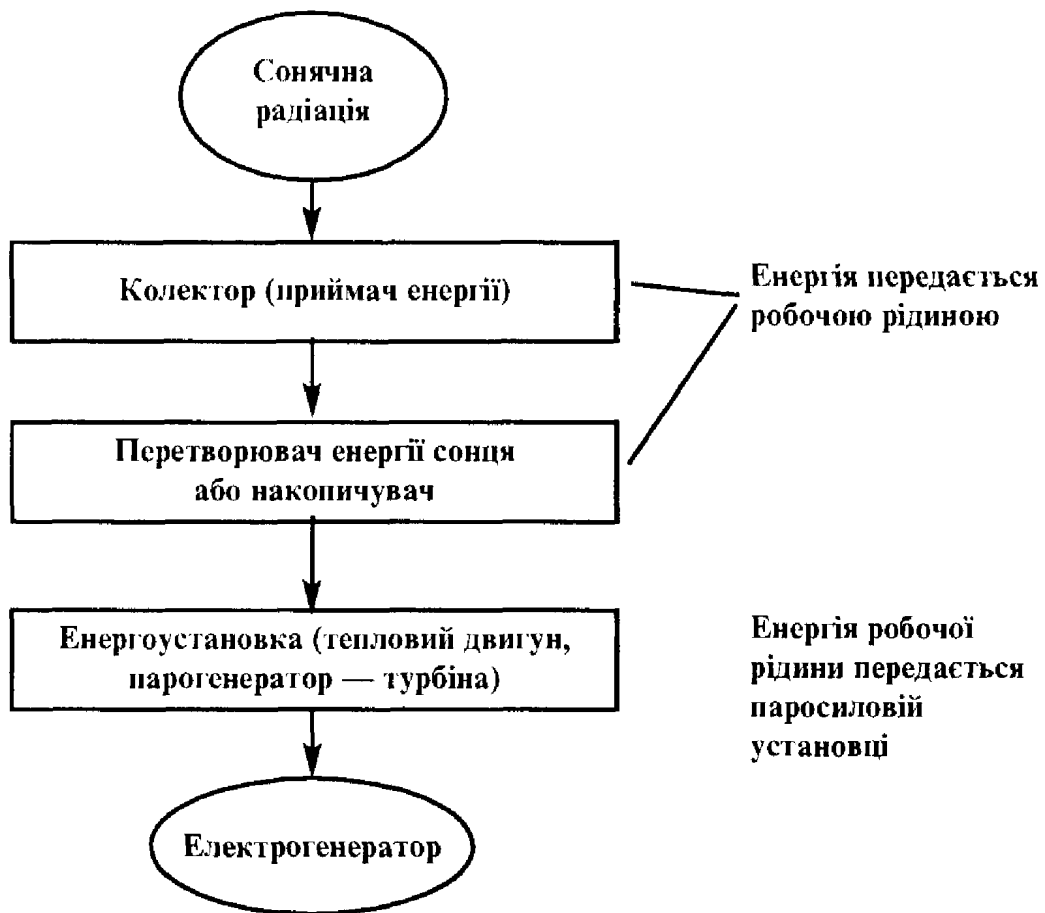


Рисунок 1.11 - Принципова схема геліоенергетичної установки

*Ресивер* – це сонячний котел, в якому виробляється водяна пара середніх параметрів, спрямована потім в стандартну парову турбіну. Принципова схема такої установки наведена на рис. 1.12.

Щоб можна було виробляти електричну енергію в нічний час та в періоди зменшення сонячної радіації, користуються звичайним паливним котлом, що дає змогу турбіні працювати в різних режимах.

Наприкінці 70-х – початку 80-х років у різних країнах миру було побудовано сім пілотних сонячних електростанцій (СЕС) такого типу з рівнем потужності від 0,5 до 10 МВт. Сама більша СЕС потужністю 10 МВт (Solar One) була побудована в Каліфорнії.

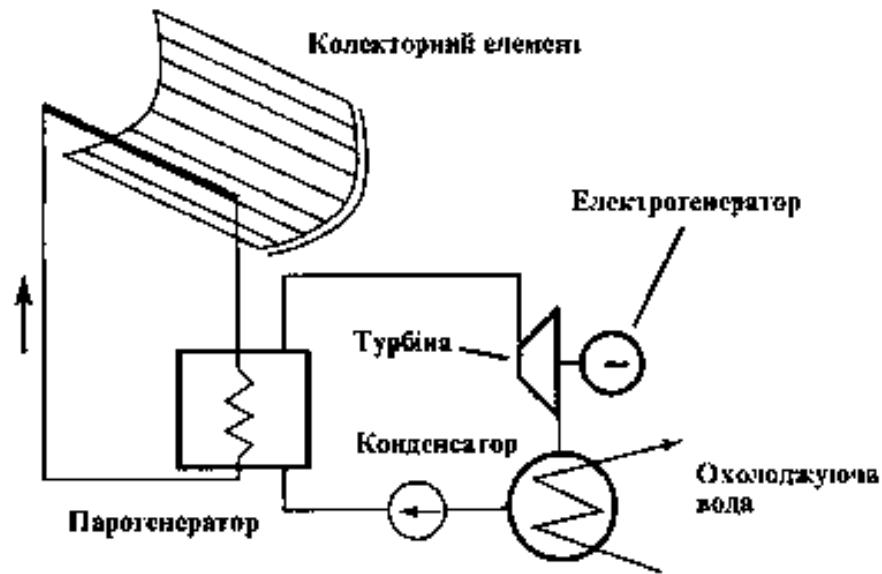


Рисунок 1.12 - Принципова схема паросилової сонячної електростанції

На даний час жодна із цих СЕС більше не експлуатується, оскільки намічені для них дослідницькі програми виконані, а експлуатація їх як комерційних електростанцій виявилася не вигідною. В 1992 р. Едісоновська компанія в Південній Каліфорнії, заснувала консорціум з енергетичних і промислових компаній, які разом з Міністерством енергетики США фінансували проект по створенню баштової СЕС Solar Two шляхом реконструкції Solar One, залишаючи ту ж саму потужність 10 Мвт. Основна ідея реконструкції полягала в тому, щоб замінити існуючий ресивер із прямим одержанням водяної пари на ресивер з проміжним теплоносієм (нітратні солі). У схему СЕС включений нітратний бак-акумулятор замість застосовуваного в Solar One гравійного акумулятора з високотемпературним маслом як теплоносієм. Розроблювачі розглядають її як прототип, що дозволить на наступному етапі створити СЕС потужністю 100 Мвт. Передбачається, що при такому масштабі СЕС цього типу виявиться конкурентноздатною з ТЕС на органічному паливі.

Починаючи із середини 80-х років, у Південній Каліфорнії компанією LUZ були створені й пущені в комерційну експлуатацію дев'ять СЕС із параболоциліндричними концентраторами (ПЦК) з одиничними потужностями, які нарощувались від першої СЕС до наступних від 13,8 до 80 МВт. Сумарна потужність цих СЕС досягла 350 МВт. У цих СЕС використані ПЦК із апертурою, що збільшувалася при переході від першої СЕС до наступних. Стежачи за сонцем на єдиній осі, концентратори фокусують сонячну радіацію на трубчастих приймачах, укладених у вакуумованих трубках. У середині приймача протікає високотемпературний рідкий теплоносій, що нагрівається до 380°C і потім віддає тепло водяної пари в парогенератор. У схемі цих СЕС передбачене також спалювання в парогенераторі деякої кількості природного газу для виробництва додаткової пікової електроенергії, а також для компенсації зменшеної інсоляції.

Зазначені СЕС були створені й експлуатувалися в той час, коли в США існували закони, які дозволяли СЕС беззбитково функціонувати. Закінчення терміну дії цих законів наприкінці 80-х років привело до того, що компанія LUZ збанкрутувала, а будівництво нових СЕС цього типу було припинено.

Компанія KJC (Kramer Junction Company), що експлуатувала п'ять із дев'яти побудованих СЕС (з 3 по 7), поставила перед собою завдання підвищити ефективність цих СЕС, скоротити витрати на їхню експлуатацію й зробити їх економічно привабливими в нових умовах. Тепер ця програма успішно реалізується.

Інший проект вежевої сонячної електростанції PNOEBUS реалізується німецьким консорціумом. Він передбачає спорудження сонячно-паливної електростанції потужністю 30 МВт з об'ємним ресивером для нагрівання атмосферного повітря, за допомогою якого виробляється водяна пара в паровому котлі. На шляху підігрітого повітря від ресивера до котла передбачається горілка для спалювання природного газу, кількість якого регулюється таким чином, щоб протягом доби підтримувати потрібну

потужність. Розрахунки показують, що, наприклад, для річного надходження сонячного випромінювання  $6,5 \text{ ГДж/м}^2$  (що характерно для півдня України) ця станція з сумарною поверхнею геліостатів 160 тис.  $\text{м}^2$  буде отримувати 290,2 ГВт·год/рік сонячної енергії, а кількість внесеної паливом енергії буде становити 176,0 ГВт·год/рік. При таких показниках електростанція виробить за рік 87,9 ГВт·год електроенергії із середньорічним ККД 18,8 %. При таких показниках вартість електроенергії буде на рівні теплових електростанцій на органічному паливі.

### 1.7 Сонячна фотоенергетика

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

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

Вперше явище фотоефекту дослідив французький фізик Беккерель 1839 року, отримавши потік електронів при освітленні сонячним світлом пластини оксиду міді. Винахід був широко впроваджений у життя після відкриття напівпровідників. Як світлочутлива зона фотоелементів використовуються селен (Se), кристалічний кремній (Si), аморфний кремній (SiGe) тощо. Фотоефект утворюється, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент із двох матеріалів з різним типом електричної провідності (дірчастий або електронний). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його комірки, утворюючи вільний від'ємний заряд і "дірку". В результаті рівновага

так званого "р-п"-переходу порушується, і в колі виникає електричний струм. Будову кремнієвого фотоелемента показано на рис. 1.13. Найближчими "родичами" сонячних фотоелементів є транзистори, світлодіоди та інші електронні пристрої.

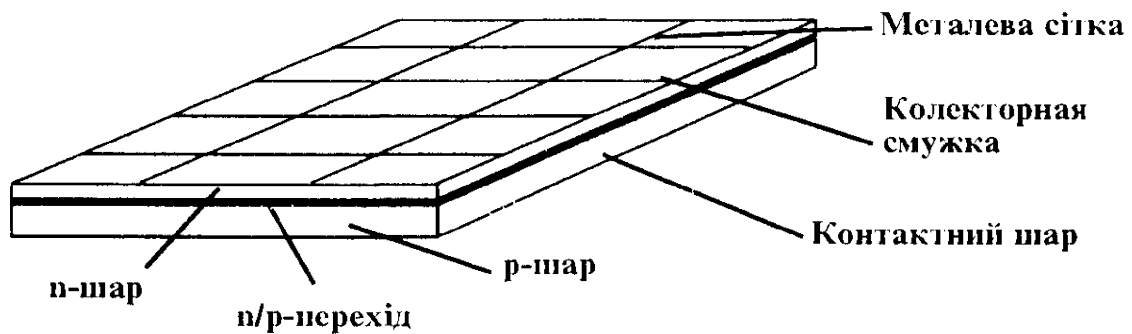


Рисунок 1.13 - Схема кремнієвого фотоелемента

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі падаючого світла та прозорості верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно 0,5 В і 25 мА на 1 см<sup>2</sup> або 12...13 мВт/см<sup>2</sup>. На даному етапі вдосконалення фотоелектричних перетворювачів найбільш перспективним напівпровідниковим матеріалом є кремній, який відрізняється високою технологічністю, великим строком служби, високою рухомістю носіїв заряду та поширеністю в природі.

Кремнієві фотоелементи бувають монокристалічні та полікристалічні. Різниця між цими матеріалами полягає в специфіці отримання початкових кремнієвих заготовок при їх вирощуванні з розплавів. Монокристалічна заготовка більш однорідна, але дорожча. Полікристалічна – менш однорідна, але має нижчу вартість, що може бути вирішальним фактором, коли йдеться про виготовлення фотоелементів. Теоретична ефективність кремнієвих елементів становить приблизно 28%, а практична – від 14 до 16 %.

Останнім часом зріс інтерес до сонячних елементів зі структурами метал–діелектрик–напівпровідник (МДН) і напівпровідник–діелектрик–напівпровідник (НДН). Створено сонячні МДН-елементи з ККД, який дорівнює 17,6 %, що є рекордним для кремнієвих елементів.

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

Найпростішим пристроєм, який збирає велику кількість сонячної енергії, є плоска батарея з багатьох сонячних елементів, з'єднаних у послідовні та паралельні групи для здобуття потрібної вихідної електричної потужності. Елементи батареї встановлюються нерухомо і можуть збирати енергію з усієї півсфери, що знаходиться перед нею. Можливий варіант конструкції її модулів складається з двох скляних листів, між якими розташовуються зкомутовані сонячні елементи, залиті оптично прозорим кремнійорганічним каучуком. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, становить 50-200 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для складання фотоелектричних генераторів. Сонячні фотоелектричні станції використовуються для живлення водопідйомних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, в домашніх господарствах тощо.

Фотоелектричні перетворювачі відрізняються спектральною селективністю, але в них не використовується більша частина інфрачервоного спектра, що призводить до нагрівання сонячних елементів і зниження ККД перетворення.

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

Основною перешкодою на шляху розвитку фотоенергетики є велика вартість встановленої потужності та, відповідно, генерованої електроенергії. За станом на 1997 р. середня вартість встановленої потужності сонячних батарей становила приблизно 8 грн./Вт, а вартість генерованої електроенергії 0,3...0,4 грн./кВт·год.

Вартість електроенергії, що виробляється фотоелектричними установками (ФЕУ), на сьогодні в декілька разів вища, ніж на електричних станціях з тепловим циклом. Незважаючи на це, ФЕУ активно впроваджуються як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються. При цьому можна дослідити дві протилежні тенденції.

У країнах, що розвиваються, застосовують порівняно дрібні установки для електропостачання індивідуальних будинків, у віддалених селах для - оснащення культурних центрів, де завдяки ФЕУ можна користуватися телевізорами й ін. При цьому на перший план виступає не вартість електроенергії, а соціальний ефект. Програми впровадження ФЕУ в цих країнах активно підтримуються міжнародними організаціями, у їхньому фінансуванні бере участь Світовий банк на основі висунутої їм "Сонячної Ініціативи". Так, наприклад, у Кенії за допомогою ФЕУ було електрифіковано 20 000 сільських будинків. Велика програма по впровадженню ФЕУ реалізується в Індії.

У промислово розвинених країнах активне впровадження ФЕУ пояснюється декількома факторами. По-перше, ФЕУ розглядаються як екологічно чисті джерела, здатні зменшити шкідливий вплив на навколишнє середовище. По-друге, застосування ФЕУ в приватних будинках підвищує енергетичну автономію й захищає власника при можливих перебоях у централізованому електропостачанні. В-третьє, вартість прокладання ліній



електроживлення у важкодоступній місцевості становить 5...15 тис. дол./км. В-четвертих, велике значення має динаміка зміни показників ФЕУ за останні два десятиліття, на основі якої на найближчий час прогнозується досягнення конкурентоспроможності ФЕУ для широкого використання.

У деяких країнах розробляються проекти великих пілотних ФЕУ, які дозволять набути необхідного досвіду, і водночас в результаті збільшення масштабу продукції знизиться ціна установок, а отже й вартість електроенергії.

У цьому контексті дуже цікавим є досвід Японії, де у префектурі Окінава будується ФЕУ потужністю 750 кВт. У США 90 енергетичних компаній утворили Фотоелектричну групу, яка впродовж 5 років планує ввести в експлуатацію ФЕУ загальною потужністю 47 МВт, з яких 17 МВт припадає на малі автономні установки і 30 МВт – на великі (від 100 кВт до 1 МВт).

На сьогодні понад 30 країн світу використовують процес прямого перетворення сонячної енергії на електричну. Сумарна потужність вироблених за рік фотоелектричних перетворювачів становить близько 65 МВт, з них по 1/3 у США та Японії, 20 % – в Європі.

У 1997 р. з'явилася така цифра 400 млн. уже встановлених фотоелектричних систем у світі. Щорічно кількість сонячних систем зростає на 80 тисяч.

Для розрахунку сьогоднішніх фінансових показників ФЕУ можна навести такий приклад. У 2003 р. відбулось офіційне відкриття системи площею 1870 м<sup>2</sup>, інтегрованої у дах реконструйованого вокзалу у місті Берлін (Німеччина). 780 модулів різної форми по 100 елементів кожний встановлені під кутом нахилу 7...9°. Розмір монокристалічних елементів - 125 × 125 мм, активна поверхня елементів 1146 м<sup>2</sup>. Електроенергія, що виробляється надходить у загальну енергомережу. Очікується, що щорічно від системи в неї постачатиметься 160000 кВт·год. Потужність цієї системи 189 кВт, вартість – 3,7 млн євро. За умови фіксованого тарифу 4,9 євроценти за 1 кВт·год неважко

підрахувати річну економію від впровадження цієї системи, яка складе лише 7840 євро.

Незважаючи на це у Програмі державної підтримки розвитку нетрадиційної енергетики передбачено досягнення виробництва сонячних батарей 2010 р. до 96,5 МВт.

## **2 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВІТРУ**

**Сила вітру** – це одне з найстародавніших використовуваних людством джерел енергії, яке, безперечно, є одним з найбільш економічних. Прості вітряки були широко поширені в Китаї 2200 років тому. На Середньому Сході, в Персії, близько 200 року до н.е. почали використовуватися вітряки з вертикальною віссю для перемелювання зерна. В XI столітті в Європі почали поширюватися вітряки, що завозилися мандрівними купцями та лицарями з хрестових походів. Ці перші млини постійно вдосконалювалися, спочатку голландцями, потім англійцями, і врешті набули конструкції з горизонтальною віссю. Жителі Голландії виявили, що вітром дуже зручно користуватися для відкачування води, щоб осушити землю, що для цієї країни, яка розташована в низинах і тому потерпає від повеней, є дуже актуальним. Найбільш активно в допромисловій Європі вітряки використовувались у XVIII столітті, коли лише в одній Голландії їх було понад сто тисяч. З їхньою допомогою мололи зерно, качали воду й пиляли дрова. Згодом більшість вітряків, нездатних конкурувати з дешевим і надійним викопним паливом, було замінено паровими двигунами.

У старих вітряків лопаті були дерев'яними і могли використовувати близько 7 % енергії вітру. Завдяки новаторській праці Томаса Перрі, який

наприкінці XIX століття провів близько 5000 експериментів з різними видами "колеса" (тобто ротора), дерев'яні лопаті поступилися місцем лопатям з вигнутого металу, що збільшило ефективність установок вдвічі — до 15 %.

Використовували енергію вітру з давніх часів і в Україні. 1917 р. тут було близько 30 тисяч вітряків, потужність яких становила близько 200 тис. кВт. З початком колективізації кількість вітряків значно зменшилася, а прагнення до гігантизму в радянські часи практично витіснило їх із використання. Лише починаючи з 90-х років ситуація з вітроенергетикою в Україні змінилася на користь її розвитку.

Енергія вітру постійно поновлювана й невичерпна, поки гріє Сонце. Вітер утворюється на землі в результаті нерівномірного нагрівання її поверхні Сонцем.

Повітря над водною поверхнею впродовж світлої частини доби залишається порівняно холодним, оскільки енергія сонячного випромінювання витрачається на випаровування води та поглинається нею. Над сушею повітря нагрівається завдяки тому, що вона поглинає сонячну енергію менше, ніж поверхня води. Нагріте повітря розширюється і піднімається вгору, а його заміняє холодне повітря від поверхні води. Вночі суша охолоджується швидше, ніж вода, і температура над водою буде вище, ніж над сушею. Тому вітри міняють свій напрямок, і холодне повітря суші витісняє нагріте повітря водної поверхні.

Аналогічно відбуваються зміни напрямку вітрів у гірській місцевості, де протягом дня тепле повітря піднімається вздовж схилів, а вночі холодне повітря спускається в долини.

Повітря циркулює й внаслідок обертання Землі: рух відбувається в напрямку, протилежному напрямку руху годинникової стрілки в північній півкулі, та за напрямком руху годинникової стрілки — в південній.

## 2.1 Потенціал вітрової енергії в Україні

Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт·год.

Приведені нижче дані отримані в результаті обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру. Наведено районування території України по швидкостях вітру і питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування.

В умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15...19 % річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800...1000 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік.

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат.

Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом для виконання механічної роботи (помолу зерна, підняття та перекачки води тощо) є ефективною практично на всій території України.

Вітроенергетика України має достатній досвід виробництва, проектування, будівництва, експлуатації та обслуговування як вітроенергетичних установок, так і вітроенергетичних станцій; в країні є достатньо високий науково-технічний потенціал і розвинена виробнича база. В останній час розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив по удосконаленню законодавства, структури керування, створенню вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

Реалізація державних національних програм в галузі вітроенергетики на 2010 рік передбачає загальне річне виробництво електроенергії на вітроелектростанціях та автономних вітроустановках близько 5,71 млн. МВт·год; що дозволить забезпечити біля 2,5 відсотків від загального річного електроспоживання в Україні. На рисунку 2.1 показано енергетичний потенціал вітру на території України. В таблиці 2.1 наведено питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні.

Таблиця 2.1 - Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

<b>№ району</b>	<b>Середньорічна швидкість вітру, <math>V_{cp}</math>, м/с</b>	<b>Висота, м</b>	<b>Природний потенціал енергії вітру, кВт·год/м<sup>2</sup> рік</b>	<b>Технічно-досяжний потенціал енергії вітру, кВт·год/м<sup>2</sup> рік</b>
1	< 4,25	15	1120	200
		30	1510	280
		60	2030	375
		100	2530	460
2	4,5	15	2010	390
		30	2710	520
		60	3640	700
		100	4540	850
3	5,0	15	2810	520
		30	3790	690
		60	5100	860
		100	6350	975
4	5,5	15	3200	620
		30	4320	830
		60	5810	1020
		100	7230	1150

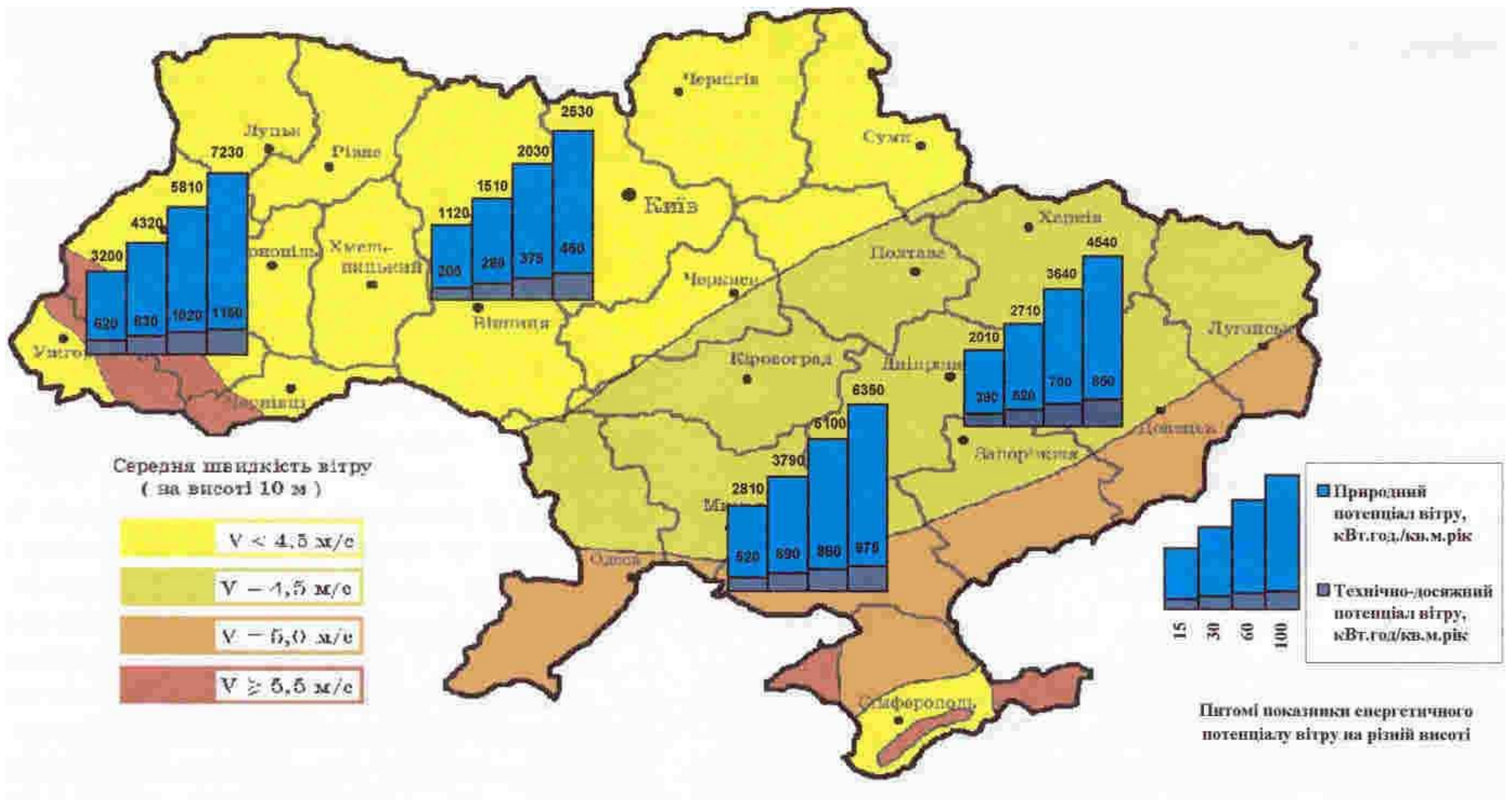


Рисунок 2.1 – Енергетичний потенціал вітру на території України

## 2.2 Вітроенергетичні установки та їх елементи

Два проценти усієї сонячної енергії, яка досягає зовнішніх шарів земної атмосфери, перетворюється на кінетичну енергію частинок повітря, які рухаються, тобто вітру. Кінетична енергія вітрового потоку дорівнює

$$A = \frac{m \cdot v^2}{2}, \quad (2.1)$$

де  $m$  - маса повітря, що рухається, кг;

$v$  - швидкість вітру, м/с.

Енергія вітру має ряд специфічних особливостей: малу концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку; випадковий характер зміни швидкості.

Потужність вітрового потоку визначається як

$$P = \frac{A}{\tau} = \rho \frac{F \cdot v^3}{2}, \quad (2.2)$$

де  $\rho$  — густина повітря, кг/м<sup>3</sup>;

$F$  — площа, яку перетинає вітровий потік, м<sup>2</sup>;

$v$  — швидкість вітру, м/с.

Вітрове колесо, розміщене в потоці повітря, може у кращому випадку теоретично перетворювати на потужність на його валу  $16/27 = 0,59$  (критерій Бетца) потужності потоку повітря, що проходить через площу перерізу, охоплювану вітровим колесом. Цей коефіцієнт можна назвати теоретичним ККД ідеального вітрового колеса. Насправді ККД нижчий і досягає для найкращих вітряних колес приблизно 0,45. Це означає, наприклад, що вітрове

колесо з довжиною лопаті 10 м за швидкості вітру 10 м/с у найкращому випадку може мати потужність на валу 85 кВт.

Місцевості, придатні для розміщення вітроагрегатів, поділяються на декілька класів (згідно з типами нерівностей). Такий поділ (табл. 2.2) демонструє можливості забезпечення енергією вітроустановок в умовних одиницях (10 балів відповідає відсутності нерівностей, тобто 0-й клас поверхні), згідно з методикою європейської практики будівництва вітростанцій.

Таблиця 2.2 - Класифікація вітрового потенціалу місцевостей за характером нерівностей

<b>Клас нерівності</b>	<b>Топографія місцевості</b>	<b>Енерго-потенціал</b>
0	Відкрите море	10
1	Відкрита місцевість без високої рослинності та	6,8
2	Окремі будинки з відстанню 1000 м між ними	4,6
3	Забудований район, ліси, пересічена місцевість	2,4

Оцінка енергозабезпеченості за балами залежно від характеру місцевості не завжди однозначна. Відомо, що після забудови місцевості або після насадження дерев її аеродинаміка може різко змінитися, може збільшитися кількість вітрового часу й зрости сила вітру. Те саме стосується й гірської місцевості. Незважаючи на значні захаращення в окремих місцях, пересіченість місцевості може утворювати щось подібне до каналів, в яких швидкість вітру набагато вища, ніж на відкритій місцевості.



Для кожної місцевості зміна швидкості вітру за висотою (епюра швидкостей вітру) має характерний вигляд, наведений на рис. 2.2. На рисунку видно, що крім середньорічної швидкості для кожної місцевості є свій профіль швидкостей, який, впливає на величину швидкісного напору. Ось чому для ефективного уловлювання вітру є своя оптимальна висота розташування вітроагрегату над рівнем землі.

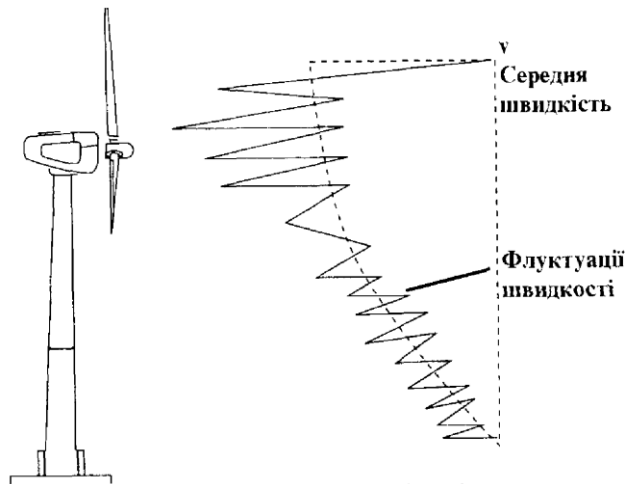


Рисунок 2.2 - Епюра швидкостей вітру над даною місцевістю

Так само, як і для середньорічної швидкості, попередньо робляться дослідження ефективної висоти розташування вітроагрегату при різних вітрових навантаженнях і потужностях самого вітроагрегату.

Більш поширені вітроустановки з горизонтальною віссю (рис. 2.3). Основними елементами вітроенергетичних установок є вітроприймальний пристрій (лопати), редуктор передачі крутільного моменту до електрогенератора, електрогенератор і башта. Вітроприймальний пристрій разом з редуктором передачі крутільного моменту утворює вітродвигун.

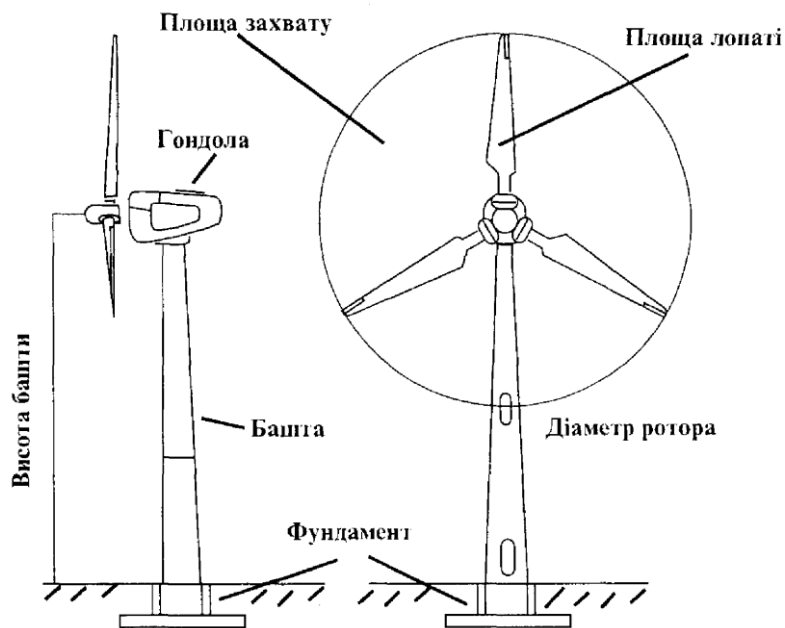


Рисунок. 2.3 - Принципова схема вітроустановки

Завдяки спеціальній конфігурації вітроприймального пристрою в повітряному потоці виникають несиметричні сили, що створюють крутильний момент. Залежно від потужності генератора вітроустановки поділяються на класи, їхні параметри та призначення наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Класифікація вітроустановок

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр колеса, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	15...50	3...10	3...2	Зарядження акумуляторів, насоси, побутові потреби
Середньої потужності	100...600	25...44	3...2	Енергетика
Великої потужності	1000...4000	> 45	2	Енергетика

Є дві принципово різні конструкції вітроустановок: з горизонтальною і вертикальною віссю обертання.

Оскільки вітер може змінювати свою силу та напрямок, вітрові установки обладнуються спеціальними пристроями контролю та безпеки. Ці пристрої складаються з механізмів розвертання вісі обертання за вітром, нахилу лопатей відносно землі за критичної швидкості вітру, системи автоматичного контролю потужності й аварійного відключення для установок великої потужності.

Вітроенергетичні установки з вертикальною віссю обертання мають перевагу перед установками з горизонтальною віссю, яка полягає насамперед в тому, що зникає необхідність у пристроях для орієнтації на вітер, спрощується конструкція та знижуються навантаження, які зумовлюють додаткову напругу в лопатях, системі передач та інших елементах установки.

Різновидом вітроустановок з вертикальною віссю є так звана вітрова гребля, де сконцентрований повітряний потік спрямовується на установку за допомогою напрямлювачів у вигляді лісосмуг, штучних перегородок у вигляді панелей, надувних конструкцій, солом'яних блоків тощо. Схему вітрової греблі наведено на рис. 2.4.

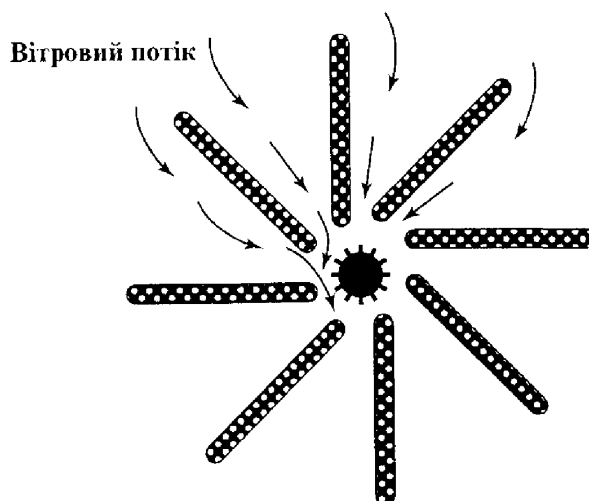


Рисунок. 2.4 - Вітрова гребля

Вітроустановки виробляють електроенергію практично без забруднення довкілля, але вплив на нього мають: відведення під будівництво значних територій та зміни ландшафту, шумові ефекти, радіоперешкоди.

Проблема зменшення шумів розв'язується шляхом розташування вітроустановок на значних відстанях (допустимих за рівнем шуму - 40-50 децибелів) від житла. Отже, відстань від вітроагрегату до житла має становити 150 м, вітростанції — 250 м.

### **3 ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА**

Вираз «геотермальна енергія» буквально означає, що це енергія тепла землі. Основним джерелом цієї енергії є постійний потік тепла з розжарених надр, направлений до поверхні землі. Цього тепла достатньо, щоб розплавляти гірські породи під земною корою, перетворюючи їх на магму. Велика частина магми залишається під землею і, подібно до печі, нагріває породу навколо. Коли підземні води стикаються із цим теплом, вони теж нагріваються - іноді до температури 370 °С. У деяких місцях, особливо по краях тектонічних плит материків, а також у так званих «гарячих точках» теплота підходить так близько до поверхні, що її можливо добувати за допомогою геотермальних свердловин.

Електричну енергію з використанням геотермального резервуару сухої пари вперше було отримано 1904 року італійцем П. Джиноні Конті. Перший резервуар гарячої води, використаний для виробництва електричної енергії, був створений у Новій Зеландії в 50-ті роки. Перша комерційна геотермальна електростанція в США почала виробляти енергію 1960 року, сьогодні це друге щодо важливості та обсягу використання поновлюване джерело енергії. 1995

року потужність усіх геотермальних електростанцій світу становила 6000 МВт і 11 300 МВт - теплових станцій для прямого використання теплоти (1МВт достатньо для забезпечення побутових потреб 1000 жителів).

Поверхня Землі складається із 12 окремих тектонічних плит, величезних платформ земної кори, які постійно дуже повільно рухаються.

Геотермальний резервуар є насправді масою породи, що розтріскалася в земній корі й насичена гарячою водою чи паром, при цьому перший тип є найбільш поширеним. Щоб добути воду чи пар на поверхню, в резервуарі бурять свердловини. Розміри резервуарів - від кількох тисяч кубічних метрів до кількох кубічних кілометрів. Якщо вода достатньо гаряча, вона підіймається на поверхню природним шляхом, при більш низькій температурі може знадобитись насос.

Розрізняють **чотири основні типи геотермальної енергії**:

- нормальне поверхове тепло землі, яке використовується геотермальними тепловими насосами;
- гідротермальні системи, тобто резервуари пари, гарячої чи теплої води біля самої поверхні землі (нині для вироблення електроенергії використовуються саме ці ресурси);
- глибока коркова теплота, яка утримується під поверхнею землі, але може не мати води;
- енергія магми, теплота, що накопичена під вулканами; іноді магма частково буває в розплавленому стані.

Якби можна було використати всього 1 % геотермальної енергії земної кори (глибина 10 км), ми мали б у своєму розпорядженні кількість енергії, яка в 500 разів перевищувала б усі світові запаси нафти та газу.

У геологічному розумінні геотермальна теплота - це теплота при температурах, вищих за температуру навколишнього середовища. Запаси цієї теплоти становлять приблизно  $8 \cdot 10^{30}$  Дж, ця кількість перевищує річне споживання енергії в усьому світі в 35 млрд. разів. Проте сьогодні дуже

незначна кількість цих запасів може бути використана. Обмеження зумовлені в основному економічними причинами. На глибині більш ніж 5 км від поверхні Землі зміна температурного градієнта становить 30...35 °С на кожний кілометр. Різні регіони земної кулі відрізняються один від одного широким спектром зміни зазначеного градієнта. У деяких місцях Землі температурний градієнт перевищує згадане значення в 10 разів; при цьому зміна температури на глибині 5 км досягає 500 °С.

Теплові потоки в надрах Землі, які проходять крізь тверді породи, мають відносно незначні параметри (вони в декілька тисяч разів менші за сонячну радіацію). Отже, теплота земних надр у вигляді теплових потоків, які передаються шляхом теплопровідності, не має суттєвого практичного значення.

Геотермальна енергія сьогодні використовується для теплопостачання (виробничі технологічні процеси харчової та обробної промисловості, опалення тощо) та вироблення електроенергії.

Експлуатація геотермальних джерел базується на попередньому геологічному дослідженні, щоб уникнути значного фінансового ризику за умови подальших капітальних витрат.

Отже для того, щоб визначити, чи має певна місцевість потенціал постачання геотермальної теплоти для промислових та побутових потреб, потрібен попередній пошук, що є однією з головних відмінностей геотермальної енергії від інших поновлюваних джерел енергії.

*Підземні геотермальні резервуари* поділяються на:

- заповнені в основному парою (перегрітою чи насиченою);
- заповнені в основному гарячою водою (з невеликим вмістом насиченої пари).

### 3.1 Потенціал геотермальної енергії в Україні

Україна має значні ресурси геотермальної енергії, загальний потенціал (табл. 3.1) яких в програмі державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- та теплоенергетики оцінюється величиною еквівалентною запасам палива в обсязі  $50 \times 10^6$  т у.п.

Геотермальні ресурси України представляють собою перш за все термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід. Крім цього, до перспективних для використання в промислових масштабах можна віднести ресурси нагрітих підземних вод, які виводяться з нафтою та газом діючими свердловинами нафто-газових родовищ.

Досить перспективним напрямком енергозберігаючої технологічної політики, що дозволяє забезпечити значну економію традиційного палива, є використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання і кондиціонування повітря в житлових та громадських будинках і спорудах в містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепла Землі в різних галузях промисловості і сільського господарства.

Найбільш поширеним і придатним в даний час до технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні є геотермальні води.

Подальша стратегія розвитку геотермальної енергетики в Україні полягає в першочерговому розвитку найбільш підготовлених до практичної реалізації технологій геотермального теплопостачання населених пунктів і сільськогосподарських об'єктів та в частковому переорієнтуванні науково-технічної бази існуючих геологорозвідувальних та нафтодобувних організацій, завантаження яких знижено внаслідок виснаження в Україні запасів нафти та газу.

Таблиця 3.1 - Потенціал геотермальної енергії в Україні

<b>№ п/п</b>	<b>Області</b>	<b>Кількість теплоносія, що видобувається при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис. м<sup>3</sup>/добу</b>	<b>Тепловий потенціал термальних вод, МВт</b>	<b>Річна економія, тис. т у.п.</b>
1	Вінницька	0	0	0
2	Волинська	0	0	0
3	Дніпропетровська	0	0	0
4	Донецька	0	0	0
5	Житомирська	0	0	0
6	Закарпатська	239,4	490	510
7	Запорізька	0	0	0
8	Івано-Франківська	0	0	0
9	Київська	0	0	0
10	Кіровоградська	0	0	0
11	Луганська	0	0	0
12	Львівська	0	0	0
13	Миколаївська	1620	2820	1900
14	Одеська	1350	2350	1600
15	Полтавська	5,9	9,2	9,9
16	Рівненська	0	0	0
17	Сумська	4,2	15,8	17
18	Тернопільська	0	0	0
19	Харківська	0,4	1,3	1,4
20	Херсонська	2430	4230	2900
21	Хмельницька	0	0	0
22	Черкаська	0	0	0
23	Чернівецька	0	0	0
24	Чернігівська	37,2	58,3	62,7
25	АР Крим	21600	37600	25600
<b>ВСЬОГО</b>		<b>585,4</b>	<b>47574,6</b>	<b>32601</b>



Одним із перспективних напрямів розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, що містяться в геотермальних теплоносіях.

З точки зору екології негативний вплив на оточуюче середовище при експлуатації геотермальних родовищ значно менший, ніж при застосуванні традиційних енергосистем. Новітні технології дозволяють звести негативний вплив, що виникає при експлуатації геотермальних джерел енергії, до мінімуму. Оцінки, зроблені рядом організацій, показали, що розвиток систем геотермального теплопостачання дозволить не тільки економити органічне паливо, але й спрощувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умов життя і праці населення.

Найбільш перспективний для розвитку геотермальної енергетики регіон – це Закарпаття, де за геологічними даними на глибинах до 6 км температури гірських порід досягають 230...275 °С. Значні ресурси геотермальної енергії має Крим, для якого найбільш перспективними є Тарханкутський і Керченський півострови. Окремі родовища є в Херсонській, Харківській та Полтавській областях (рис. 3.1).

### **3.2 Геотермальні електростанції**

Принципову схему геотермальної електростанції з паровою турбіною наведено на рис. 3.2, при цьому використовується резервуар сухої пари, яка зі свердловин подається в турбіну для вироблення електроенергії.

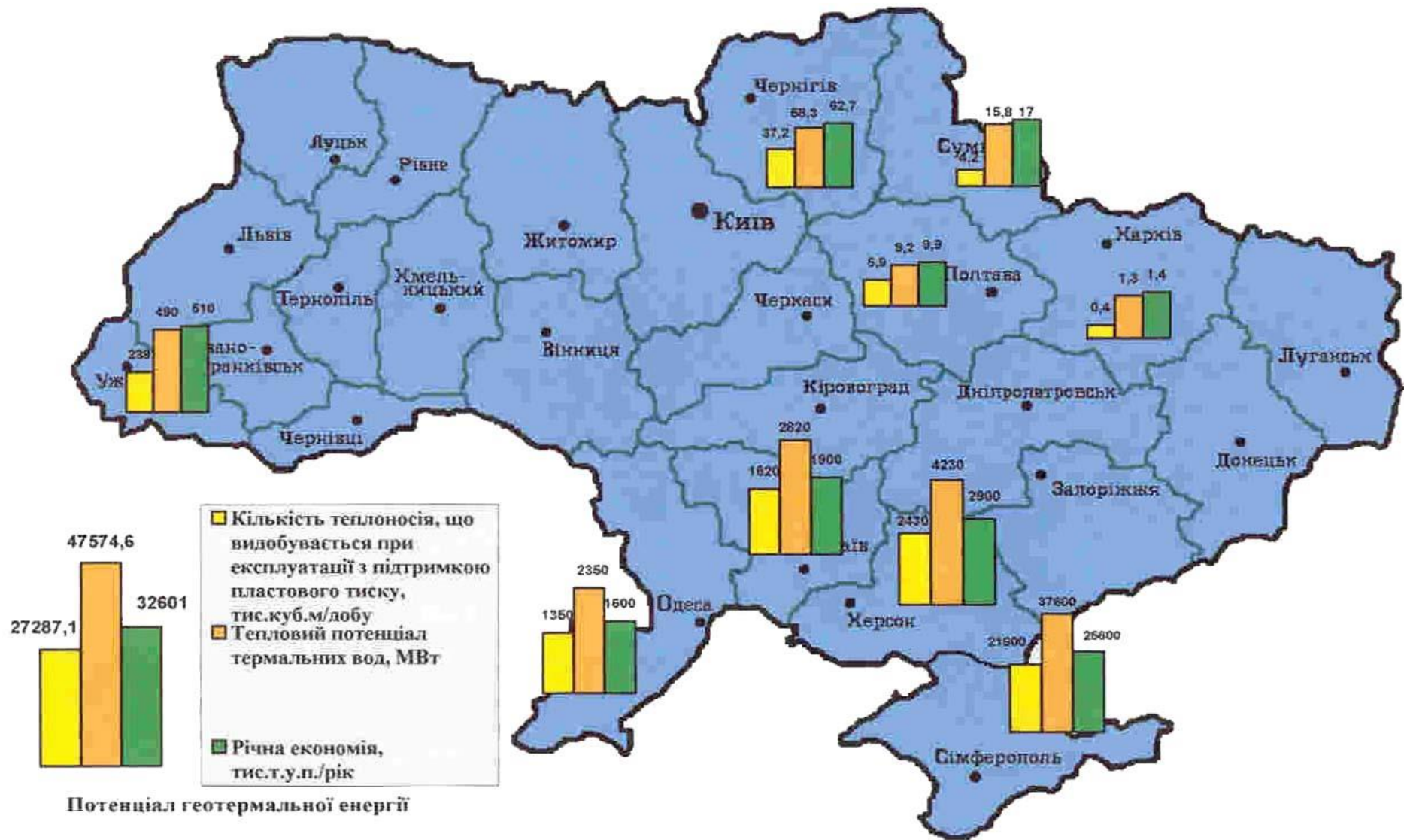


Рисунок 3.1 – Потенціал геотермальної енергії України

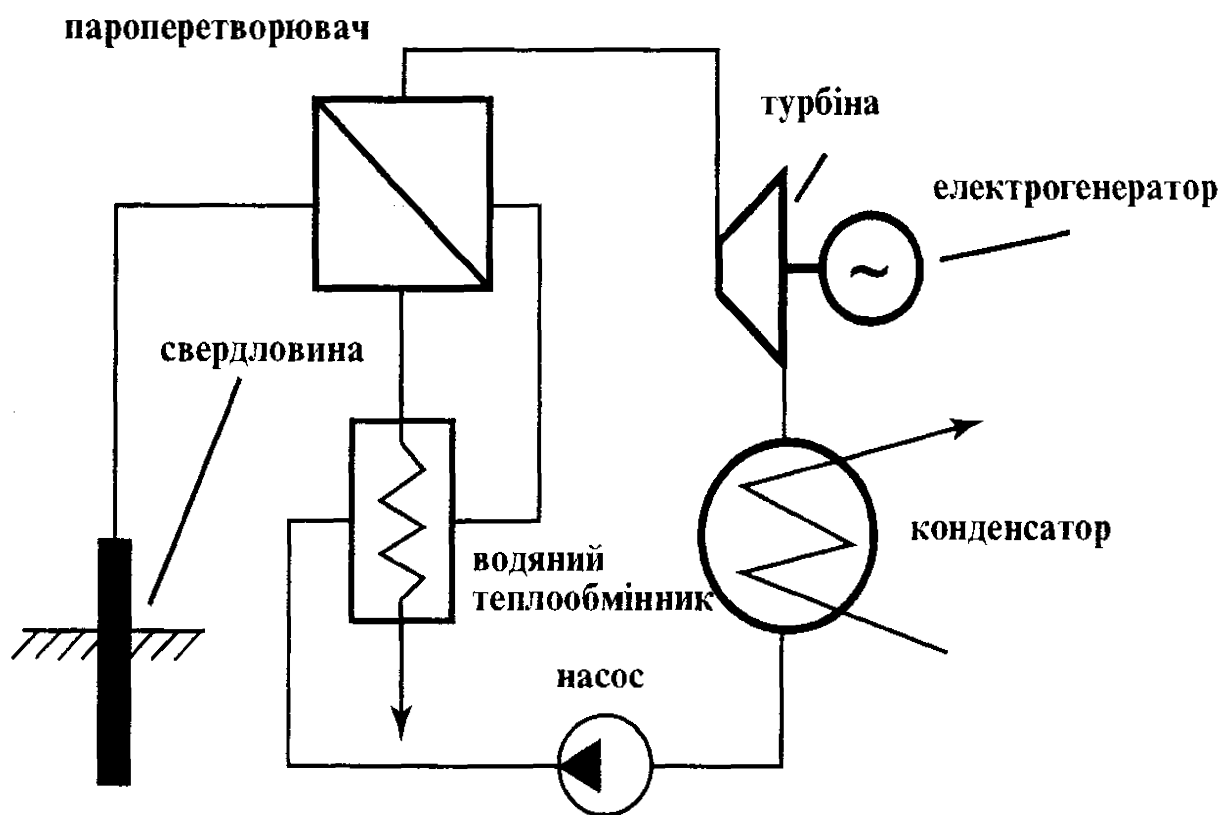


Рисунок. 3.2 - Принципова схема геотермальної електростанції

На станціях іншого типу використовується геотермальні води з температурою, вищою за 190 °С. Вода, яка природним чином підіймається вгору по свердловині, подається в сепаратор, де частина її кипить та перетворюється на пару. Пара використовується для одержання електроенергії.

Електростанція з бінарним циклом ґрунтується на двох замкнених циклах – один для геотермальної води, другий – для робочої рідини чи газу з низькою температурою кипіння (наприклад, ізобутан). Робоча рідина, нагріта геотермальною водою, перетворюється на пару, яка надходить у теплообмінник та

використовується для обертання турбіни. Оскільки обидва контури замкнені, немає практично ніяких викидів, що робить систему екологічно чистою.

Робоча рідина випаровується при більш низькій температурі, ніж вода, тому бінарні станції працюють при значно нижчих температурах, ніж інші типи геотермальних станцій (100...190 °C). А оскільки джерела геотермальної води з температурою нижчою за 190 °C найбільш поширені, то в майбутньому цей тип станцій матиме перевагу.

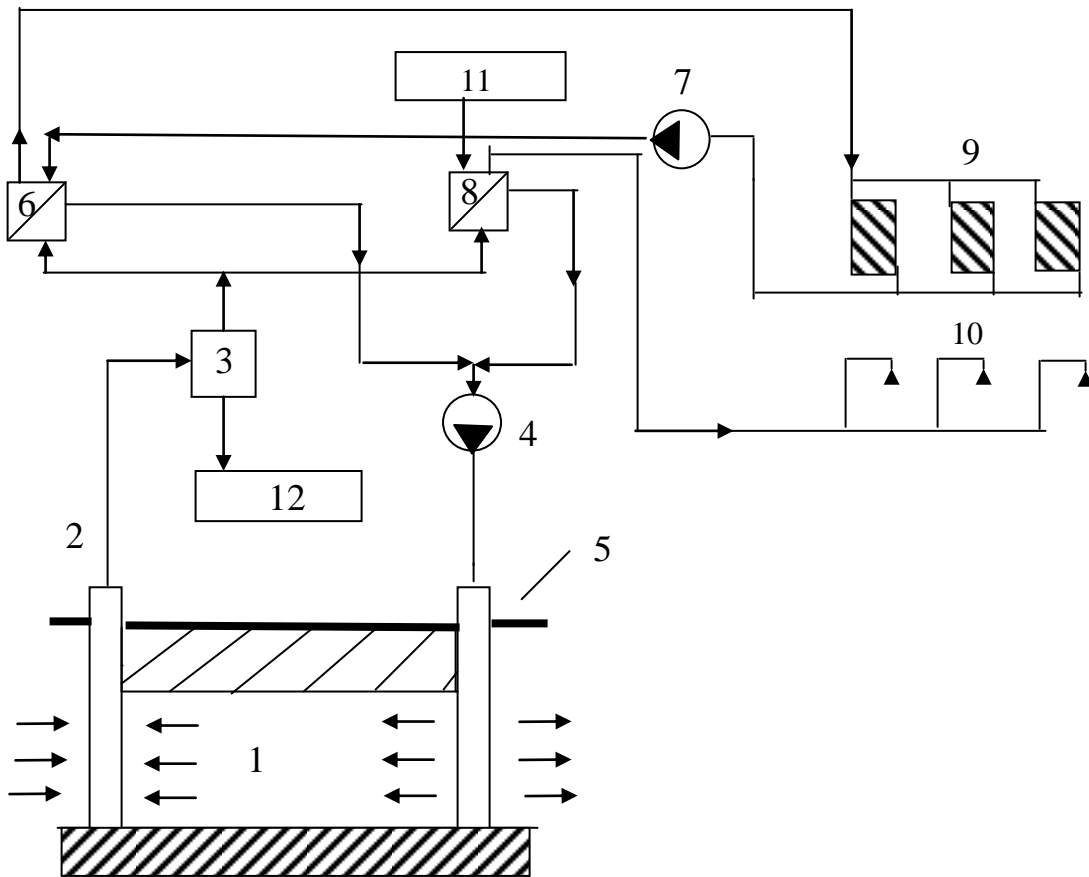
Геотермальні води, які використовуються для теплопостачання, тожна умовно поділити на 3 групи:

1. води, які можуть безпосередньо використовуватися споживачам і підігріватися без будь-яких негативних наслідків, тобто води найбільш вигідної якості;

2. води, які можуть безпосередньо використовуватися споживачам для опалення, але не можуть підлягати підігріву через їхні агресивні властивості;

3. води підвищеної мінералізації та агресивності, які неможливо використовувати безпосередньо.

На рис. 3.3 подана схема системи геотермального теплопостачання, розроблена Інститутом механічної теплофізики НАН України, тепловою потужністю модуля 5 МВт (3 МВт – теплопостачання, 2 МВт – гаряче водопостачання) з температурою на виході з свердловини – 60...80 °C.



1 - підземний колектор; 2 – свердловина; 3 – газошламовідокремлювач;  
 4 - нагнітальний насос; 5 - нагнітальна свердловина; 6 - теплообмінник  
 опалювальної системи; 7 - насос опалювальної системи; 8 - теплообмінник  
 системи гарячого водопостачання; 9 - опалювальна система; 10 - система гарячого  
 водопостачання; 11 - джерело води для гарячого водопостачання;  
 12 - система утилізації газів і шламів

Рисунок 3.3 - Схема системи геотермального теплопостачання

## 4 ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ВОДИ

### 4.1 Мала гідроенергетика

Історія водяного колеса, яке застосовувалося для обертання млинових жорен, а також для підйому та подачі води в напірні системи зрошення і водопостачання, почалася за багато століть до нашої ери. У 200 р. н. е. Римляни спорудили вже цілий мукомельний комплекс, який складається з 16 млинів які приводяться в рух вертикальними черпаковими колесами. У XIX ст. гідравлічна енергія постійно використовується для виробництва не тільки механічною, але і електричної енергії. Початок цьому поклав винахід турбіни французьким інженером Б. Фурнероном в 1820 р. Пізніше, в 1847 р., Дж. Френсіс винайшов реактивну турбіну, а в 1880 р. була сконструйована ковшова гідротурбіна (турбіна Пелтона). У 1882 р. ця турбіна була з'єднана з генератором, що дозволило використати гідравлічну енергію для виробництва електрики. І, зрештою, найважливішою подією було отримання змінного струму Дж. Вестингаузом на Ніагарському водоспаді в 1901 р. Все це створило основу для подальшого розвитку гідроенергетики.

*Гідроенергія*, під якою звичайно розуміється енергія вод, є відновлюваною і зобов'язана своїм походженням сонячній енергії. Сонце випаровує воду морів та океанів, яка потім проливається дощами над усією територією земної кулі.

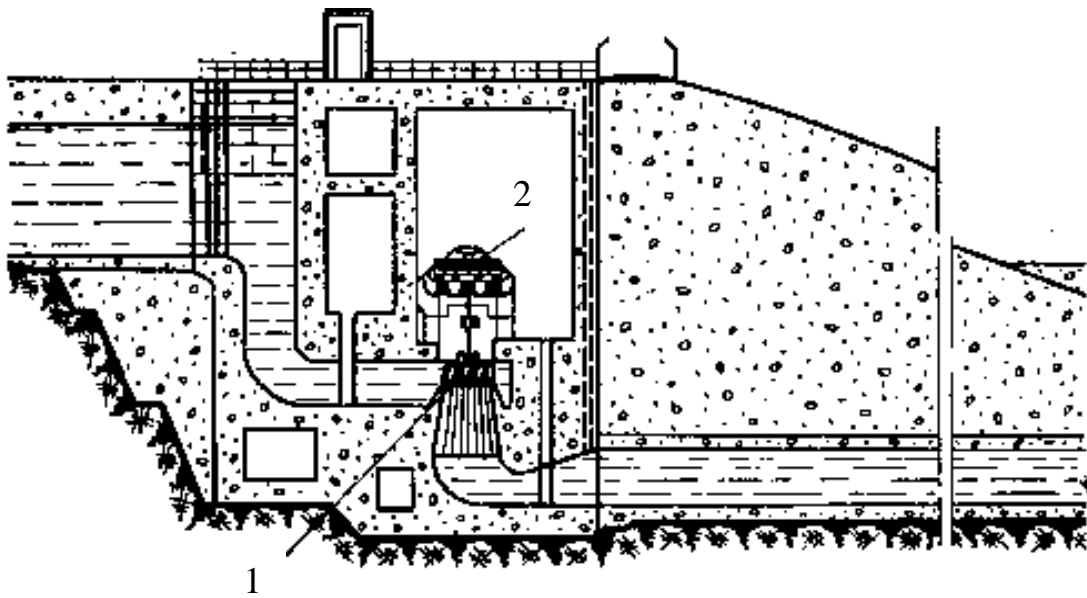
На Землі 1018 т води, тим не менш, лише 1/2000 частина її щорічно залучається до кругообігу, випаровуючись і знову випадаючи на поверхню у вигляді дощу або снігу. Щорічно з океанів випаровується 430 тис. км<sup>3</sup> води, з суші – 70 тис. км<sup>3</sup>, 390 тис. км<sup>3</sup> з них випадає у вигляді опадів назад в океани і 110 тис. км<sup>3</sup> на сушу. Таким чином, щорічно приблизно 40 тис. км<sup>3</sup> води стікає з

континентів в океани. Якщо середня висота континентів 800 м, то легко підрахувати, що потенційна потужність гідроенергетичних ресурсів на земній кулі складає 10 ТВт. Тим не менш всього близько 15% може бути рентабельно використано.

Ще півстоліття тому близько 40% електроенергії в світі виробляли гідроелектростанції, сьогодні їх доля лише 23%. У світі діють більше 70 гідроелектростанцій, кожна потужністю вище 1000 МВт (деякі до 10 тис. МВт), і мільйони установок потужністю кілька кіловат. Позитивними сторонами гідроенергетики є те, що вона використовує поновлюване джерело і має високий ККД, оскільки електрична енергія виробляється безпосередньо із механічної енергії, а не з теплової і дає можливість застосовувати установки практично будь-якого розміру.

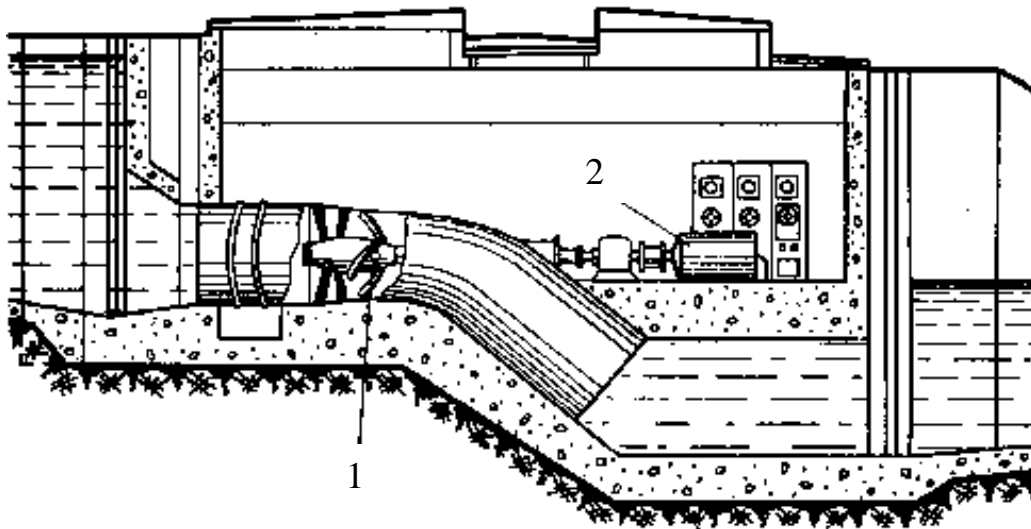
Типова схема гідроелектростанції показана на рис. 4.1. Електрична енергія виробляється генератором, який приводиться у обертання гідравлічною турбіною. Вода подається в турбіну по напірному трубопроводу, прокладеному через. Вона затримує водний потік, щоб регулювати напір і накопичувати воду для подальшого використання. Напір на турбіні дорівнює різниці рівнів між верхнім і нижнім б'єфами.

Простим типом гідроенергетичних систем є дериваційна ГЕС, що не має дамби та водосховища. Вода відводиться і русла річки по відкритому каналу або трубопроводу, які подають її на деяку відстань вниз, ніж протягом, але з меншим нахилом рівня, ніж в самій річці. Самим досягається відносне перевищення, після чого вода скидається з напірного трубопроводу на турбіну, розташовану на рівні річки нижче, ніж течія (рис. 4.2).



1— турбина; 2— генератор

Рисунок 4.1 - Схема гідроелектростанції



1 – турбина; 2 – генератор

Рисунок 4.2 - Схема дериваційної ГЕС



Такий тип ГЕС не вимагає створення дорогих і акумулятивних водосховищ, необхідна тільки дериваційних гребля для стабілізації та регулювання підведення води.

Головною перевагою маленької гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях; відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект. Ще один важливий аргумент на користь МГЕС. На відміну від великих гідровузлів вони практично не змінюють природних умов: не затоплюють великих земельних ділянок і навіть знижують піки повені. Крім того, вони покращують водообмін і аерацію.

Первинним джерелом енергії для малої гідроенергетики є гідропотенціал малих річок; верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 Мвт. Згідно міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до мінігес – від 100 до 1000 квт, до мікрогес – не більше 100 квт.

Водяні турбіни маленької і середньої потужності, які використовуються в малій енергетиці так само, як і у "великій", поділяються на турбіни з віссю, розташованою вздовж потоку, та з віссю, розташованою перпендикулярно до потоку.

Для малої гідроенергетики найбільш складним технічним питанням є проектування турбоагрегатів для заданого потоку води чи протилежне завдання: створення заданої витрати й швидкості води для даної турбіни.

Проектування та установка гідротурбін мають свої особливості, які відрізняють їх від парових і газових турбін; парові та газові турбіни працюють у комплекті з відповідним чином спроектованими і підібраними джерелами енергії, які однозначно відповідають номінальній потужності агрегатів. При проектуванні

гідроагрегатів завжди існує діапазон оцінки потужності потоку робочого тіла, що створює проблеми для проектування та будівництва.

Найбільш трудомістким та складним процесом для гідроелектричних станцій є спорудження захисних і напірних дамб, а також водоспадних каналів. Зведення цих споруд останніми роками набагато спростилося завдяки використанню нових матеріалів і готових виробів.

Незаперечним перевагою гідроелектричних станцій є їхня стійка, стабільна робота в мережі, на яку не впливають час доби і сезонні зміни. Слід зазначити, що малу залежність від сезонних змін вдається забезпечити не для всіх гідроелектричних станцій. Найбільше піддаються впливу сезонних змін міні-гес крайнього півдня та північних регіонів. Тому місце будівництва старанно вибирається.

Досвід деяких держав свідчить, що освоєння потенціалу малих річок з використанням малих ГЕС і міні-гес допомагає вирішити проблему поліпшення енергопостачання. Найбільш ефективними є малі ГЕС, які будуються на наявних гідротехнічних спорудах. Питомі капіталовкладення для ново споруджених ГЕС (США) потужністю 10 МВт становлять 1100-1400 дол./кВт, потужністю до 1 МВт — 6800-8700 дол./кВт. Будівництво маленької ГЕС потужністю 1 МВт коштує від 0,5 до 2 млн. доларів. Прибуток від неї становить 300 тис. доларів на рік, а термін окупності капітальних вкладень — 2-6 років.

Устаткування для малих ГЕС до сьогодні виробляють численні фірми США, Японії, Швеції, Швейцарії, Франції, Австрії, Великої Британії. Виробництво такого устаткування розпочато і в державах Східної Європи. Стандартизоване устаткування для малих ГЕС виробляється в широкому діапазоні параметрів: потужність — від 2 до 15000 кВт; діаметр робочого колеса турбіни — від 190 до 3000 мм; частота обертання — від 50 до 2000 об./хв., напір — від 1 до 1000 м, витрати води — від 0,01 до 0,75 м<sup>3</sup>/с. Серйозну увагу приділяють підвищенню економічної ефективності малих ГЕС за рахунок спрощення їх проектування,

будівництва та експлуатації, типізації проектних рішень, стандартизації устаткування та повної автоматизації роботи ГЕС. Енергетичні установки використовують, як правило, потенційну або кінетичну енергію річок.

Діапазон потужностей діючих та тих авто, що проектувались міні-гес держав ЄС наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Діапазон потужностей міні-гес держав ЄС

Держава	Діапазон встановлених потужностей міні-ГЕС, МВт
Великобританія	0,076...4,5
Данія	0,1...1,1
Іспанія	1...150
Німеччина	0,5...40

Будівництво міні-ГЕС виявилось дуже дорогим порівняно з іншими видами гідроелектростанцій. Нижче наводяться деякі технічні та фінансово-економічні показники діючих міні-гес держав ЄС (табл. 4.2).

Зіставити вартості електроенергії міні-ГЕС дуже важко, оскільки вартість виробленої електроенергії залежить від таких факторів:

- місце будівництв і витрати на будівництво;
- багато функціональність інженерних споруд (дамба та інші гідротехнічні споруди можуть бути головними об'єктами для зрошування, водопостачання району і тільки в другу чергу для міні-гес);

Таблиця 4.2 - Техніко-економічні показники міні-ГЕС держав ЄС

Держава	Потужність, МВт	Перепад висоти, г	Витрати води, м <sup>3</sup> /с	Вартість проекту, дол. США	Період окупності, роки
Франція	0,2	58	0,4	50 тис.	10
Німеччина	3,1	2,6	140	16 млн.	10,4
Греція	3,75x3	15	80	41 млн.	9,5
Великобританія	0,6	102	50	100 тис.	10

- умови фінансування;
- вплив на довкілля та соціальні умови;
- потужність турбіни.

Через зазначені причини вартість електроенергії змінюється в кожній місцевості. Однак слід зазначити, що вартість електроенергії, виробленої на міні-ГЕС, майже в 10 разів вища, ніж вироблена на гідротурбинах великої потужності, і становить від 4,6 цента за 1 кВт-год і більше.

Чиста технологія виготовлення електроенергії є основою зниження викидів CO<sub>2</sub> та інших техногенних сполук.

Тут також доцільно згадати про *гідроакумуючі станції* (ГАЕС). Принцип дії їх нескладний. Трубопроводи з'єднують два величезних штучних озера, два басейна – верхній і нижній. По цих трубах вода двічі на день направляється з верхнього басейну в нижній приводячи в дію гідроагрегати. Всього півтори-дві

години обертаються турбіни, перш ніж повністю спустошиться верхній басейн. Але це будуть одні і ті ж ранкові та вечірні години «пік», коли кожна додаткова кіловат-година електроенергії в народному господарстві буквально на вагу золота. Отже, знизився рівень води у верхньому басейні і відповідно підвищився в нижньому. Через деякий час знову починає працювати машинний зал станції. Однак тепер на шини генераторів подається струм інших електростанцій (адже «пік» енергоспоживання вже минув), в результаті генератори обернулися в електродвигуни, а турбіни, обертаючись у зворотний бік, насоси. Знову по трубопроводах потекла вода, але тільки тепер від низу до верху, з нижнього басейну у верхній. Йде процес накопичення води у верхньому басейні. Витрати на це, звичайно, потрібні чималі. Але в даному випадку використовується енергія «не пікових» годин, які раніше взагалі не використовувалася. Через 5-6 год, коли верхній басейн знову заповниться і настануть години вечірнього «піку» енергоспоживання, станція знову перейде з режиму «насос» у режим «турбіна» і знову потече по посібникам додаткова енергія. І так весь час. Зазначимо, що майже всі гідроакумуючі станції виконують різні «підсобні функції». Та є серед них одна, особливо важлива.

Справа в тому, що раптове, непередбачене збільшення споживання енергії яким-небудь підприємством, аварійний вихід з ладу енергоблоку, обрив лінії електропередачі викличуть різкі коливання частоти в енергосистемах. Таке зниження якості електроенергії – явище небажане, навіть шкідливе для моторів, верстатів, ЕОМ, побутових приладів. Щоб цього не відбувалося, необхідно вводити резервні потужності не тільки в «пікові» години. У подібних ситуаціях швидко прийти на допомогу в енергосистемах можуть ГАЕС. Вони нерідко будуються спеціально на випадок яких-небудь «Енерго-ПП».

Україна має потужні *ресурси гідроенергії рік* – загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить біля 12,5 млрд. ч., що складає біля 28% загального гідропотенціала всіх рік України.

В Україні нараховується понад 63 тис. малих річок і водотоків загальною довжиною 135,8 тис. км, з них близько 60 тис. (95%) — дуже малі (довжина менше ніж 10 км), їхня сумарна довжина — 112 тис. км, тобто середня довжина такого водотоку — 1,9 км. Більшість малих річок довжиною менше ніж 10 км мають площу водозбору від 20,1 до 500 км<sup>2</sup> (87% всієї кількості і 72% всієї довжини малих річок України). Малих річок з площею водозбору від 50,1 до 100 км<sup>2</sup> нараховується 890 (28% всієї кількості), а 797 річок (25%) мають площу водозбору 20,1-50 км<sup>2</sup>.

*При використанні гідропотенціала малих річок України можна досягти значної економії паливно-енергетичних ресурсів*, причому розвиток маленької гідроенергетики сприятиме децентралізації загальної енергетичної системи, чим зніме ряд проблем як в енергопостачанні віддалених і важкодоступних районів сільської місцевості, так і в керуванні гігантськими енергетичними системами; при цьому вирішуватиметься цілий комплекс проблем в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів.

Малі ГЕС, міні - та микрогес можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів Закарпатської та Чернівецької областей - джерелом повного самозабезпечення.

Основною гідрологічною характеристикою є середній багаторічний стік, або норма річного стоку.

Найбільшою водоносністю відрізняються річки Карпат, стік яких значною мірою залежить від висоти басейнова.

При використанні енергетичних ресурсів малих річок велике значення має стан льодоставу на річках взимку. Це особливо важливо для мікро-гес, які використовують кінетичну енергію потоку річок.

З початку 20-х років в Україні нараховувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4000 квт, а наприкінці 1929 року-вже 150 станцій загальною потужністю 8400 квт, серед них Вознесенська (840 квт), Бузько (570 квт), Сутиська (1000 квт) та ін 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (2650 квт), яка за своїми технічними показниками була однією з найкращих станцій того часу.

У післявоєнний період електрифікація сільського господарства теж ґрунтувалася на збільшенні потужностей і поліпшенні техніко-економічних показників малих електростанцій.

На початку 50-х років кількість збудованих малих гідроелектростанцій в Україні становила 956 із загальною потужністю 30 тис. квт. Однак через розвиток централізованого електропостачання та стійку тенденцію до концентрації виробництва електроенергії на потужних тепло - та гідроелектростанціях будівництво малих ГЕС було зупинено. Почалася їхня консервація, демонтаж, сотні малих ГЕС було зруйновано. Сьогодні в Україні збереглося всього 48 малих гідроелектростанцій, більшість яких потребує реконструкції.

Напрямок розвитку малої гідроенергетики України:

- оновлення та реконструкцію наявних і діючих міні-гес;
- будівництво нових міні-гес в районах децентралізованого енергопостачання;
- будівництво міні-гес в регіонах централізованого енергопостачання на наявних перепадах водосховищ та водотоків;
- нове будівництво з концентрацією напору.

Мала енергетика України через її незначну питому вагу (0,2%) в загальному енергобалансі не може суттєво впливати на умови енергозабезпечення країни. Однак експлуатація малих ГЕС дає можливість виробляти близько 250 млн. кВт-год електроенергії за рік, що еквівалентно щорічній економії до 75 тис. тонн дефіцитного органічного палива.

## 4.2 Енергія морів та океанів

Моря й океани займають 71% поверхні Землі і мають *енергію таких видів*:

- енергія хвиль і припливів;
- енергія хімічних зв'язків газів, солей, мінералів тощо;
- прихована енергія течій в різних частинах морів і океанів;
- невичерпна енергія, яку можна виробляти, використовуючи різницю температур води на поверхні і в глибині, а також перетворюючи її на традиційні види.

Такі величезні запаси енергії і різноманітність його форм — гарантія того, що в майбутньому людство не буде відчувати його шлюбу.

За оцінками спеціалістів, тепла (внутрішня) енергія, що відповідає перегріву поверхневої води морів і океанів, наприклад, на 20°C, становить близько 1026 Дж. Кінетична енергія океанських течій оцінюється приблизно у 1018 Дж.

Найбільш поширеним способом використання енергії морів і океанів з спорудження *припливних електростанцій* (ПЕС). З 1967 р. у гирлі річки Ране у Франції працює ПЕС потужністю 240 Мвт. На черзі спорудження ПЕС у затоці Фанді в Канаді з рекордним 18-метровим припливом, у гирлі річки Півночі в



Англії із 14,5-метровим припливом т в один регіонах із великими припливами води.

Великі надії покладають на використання енергії морських хвиль. Бакени і маяки, які використовують цю енергію, вже покрили прибережні води Японії.

Цікавим напрямком океанської енергетики виявилось вирощування з плотів в океані гігантських водорослей — келпів, які швидко ростуть і легко перероблюються на метан. За зарубіжними оцінками, для повного забезпечення енергією кожної людини-споживача досить 1 га плантацій келпів.

На велику увагу заслуговує «океанна термічна енергоконверсія», іншими словами отримання електроенергії з допомогою різниці температур між поверхневими і глибинними океанськими водами, які засмоктуються водним насосом, наприклад, при використанні в замкнутому циклі турбіни таких рідин, які легко випаровуються (пропан, фреон або амоній).

Поки що далекою здається перспектива отримання електроенергії завдяки відмінностям між солоною та прісною водою, наприклад, морською і річковою.

Велику енергію мають морські течії. В деяких місцях Гольфстрім має швидкість до 9 км/год. Вчені припускають, що найближчим часом енергія морських течій стане конкурентоспроможною.

Із зазначеного випливає, що енергія морів і океанів проявляється у вигляді припливів, хвиль, течій, різниці температур і хімічного складу води. Факторами, які впливають на припливи, є положення Сонця і Місяця відносно Землі, а також її обертання. Велике значення має і конфігурація океанських акваторій і берегів, які часто створюють унікальні умови для приток. Наприклад, розходження в рівнях приток на Таїті становить 25 г.

Перетворення енергії припливу на механічну енергію використовувалося ще на початку XI століття в припливних млинах, які будували в гирлах річок, що впадали в океан. Для цього перегороджували дамбами річки і створювали

резервуари, в яких встановлювалися засувні ворота або шлюзи. Коли починався приплив, шлюзи відчинялися всередину, і вода заповнювала резервуар. Знижуючи свій рівень при відливі, вода сама затворяла шлюзи. Якщо необхідно, вода подавалася крізь вузькі ворота зливу на лопаті водяних коліс.

У перших припливних млинах використовувалася тільки потенційна енергія води, зібраної в резервуар. Пізніше, коли були винайдені ефективні насоси, з'явилася можливість використання й другого виду енергії припливів -- кінетичної, тобто енергії води, яка рухається.

Припливні електростанції мають великий водозбірний басейн або резервуар, з'єднаний з морем руслом річки або спеціальним каналом, в якому встановлюють реверсивні турбіни, які змушують обертатися електрогенератор. Така електростанція перетворює енергію припливів послідовно на механічну, а потім на електричну як під час припливу, так і під час відливу.

Перша у світі та найбільша на сьогодні ПЕС міститься у Франції на березі Ла-Маншу в гирлі річки Ране. Приплив у цьому місці переміщує 189 тис. м<sup>3</sup> води за секунду. Різниця рівнів становить 13 м, а швидкість течії між містами Брестом і Сен-Мало часто досягає 90 км/год. У середині дамби дуже великого накопичувального резервуара містяться 24 альтернаторы-турбогенератори зі зворотними лопатками ротора турбіни. Кожен з них може функціонувати і як турбіна, і як насос, який працює і в бік моря, і в зворотному напрямку. В дамбу вмонтовані навігаційні замки і спускні шлюзи.

До недоліків ПЕС слід віднести труднощі, пов'язані із захистом дамб та устаткування від ударів крижаних торсів, особливо у північних районах. Поблизу дамб морська флора й фауна дуже страждає внаслідок, хоча і незначного, підвищення температури і зменшення вмісту кисню у воді. Крім того, дамби перешкоджають міграції риб.

Основною позитивною рисою енергії припливів є те, що вона легко враховується завдяки постійності її фаз. Однак більша тривалість останніх і маленький потенціал енергії припливів зумовлюють необхідність створення ємних акумуляторів цієї енергії. Використання енергії припливів в малопотужних установках взагалі неекономічне.

Краще використовувати енергію морських і океанських хвиль. Відомим є випадок, коли хвилі викинули камінь масою 69,5 кг на покрівлю маяка висотою 40 м над рівнем моря (штат Орегон, США). У Франції (р. Шербур) хвилі перекинули валун масою 2700 кг через дамбу висотою 6 р. Максимальна висота хвиль, зареєстрована в Тихому океані, досягала 35 м.

За оцінками фахівців, енергія морських і океанських хвиль становить приблизно 30% всієї використовуваної у світі енергії.

До 1979 р. серед усіх проектів використання енергії хвиль, які розглядалися, було виділено чотири:

- *"пирнало" Солтера;*
- *пліт Кокерела;*
- *вирівнювач Рассела;*
- *коливальна водяна колонка (резервуар).*

**«Пирнало» Солтера** нагадує поплавок, який, піднімаючись і опускаючись одночасно з хвилями, приводить в дію насос, який подає воду під тиском в турбогенератор.

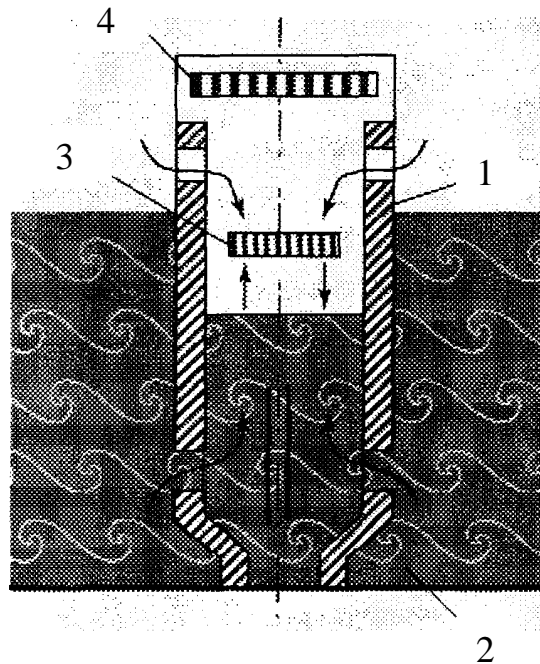
**Пліт Кокерела** складається з трьох шарнірно сполучених понтонів, які знаходяться на плаву і відтворюють коливання хвиль, їх підняття і опускання приводить в дію гідравлічні тарани, які з'єднують понтони. Стискання і розтягування таранов передається робочій рідині, яка діє на гідравлічний генератор, що виробляє електричний струм.

**Випрямляч Рассела** регулює рух води таким чином, що вона надходить у турбіну тільки в одному напрямку.

**Коливальна водна колонка (резервуар)** відрізняється від попередніх проектів. Вона перетворює енергію хвиль на потенційну енергію стисненого повітря, яке потім віддає енергію повітряній турбіні.

Ідея колонки належить японському морському офіцерові Масуді, який винайшов плаваючий хвилеріз.

За цим принципом сьогодні працюють плавучі установки, які використовуються для будів різного призначення. Схему такої установки показано на рис. 4.3. В її камері 1, яка має дискову опору 2, міститься турбіна 3, поєднана з електрогенератором 4.

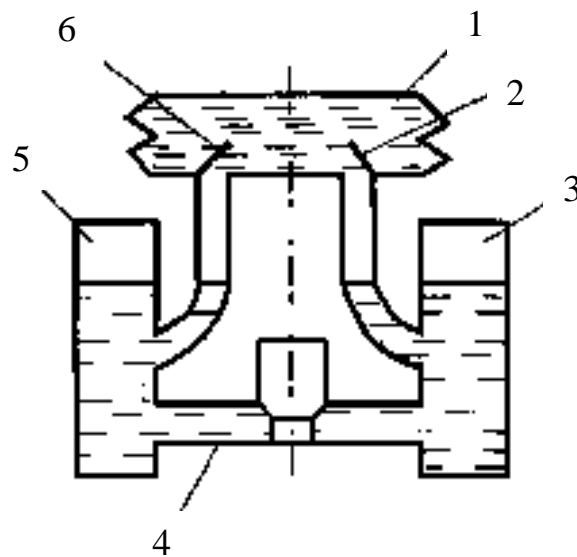


1 – камера; 2 – дискова опора; 3 – турбіна; 4 - електрогенератор

Рисунок 4.3 - Схема плавучої установки

Коли проходить хвиля, камера намагається піднятися разом з нею. Опора перешкоджає цьому і таким чином забезпечує інтенсивне проникнення води вглиб камери. Стовп води витісняє повітря з середини камери крізь сопловий апарат на лопаті турбіни. Після проходження хвилі вода виходить з камери, а її місце знову займає повітря. Потім цикл повторюється.

Досить оригінальний і простий пристрій запропоновано в Японії для використання змін гідростатичного тиску в товщі води при його хвилюванні. У море, де ці зміни найбільш помітні, розміщують установку (рис. 4.4), яка складається з трьох камер 1, 3 і 5, з'єднаних між собою через клапани 2, 6 і робочий канал 4. У верхній частині камер 3 і 5 міститься газ, остаток простору заповнений струмопровідною рідиною.

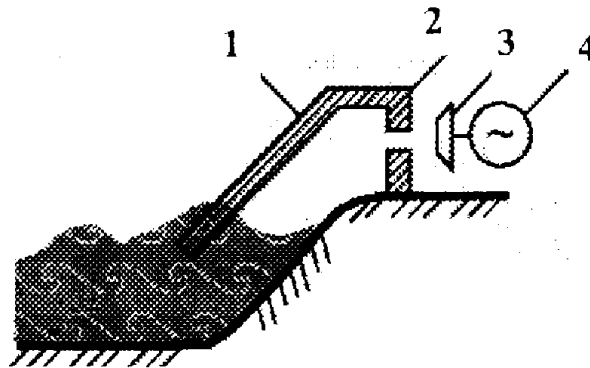


1, 3, 5 – камери; 2, 6 – клапани; 4 – робочий канал

Рисунок 4.4 - Схема установки для використання змін гідростатичного тиску в товщі води при хвилюванні

Якщо канал 4 з'єднати, наприклад, з магнітогідродинамічним генератором, то при зміні тиску навколишнього середовища в каналі почне переміщатися магнітопроводна рідина, яка призведе до появи різниці потенціалів на електродах. Така установка може бути дуже зручною для вимірювання тиску і отримання енергії невеликої потужності.

На рисунку 4.5 показана схема побудованої в Японії прибійної електростанції потужністю 500 Вт. Принцип її роботи приваблює своєю простотою і майже повною відсутністю рухомих частин. Хвиля, яка падає під козирок 1, стискає повітря і жене його крізь сопловий канал 2 до турбіни 3, яка приводить в дію електрогенератор 4.

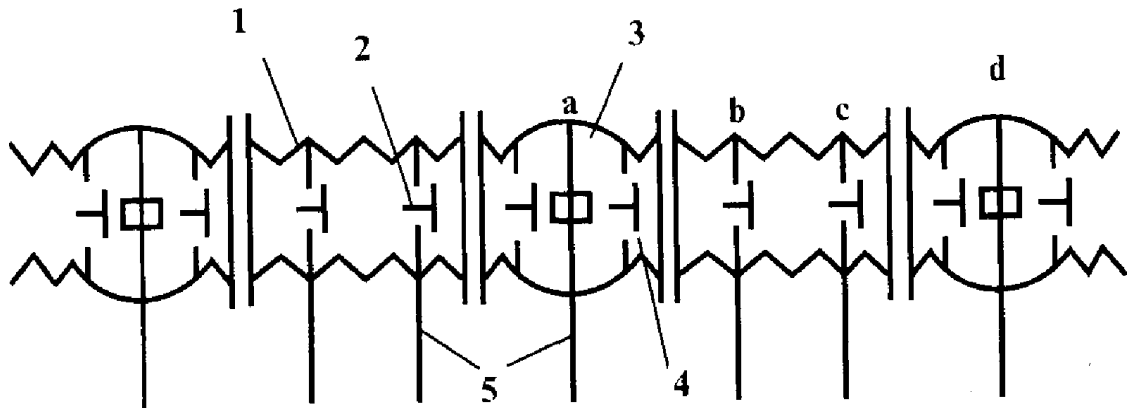


1 – козирок; 2 - сопловий канал; 3 – турбіна; 4 - електрогенератор

Рисунок 4.5 - Схема прибійної електростанції

Основними шляхами розвитку хвилевих енергоустановок є підвищення концентрації енергії хвиль і енергоємність акумуляторів, їх надійності і

ефективності перетворення енергії. Усім цим умовам відповідає багатоступінчастий хвильовий насос, схема якого приведено на рисунку 4.6.



1 - гофрований патрубок; 2, 4 - вихідний клапан; 3 - демпфуючий резервуар;  
5 - тонкий гнучкий лист

Рисунок 4.6 - Схема багатоступінчастого хвильового насоса

Одна його ступінь вміщує гофрований патрубок 1, вихідний клапан 2, демпфуючий резервуар 3, вихідний клапан 4 і тонкий гнучкий лист 5, що вертикально входить у воду. З допомогою хвильового насоса здійснюється перетворення кінетичної і потенційної енергії на спрямований рух рідини. Подальше перетворення кінетичної енергії рідини, що рухається, на електроенергію відбувається за допомогою гідравлічних турбін, які обгортають електрогенератор.

У Данії, Норвегії та Швеції станції розташовані на плотках, сполучених з насосом, який починає працювати, коли хвилі діють на пліт. Тут використаний великий насос, який міститься на дні моря. Поршень насоса з'єднується з плотом за допомогою еластичного дроту. Коли хвилі піднімають пліт, поршень піднімається, вода проходить крізь заповнений блок генератора турбіни, виробляючи електроенергію. Коли хвиля спадає, поршень опускається, витеснюючи своєю вагою воду через клапани.

#### **4.3 Утилізація теплової енергії стічних вод**

Основними джерелами низько потенціальної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки.

Холодна вода надходить узимку в будинок з температурою 2...8 °С. Потім вона прогрівається в трубопроводах, бачках, нагрівається, змішуючись із гарячою водою, і залишає будинок з температурою 20...30 °С. Каналізаційні стоки несуть із собою дуже велику кількість тепла. Сучасні теплонасосні установки дозволяють утилізувати тепло каналізаційних стоків.

Обсяг каналізаційних стоків, вироблених у величезних кількостях великими містами, практично не змінюється протягом року. Температура стічних вод нижче температури зовнішнього повітря в літню пору й вище в зимове. Це робить їх ідеальним джерелом низькопотенціального тепла для використання в теплових насосах. За деякими оцінками, у міській комунікації разом зі стічними водами скидається близько 40 % використаного тепла.



В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селищах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить 0,15...0,4 м<sup>3</sup> на одного мешканця за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах.

В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м<sup>3</sup>. Температура стоків (на очисних станціях) становить 12...20 °С залежно від сезону.

В таблиці 1.9 наведено потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод в областях України.

Завдяки роботі теплонасосних станцій можна зменшити споживання високоякісного палива в комунальних системах тепlopостачання міст; при використанні теплових насосів з приводом від двигунів внутрішнього згорання, паро- або газотурбінних установок значно збільшуються можливі обсяги виробництва товарної теплової енергії, а ефективність теплонасосних станцій зростає майже у два рази.

Потужні теплонасосні станції тепlopостачання можуть розміщатися біля відвідних каналів очищених комунально-побутових вод. Можливим є створення окремих теплонасосних установок для утилізації теплоти умовно чистих стоків басейнів, спортивних комплексів, пральних комбінатів та інших об'єктів побутового і промислового призначення.

В Японії, у Токіо, для вперше встановлена система централізованого тепло- і холодопостачання району ДНС (district heating and cooling), що використовує тепло неопрацьованих стічних вод.

Таблиця 1.9 - Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод в областях України

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод, тис. МВт·год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	1170	636	239
2	Волинська	761	383	144
3	Дніпропетровська	9398	4825	1809
4	Донецька	8550	4089	1533
5	Житомирська	1155	499	187
6	Закарпатська	903	378	142
7	Запорізька	3091	1535	576
8	Івано-Франківська	1869	912	342
9	Київська	9608	5086	1907
10	Кіровоградська	836	451	169
11	Луганська	2971	1329	498
12	Львівська	4979	2616	981
13	Миколаївська	1232	653	245
14	Одеська	3879	1735	651
15	Полтавська	1683	853	320
16	Рівненська	1701	523	196
17	Сумська	1024	456	171
18	Тернопільська	744	376	141
19	Харківська	5273	2825	1059
20	Херсонська	870	448	168
21	Хмельницька	1135	542	203
22	Черкаська	2229	774	290
23	Чернівецька	487	264	99
24	Чернігівська	924	478	179
25	АР Крим	3312	1273	477
ВСЬОГО		69781	33939	12726

Стічні води вже використовувалися в інших проектах як джерело низькопотенціального тепла для теплових насосів. Проте проект у Токійському районі Koraku 1-chome унікальний тим, що вперше в Японії використаються неочищені, неопрацьовані стічні води. Це дозволяє використати теплові насоси не тільки на очисних станціях, але й на станціях перекачування й у каналізаційних мережах.

Теплообмінники на ДНС-станції сконструйовані нижче насосної станції для перекачування стічних вод. Вони використовуються для передачі тепловому насосу тепла стічних вод, що течуть через насосну станцію. Тепловий насос дозволяє отримати охолоджену або підігріту воду. Ця система зменшує споживання енергії (електроенергії) на 20 % у порівнянні з тепловим насосом, що використовує повітря в якості низькопотенціального джерела тепла. Для видалення більшості зважених твердих часток у стоках застосовується автоматичний фільтр. Для захисту від корозії деталей насоса використовується нержавіюча сталь, для труб теплообмінника – титан. Труби теплообмінника очищаються встановленими усередині щітками. На ДНС-станції змонтовані три теплових насоси, два з охолоджувальною здатністю 10,5 МВт і нагрівальною здатністю 12,8 МВт кожний; і один тепловий насос із охолодною здатністю 3,9 Мвт, нагрівальною – 5 МВт. Цей насос використовується періодично, коли виникає необхідність подачі гарячої й холодної води одночасно. Витрата стічних вод, що проходять через ДНС-станцію, становить до 129 600 м<sup>3</sup> на день. Станція проохолоджує воду до +7 °С і нагріває до +47 °С і забезпечує цією водою будинок загальною площею 126400м<sup>2</sup>.

За перший рік своєї роботи станція ДНС забезпечила 37741 ГДж теплової енергії для охолодження води й 9151 ГДж для одержання гарячої води. У серпні коефіцієнт перетворення теплонасосної установки склав 4,3, у лютому – 3,9.

## 5 УТИЛІЗАЦІЯ ЕНЕРГІЇ ПОТОКІВ ГАЗІВ

### 5.1 Утилізація енергії надлишкового тиску природного газу

Під терміном "потенціальна енергія надлишкового тиску природного газу" мається на увазі можливість виробництва механічної або електричної енергії при розширенні природного газу.

Транспортування природного газу здійснюється при тиску, що перевищує необхідний при використанні споживачами. Для узгодження умов експлуатації газотранспортної мережі та споживачів встановлюються дроселюючі пристрої, при цьому потенціальна енергія надлишкового тиску природного газу втрачається. Магістральними газопроводами природний газ транспортується при номінальному тиску 5,5 або 7,5 МПа. З магістральних газопроводів і газопровідних відводів газ тиском 1,5...6,5 МПа підводиться до промислових об'єктів та населених пунктів і редукується на газорозподільчих станціях до тиску 0,4; 0,6; 1,2 МПа. В подальшому на газоредукуючих пунктах підприємств та населених пунктів здійснюється зниження тиску до 0,3...0,6 МПа для потреб великих промислових споживачів і до 5 кПа для потреб побутових споживачів.

За допомогою детандерних установок можна здійснити зменшення тиску та утилізувати потенціальну енергію надлишкового тиску природного газу для виробництва електричної енергії.

В господарському комплексі України у 1999 році спожито 71,5 млрд.  $\text{nm}^3$  природного газу. За розрахунками теоретичні ресурси потенціальної енергії, що втрачається при дроселюванні природного газу, становлять біля 5021 тис. МВт·год щорічно.

Технічно доступні ресурси потенціальної енергії еквівалентні річному виробництву електроенергії 2335 тис. МВт·год.

Проте, у зв'язку зі значною сезонною та добовою нерівномірністю споживання природного газу, відсутністю в ряді випадків необхідних електричних мереж, економічно доцільні обсяги виробництва електроенергії за рахунок надлишкового тиску природного газу значно обмежуються. Найбільш сприятливі умови для встановлення турбодетандерних установок можуть бути на газорозподільчих станціях та газорегулюючих пунктах, що обслуговують енергетичні підприємства та власні потреби газотранспортної мережі.

Ресурси потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу, визначені на основі статистичних даних про споживання природного газу в 1999р., приймаються в якості прогнозу на найближчі роки (табл. 5.1).

## **5.2 Утилізація енергії надлишкового тиску доменного газу**

Під терміном "потенціальна енергія надлишкового тиску доменного газу" мається на увазі можливість виробництва механічної або електричної енергії при розширенні доменного газу.

Одним із засобів інтенсифікації та підвищення ефективності доменного процесу є підвищення тиску колошникових (доменних) газів. В сучасних доменних печах тиск колошникових газів складає 0,35...0,50 МПа. Випуск газів з печі здійснюють через дросельну установку, після якої тиск доменного газу зменшується до 0,012 МПа. Потенціальна енергія надлишкового тиску доменного газу може використовуватись в утилізаційних безкомпресорних турбінах для виробництва електричної енергії.

Таблиця 5.1 - Енергетичний потенціал ресурсів потенціальної енергії надлишкового тиску природного газу в області України

№ п/ п	Області	Потенціал надлишкового тиску природного газу, тис МВт·год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	156	73	39
2	Волинська	45	21	9,3
3	Дніпропетровська	680	316	146
4	Донецька	788	366	135
5	Житомирська	61	28	15
6	Закарпатська	65	30	5,5
7	Запорізька	270	126	80
8	Івано-Франківська	204	95	54
9	Київська	477	222	162
10	Кіровоградська	38	18	7,3
11	Луганська	369	172	61
12	Львівська	273	127	32
13	Миколаївська	92	43	23
14	Одеська	187	87	28
15	Полтавська	193	90	39
16	Рівненська	81	38	12
17	Сумська	118	55	31
18	Тернопільська	60	28	11
19	Харківська	361	168	106
20	Херсонська	42	20	8,5
21	Хмельницька	87	40	13
22	Черкаська	165	77	29
23	Чернівецька	31	14	5,1
24	Чернігівська	79	37	16
25	АР Крим	99	46	29
ВСЬОГО		5021	2337	1096,7

Доменний газ розглядається як суміш ідеальних газів:  $\text{CH}_4$  - 3% об.,  $\text{CO}$  - 27 % об.,  $\text{H}_2$  - 5 % об.,  $\text{N}_2$  - 55 % об.,  $\text{CO}_2$  - 12,5 % об.,  $\text{O}_2$  - 0,2 % об.

В Україні в 1999 році при виробництві 23 млн. т чавуну утворилося 37,56 млрд.  $\text{m}^3$  доменного газу. Загальні ресурси енергії надлишкового тиску доменного газу еквівалентні 1536,6 тис. МВт·год (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 - Енергетичний потенціал ресурсів потенціальної енергії надлишкового тиску доменного газу в областях України

№ п/ п	Області	Потенціал надлишкового тиску доменного газу, тис МВт·год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Дніпропетровська	533,4	309,1	103,7
2	Донецька	707,7	395,3	105,4
3	Запорізька	145,3	81,2	25,3
4	Луганська	130,3	72,8	7,3
ВСЬОГО		1536,6	858,4	241,7

Газове господарство металургійних заводів України являє собою складну інженерну систему, що сформувалася протягом багатьох десятиліть. Внесення докорінних змін в схему газового господарства заводів з метою встановлення утилізаційних безкомпресорних турбін у багатьох випадках може супроводжуватись невиправдано великими капітальними вкладеннями та

організаційними ускладненнями. На найближчу перспективу економічно доцільною може бути утилізація надлишкового тиску лише тієї частини доменного газу, що споживається енергетичними установками.

Для гарантування стабільної та надійної роботи дросельної установки доменної печі пропускну спроможність утилізаційної безкомпресорної турбогенераторної установки приймають до 70-80% від номінальної витрати доменного газу. Технічно доступні ресурси потенціальної енергії надлишкового тиску доменного газу визначають, враховуючи, що коефіцієнт корисної дії утилізаційних безкомпресорних турбін становить близько 75 %.

Розвиток даного напрямку нетрадиційної енергетики дозволить підприємствам не тільки економити органічне паливо, але й спрощувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умов життя і праці населення.

### **5.3 Утилізація енергії шахтного метану**

За деякими оцінками ресурси метану в вугільних пластах в перерахунку на умовне паливо займають третє місце серед запасів горючих копалин на планеті після вугілля та природного газу. Однак при цьому необхідно враховувати, що до останнього часу шахтний метан розглядався не в якості палива, а тільки як небажаний супутник процесу вуглевидобутку; з огляду на це обсяги виділення метану оцінювались лише для усунення негативних наслідків виділення метану в шахтах. Тому в оцінках ресурсів шахтного метану часто існують значні розбіжності.

Одним з найбільш перспективних регіонів України для розвитку даної галузі нетрадиційної енергетики є Донбас; метаморфізм вугілля басейну Донбасу



супроводжується утворенням великої кількості метану. Метан в басейні знаходиться в вугільних пластах, вміщуючих породах і в підземних водах. Українськими спеціалістами на основі аналізу інформації по всій вугільній галузі України за період 1998-1999 р.р. визначено найбільш перспективні об'єкти для промислової розробки ресурсів шахтного метану в Україні - це 29 шахт Донецького басейну. Основними методами утилізації шахтного метану в якості палива є використання його як палива в парових котлах, газотурбінних установках, як моторного палива в двигунах внутрішнього згорання, а також переробка на газових заводах.

Найбільш простим і легкоздійсненним, хоча не самим економічно ефективним, способом утилізації шахтного метану є спалювання його замість вугілля з метою забезпечення промислових і побутових потреб шахт та для виробництва електроенергії на місцевих ТЕЦ.

Типова котельня шахти спалює в зимовий час 60...70 т/добу вугілля, в літній час - 30...40 т/добу. Застосування вугілля в котельнях, крім необхідності спалювання гостродефіцитного твердого палива, потребує важкої праці по видаленню золи та шлаку. На шахтах, що добувають високоякісне коксівне вугілля, опалення проводиться привезеним енергетичним вугіллям, що значно збільшує загальні витрати через його транспортування. При переводі шахтних котельних на опалення шахтним метаном повністю виключається або різко скорочується споживання вугілля, за рахунок чого відповідно знижується кількість викидів в атмосферу шкідливих газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ , вуглеводи) і припиняється викид в атмосферу незгорілого вугільного пилу та золи; крім того, скорочується чисельність обслуговуючого персоналу котельні.

Питанням розробки шахтного метану в Україні в останній час (1998-1999 р.р.) приділялась велика увага, в цей період прийнято ряд законів і

нормативних актів, які можуть сприяти реалізації метанових енергетичних проєктів. У табл. 5.3 наведені дані про енергетичний потенціал шахтного метану.

Таблиця 5.3 - Енергетичний потенціал шахтного метану для промислового освоєння в областях України

№ п/ п	Області	Енергетичний потенціал шахтного метану		Обсяги заміщення ПЕР, тис. т у.п./рік
		Загальний потенціал, тис. МВт·год	Річний потенціал, МВт·год/рік	
1	Донецька	502500	8690	1069
2	Луганська	141580	1165	143
ВСЬОГО		644080	9855	1212

## 6 АКУМУЛЮВАННЯ ЕНЕРГІЇ

Однією з причин, яка обмежує широке використання поновлюваних джерел енергії в народному господарстві, є їх нестабільність в роботі: відсутність сонця і вітру приводить до неритмічності в енергопостачанні, а різна швидкість вітру і перепади інтенсивності сонячного випромінювання – до нестабільності енергетичних характеристик. Вирішити цю проблему можна, за допомогою

надійних систем акумулювання енергії. Завдяки їх застосуванню забезпечується не тільки стабільне і безперервне енергопостачання, а й зростає коефіцієнт використання поновлюваних джерел енергії завдяки накопиченню надлишкової і низькопотенційної енергії, яка безпосередньо не може використовуватися споживачами. При цьому згладжуються коливання в електромережі, з'являється можливість перетворювати один вид енергії в інший, залежно від потреб споживача.

Наявність пікової не скондиціонованої енергії в процесі експлуатації енергоустановок на основі відновлюваних джерел енергії вимагає розробки ефективних систем перетворення, накопичення і збереження енергії. Застосування надійних систем акумулювання підвищує ефективність використання поновлюваних джерел енергії на 30-50%, забезпечує безперебійне постачання споживачів енергією необхідної якості і сприяє ширшому впровадженню енергетичних установок на основі відновлюваних джерел енергії.

Як акумулятори енергії відновлюваних джерел можна використовувати:

- електрохімічні акумулятори;
- теплові акумулятори;
- акумулятори на основі зворотних фазових переходів;
- акумулятори на основі зворотних хімічних реакцій;
- акумулятори, які працюють при переробці палива за рахунок його збагачення;
- акумулятори, які працюють на основі водню.

## 6.1 Акумулявання теплоти

Дуже поширеним в нетрадиційній енергетиці є *акумулявання теплової енергії поновлюваних джерел*. Практична реалізація різних типів *теплових акумуляторів* (ТА) пов'язана перш за все з визначенням їх оптимальних робочих характеристик, з вибором недорогих, але ефективних теплових матеріалів.

Економічна ефективність теплового акумулятора при інших рівних умовах визначається масою і об'ємом теплоакumuлюючого матеріалу, необхідного для забезпечення заданих параметрів процесу.

Акумулявання фізичного тепла є найбільше вживаним. Досить низька теплоємність акумулятора може компенсуватися використанням великих обсягів теплоакumuлюючих матеріалів. Як акумулятори використовують тепло ізольованих резервуарів води.

Акумулятори, які використовують теплові ефекти зворотних фазових переходів, характеризуються більш високою щільністю енергії тіла при невеликому обсязі тепло акumuлюючого матеріалу і мають практично постійну температуру розряду.

Теплові акумулятори з фазовим переходом діляться на низькотемпературні (до  $120^{\circ}\text{C}$ ), середньої температури ( $120 - 400^{\circ}\text{C}$ ) і високотемпературні ( $400 - 1000^{\circ}\text{C}$ ).

Перспективними за своїми енергетичними характеристиками серед теплоакumuлюючих матеріалів з фазовим переходом вважаються кристалогідрати солей. Однак експериментальні дослідження показали, що їх використання не виправдовує себе: вони мають невеликий ресурс роботи (10-15 циклів заряд - розряд). Тим часом в Інституті електродинаміки НАН України розроблені нові ефективні матеріали, до складу яких входять подвійні і потрійні суміші нітратів

лужних металів з добавками ацетамід чи карбаміду в різному співвідношенні. Всі вони пройшли багаторічні випробування та продемонстрували високі енергетичні та стабільні фізико-хімічні характеристики в широкому діапазоні робочих температур. При здійсненні понад 2000 циклів заряд – розряд не спостерігалися зміни їх хімічних параметрів.

Акумулятори, які працюють з використанням ефекту зворотних хімічних реакцій, що характеризуються ще вищою щільністю енергії, порівняно з раніше розглянутими акумуляторами, однак вони мають більш високу ціну за рахунок використання відносно дорогих хімічних сполук, а також виділяють гази в процесі хімічних реакцій.

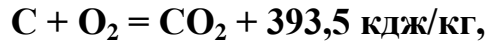
В табл. 6.1 наведено зворотні хімічні реакції деяких речовин, які можуть бути використані в хімічних акумулятор енергії.

Таблиця 6.1 - Основні параметри деяких хімічних акумуляторів

	Температура, °С	Щільність енергії, яка акумулюється, ГДж/м <sup>3</sup>
$\text{Ca(OH)}_2 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	525	2,21
$\text{SO}_3 \leftrightarrow \text{SO}_2 + 0.5\text{O}_2$	650	0,51
$\text{BaO}_2 \leftrightarrow \text{BaO} + 0.5\text{O}_2$	825	2,36
$\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$	860	4,82

При наявності залишкової енергії відновлюваних джерел її можна використовувати для збагачення природного палива під час його переробки, тобто акумулювати енергію в паливі. Ефективність такого акумулювання можна розглянути на прикладі переробки вугілля.

При звичайному спалюванні вугілля маємо



Тобто кожен кілограм вугілля при спалюванні виділяє 393,5 кдж теплової енергії.

Якщо обробити вугілля водяною парою, то отримаємо



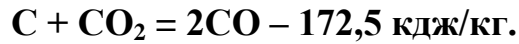
Це означає, що замість вуглецю як енергоносія отримаємо енергоносії у вигляді оксиду вуглецю і водню, а витрата енергії 131,3 кдж/кг відбудеться за рахунком енергії поновлюваних джерел.

При спалюванні отриманих енергоносіїв будемо мати



Отже, маємо сумарну теплову енергію в 524,8 кдж/кг, що, порівняно з звичайним спалюванням вугілля (395,5 кдж/кг), дасть збагачення палива на 33.3%.

При обробці вугілля вуглекислим газом маємо



При спалюванні отриманого оксиду вуглецю будемо мати



це означає, що отримаємо збагачення вугілля на 43,8%.

## 6.2 Акумулявання електричної енергії

Електрохімічні акумулятори ефективні у вітрових і сонячних енергосистемах різної потужності. Особливо доцільно використовувати їх в системах на основі відновлюваних джерел енергії невеликої потужності, які не можуть дати енергію потрібної якості, прямо працюючи на споживача. У цьому випадку електрохімічні акумулятори збирають електричну енергію, отриману від відновлюваних джерел енергії, а коли енергопостачання зменшується або припиняється, забезпечують споживача принаймні мінімальною кількістю енергії. Підключення їх до енергосистеми вирівнює графік навантажень і підвищує коефіцієнт корисної дії установки.

Дослідження показали, що найбільш ефективним для систем із вітру і сонячними установками фотобатарей є лучні нікель-кадмієві акумулятори, які можна ефективно використовувати навіть при незначних (5%) зарядних струмах, а також ті, що працюють на основі водню.

У Німеччині проводяться роботи по створенню герметичних нікель-водневих акумуляторів з водневим електродом на основі гідратів металів. Вони екологічно чисті і енергоємні порівняно з нікель-кадмієві.

В Інституті електродинаміки НАН України ведеться активний науковий пошук шляхів поліпшення відомих і розробки нових акумуляторів енергії. Важливим аспектом використання електрохімічних акумуляторів в енергосистемах на основі відновлюваних джерел енергії є визначення оптимальних режимів їх експлуатації з метою збільшення віддачі та зменшення шкідливих викидів у довкілля.

### **6.3 Акумулявання на основі водню**

Характеристики акумуляторів енергії визначаються переважно властивостями енергоносіїв. Останні повинні легко накопичувати енергію, бути зручними у транспортуванні і користуванні, екологічно чистими і енергоємними. Всім цим вимогам повною мірою відповідає водень.

Акумулявання енергії на основі водню має великі перспективи. З енергетичної точки зору, водень – це альтернатива нафти і природного газу, при цьому:

- запаси водню в складі води практично невичерпні;
- теплота згоряння водню у кілька разів вища, ніж у природних газів;
- водень як паливо може бути використаний для отримання теплової та електричної енергії, а також в двигунах різного виду;
- водень – екологічно чисте паливо.



Система акумулювання на основі водню забезпечує:

- стабільне енергопостачання споживачів;
- вирішення проблем збереження водню і його використання з метою одержання теплової та електричної енергії;
- отримання палива з оптимальними характеристиками.

Все частіше розглядається можливість використання водню як енергоносія майбутнього для вирішення найважливіших енергетичних і екологічних проблем – таких, скажімо, як забруднення атмосфери вуглекислим газом під час згоряння органічного палива.

Сьогодні перспективами для водневої енергетики є використання енергії Сонця, вітру і води. Правда, вартість генерування електроенергії при цьому ще досить висока, особливо це стосується енергії Сонця. Тому ефективним у даному швидку є використання вітро- і гідроенергії. А водень доцільно отримувати з допомогою електролізних установок методом розкладки води.

Для забезпечення потреб споживачів хімічну енергію водню перетворюють на теплову і електричну. На основі розробок Інституту електродинаміки НАН України створено ряд моделей екологічно чистих систем виробництва, збереження і використання водню різної енергетичної ємності в залежності від потужності енергоустановок. Визначено їх енергетичні параметри і економічні показники. Розробивши технічне і технологічне забезпечення, науковці запропонували технічні проекти систем акумулювання водню потужністю 24, 84, 290 та 410 квт. Вивчається також питання збереження водню протягом тривалого часу, що дає можливість створювати міжсезонні системи акумулювання для нетрадиційної енергетики.

Основним елементом міжсезонної системи акумулювання енергії на основі водню є установка для його отримання. Її вибір визначається енергетичною

потужністю відновлюваних джерел енергії (скажімо, потужністю вітру установки). Теоретичні розрахунки і результати практичної експлуатації показали, що вітроустановка, спроектована для метеорологічних умов України (ВЕУ-100 потужністю 100 кВт з терміном окупності щодо активної частини капіталовкладень – 2,9 року), виробляє близько 220 МВт-год. електроенергії на рік. Виходячи з цього, потужність для роботи електролізної установки може становити близько 25 кВт (220000 кВт-год / 8760 год).

За технічними характеристиками найбільш прийнятною для вирішення завдань в комплексі з ВЕУ-100 є установка виготовлення водню методом електрохімічної розкладки води СЕУ-4. Її потужність – 24 кВт, вихід водню – 4м<sup>3</sup>/год, вихід кисню – 2 м<sup>3</sup>/год.

Кисень, який є одним з продуктів електролізу, часто в промисловості залишається невикористаним. А в енергетичні комплекси на відновлюваних джерелах енергії з його допомогою можна отримувати електричну енергію в паливних воднево-кисневих елементів.

Вибір систем збереження водню залежить в основному від потужності енергосистеми і вимог споживача. У разі експлуатації установки СЕУ-4 рідкісна форма збереження водню неекономічна, збереження його у формі гідридів металів у великих кількостях також неефективне за наявні нині технології виготовлення гідридів металів. Основною формою збереження є стиснутий (в залежності від потреби – від 10 до 150 атм.) водень. Принципову схему розглянутої системи акумулювання представлено на рисунку 6.1.

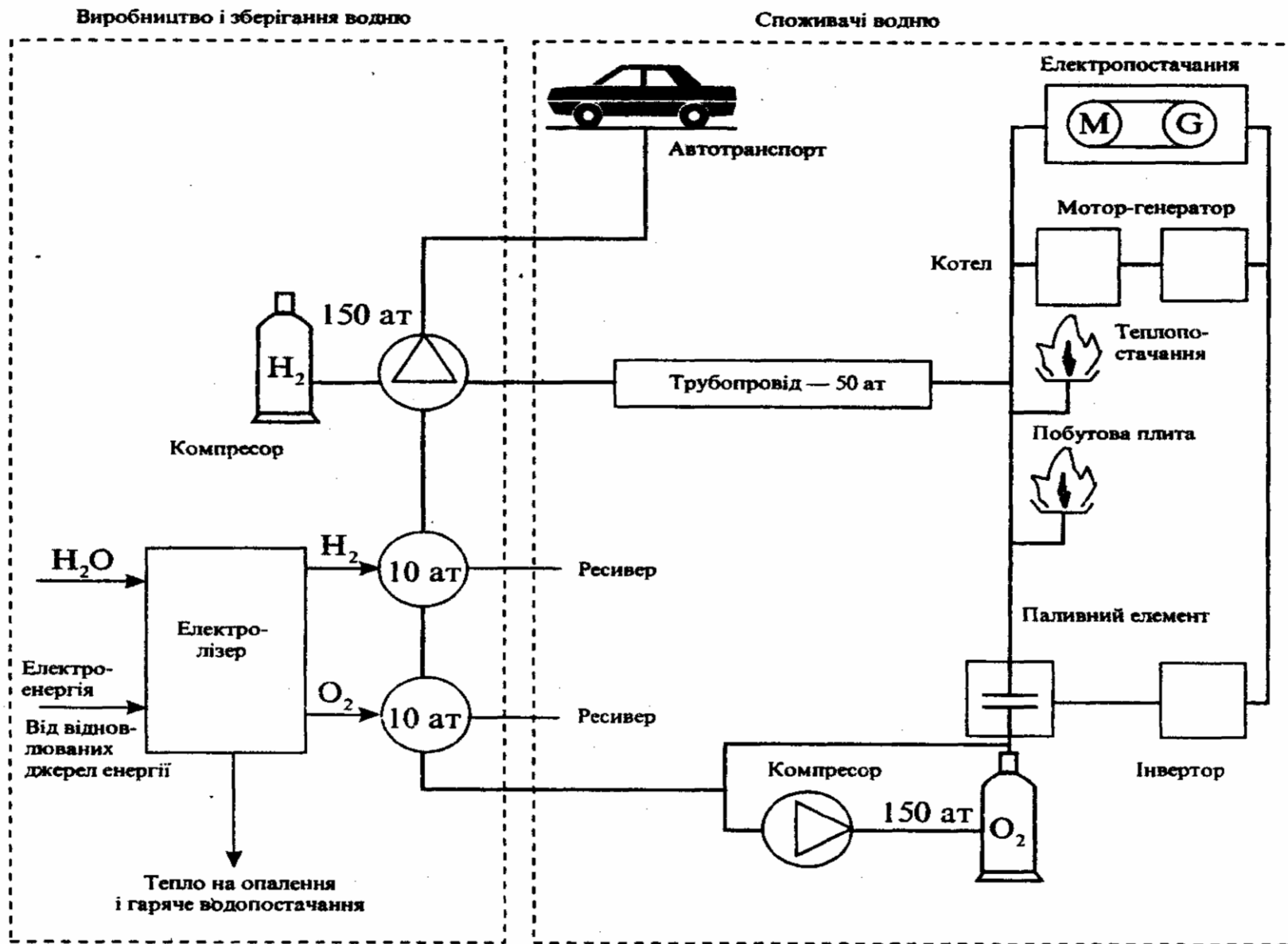


Рисунок 6.1 - Система акумулювання енергії на основі водню

Для перетворення хімічної енергії водню на електричну використаний електрохімічний метод (паливних воднево-кисневих елементів) і механічний (моторо-генератору). У паливних воднево-кисневих елементів здійснюється пряме перетворення хімічної енергії водню на електричну. В моторо-генераторах енергія водню, що згоряє в циліндрах двигунів внутрішнього згорання, приводить в дію генератор електричного струму.

На теплову енергію при згоранні водень перетворюється в пальниках промислового і побутового призначення. Система його подачі при цьому аналогічна системі подачі природного газу з деякими змінами в конструкції газового пальника.

В енерго комплексі передбачено також використання технологічної теплової енергії, яка виділяється під час електролізу води, яка дає можливість підвищити коефіцієнт корисної дії системи акумуляування.

Для автотранспорту існують різні варіанти використання водню в паливних сумішах водню з бензином. Перспективність використання водню для автомобільних двигунів визначається насамперед його екологічною чистотою, необмеженістю і возобновляемостью сировинних запасів, низькими витратами на транспортування і, врешті-решт, унікальними моторними властивостями. Все це робить можливе його широке застосування в сучасних двигунах без докорінної перебудови останніх. Під час роботи автомобіля на суміші бензину з воднем викиди шкідливих речовин знижуються в 3-10 разів.

Проект запропонованої системи введений за контрактом в Данії, де створена воднева станція. Робочі параметри енергосистеми підтримуються в автоматичному режимі. Випробування та експлуатація системи протягом двох років показали ефективність її використання нетрадиційної енергетики.

Перспективним напрямком отримання водню є електрохімічний метод з використанням як електроліту розплавів лугів. В Інституті електродинаміки НАН

України створений і успішно випробувано дослідно-конструкторський зразок тепло-електрохімічного накопичувача з високими питомими енергетичними характеристиками для акумулювання електричної енергії вітру електричних установок і фотоперетворювачів. Під час зарядки акумулятора електрична енергія перетворюється на хімічну: на катоді відбувається виділення металевого калію і натрію, а на аноді – кисню і водню. Коли тепло-електроакумуляторами розряджається, розгортається реакція взаємодії лужного металу з водою, внаслідок чого виділяються водень і тепло.

Тепло-електрохімічний акумулятор має ряд переваг порівняно з іншими накопичувачами енергії. У нього високі питомі енергетичні характеристики, що він надійний і не дає шкідливих викидів. Під час збереження водню тут не відбувається саморазрядка. Зрештою, цей акумулятор не вимагає великих капітальних витрат. Застосовувати його можна і як накопичувач енергії (коли енергоносієм є водень), і як тепловий котел, де тепла енергія дає можливість обігрівати приміщення, і як джерело електричного струму для освітлення приміщень і живлення побутових електроприладів.

Сонячну та вітрову енергію, яка виробляється у віддалених від споживача місцях, економічно доцільно консервувати у вигляді водню – енергетично найбільш ефективного палива – й транспортувати трубопроводами.

## ТЕМАТИКА ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО ВИВЧЕННЯ

1. Основи теплообміну.
2. Що таке теплопровідність?
3. Що таке конвективний теплообмін?
4. Що таке променистий теплообмін?
5. Рівняння кількості теплоти, яка переноситься конвективним теплообміном.
6. Рівняння передачі теплоти від стінки до рідини.
7. Основні режими руху рідини або газу.
8. Що таке тепловіддача?
9. Рівняння Ньютона-Ріхмана.
10. Коефіцієнт тепловіддачі.
11. Чинники, що впливають на числа подібності.
12. Число Нуссельта.
13. Число Рейнольдса.
14. Число Прандтля.
15. Число Пекле.
16. Число Грасгофа.
17. Що ви знаєте про визначальний лінійний розмір в числах подібності?
18. Поняття про теплоємність.
19. Середня теплоємність.
20. Дійсна теплоємність.
21. Масова, мольна та об'ємна теплоємність.
22. Тепломасообмінний апарат.
23. Теплоносії в тепломасообмінних апаратах і вимоги до нього.

24. Класифікація тепломасообмінних апаратів.
25. Як здійснюється передача теплоти в змішувальних апаратах.
26. Як здійснюється передача теплоти в апаратах поверхневого типу.
27. Які ви знаєте рухи середовищ?
28. Діаграма прямогоку і середня логарифмічна різниця температур?
29. Діаграма протитоку і середня логарифмічна різниця температур?
30. Шахове й коридорне розташування труб, їх основна характеристика.
31. Як здійснюється передача теплоти в рекуперативних теплообмінниках?
32. Як здійснюється передача теплоти в регенеративних теплообмінниках?
33. Теплообмінники, які здійснюють теплообмін, за рахунок внутрішніх джерел енергії.
34. Що таке паливо і його види?
35. Основні характеристики палива.
36. Що ви знаєте про торф, горючі сланці і антрацит?
37. Що ви знаєте про кам'яне та буре вугілля?
38. Що ви знаєте про нафту?
39. Що ви знаєте про мазут та його температури застигання і спалаху?
40. Газоподібне паливо і його характеристика.
41. Що таке коксовий та напівкоксний газ та їх походження?
42. Що ви знаєте про генераторні газ?
43. Що ви знаєте про доменний газ?
44. Що ви знаєте про природні газ?
45. Що ви знаєте про зріджені газ?
46. Що таке одоризація газів?
47. Основні вимоги до одорантам.

48. Схема горіння водню.
49. Схема горіння окису вуглецю.
50. Схема горіння вуглеводнів. Формальдегід - його необхідність у процесі горіння.
51. Схема горіння метану.
52. Що ви знаєте про теплоту горіння палива?
53. Що таке умовне паливо?
54. Горіння палива і його температури.
55. Що таке коефіцієнт витрати повітря?
56. Що ви знаєте про температуру жаропродуктивності горіння палива?
57. Що таке калориметрична температура?
58. Що таке теоретична температура горіння палива?
59. Що таке дійсна температура горіння палива?
60. Поняття пірометричного коефіцієнту?
61. Які явища відбуваються з процесом горіння палива при надлишку або нестачі окислювача?
62. Що таке температура займання?
63. Що таке верхній і нижній межі займання горючого газу?
64. У яких випадках відбувається відрив і проскакування полум'я.
65. Що ви знаєте про швидкість поширення полум'я.
66. Які умови необхідно створити для протікання процесу горіння.
67. Які ви знаєте способи спалювання палива.
68. Характеристики пальникових пристроїв.
69. Якими параметрами повинні володіти газові пальники?
70. Класифікація пальникових пристроїв.



## ОБОВ'ЯЗКОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНІ ЗАПИТАННЯ ДО ПИСЬМОВОГО ЕКЗАМЕНУ

1. Схема котельної установки.
2. Принцип роботи котельної установки.
3. Види котельних установок.
4. Основні елементи котельної установки.
5. Призначення пароперегрівача.
6. Регулюючі пристрої пароперегрівача.
7. Призначення водяного економайзера.
8. Призначення повітропідігрівника.
9. Підготовка живильної води для котельної установки.
10. Що таке регенерація?
11. Що таке дегазація?
12. Що таке деаерація?
13. Необхідність обмурівки котла.
14. Необхідність КИП і арматури.
15. Що є основним показником роботи котельної установки?
16. Формула середньої логарифмічної різниці температур.
17. Формула діаметра еквівалентного.
18. За рахунок чого виникає інтенсивна природна циркуляція води в опускних і підйомних трубах в котельній установці?
19. Принцип роботи пароохолоджувача, що вприскується.
20. Принцип роботи поверхневого пароохолоджувача.
21. Що таке жорсткість води і як її знизити?
22. Що таке теплове споживання?

23. Основні поняття про джерела фінансування й системи теплопостачання.
24. Принципова схема ТЕЦ.
25. Принцип роботи схеми ТЕЦ.
26. Основні споживачі централізованого теплопостачання.
27. Що становить систему теплопостачання?
28. Що ви знаєте про сезонне і цілорічне навантаження?
29. Від яких параметрів залежить технологічне навантаження?
30. Завдання системи опалення. Як визначається сумарна кількість теплоти на опалення будівлі?
31. Формула визначення кількості теплоти на опалення будівлі?
32. Що ви знаєте про внутрішні тепловиділення?
33. Як визначаються теплові втрати через зовнішні огорожі?
34. Як визначаються теплові втрати з урахуванням інфільтрації?
35. Що таке розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення?
36. Якою має бути температура внутрішнього повітря в приміщенні?
37. Як визначається середньодобове навантаження гарячого водопостачання?
38. Що ви знаєте про вентиляцію та кондиціонування повітря?
39. Формула витрат теплоти на вентиляцію.
40. Види систем теплопостачання.
41. Види парових систем теплопостачання.
42. Види водяних систем теплопостачання.

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Куріс Ю.В. Промислова теплотехніка: Навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА всіх спеціальностей, ден. та заоч. від-ня // І.О. Кутузова, Ю. В. Куріс, В. Г. Рижков // Методичні вказівки / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. - 128 с.: іл.
2. Куріс Ю.В. Теорія горіння та вибуху: Навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА всіх спеціальностей, ден. та заоч. від-ня // І.О. Кутузова, Ю. В. Куріс, В. Г. Рижков // Методичні вказівки / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2016. - 130 с.: іл.
3. Куріс Ю.В. Теплоенергетика: Навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА напрямку 6.090400 "Металургія", ден. та заоч. від-ня: Методичні вказівки / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2011. - 130 с.: іл.
4. Куріс Ю.В. Теплоенергетика: Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи для студ. ЗДІА напрямку 6.090400 "Металургія", ден. та заоч. від-ня: Методичні вказівки / ЗДІА. - Запоріжжя: ЗДІА, 2011. - 46 с.: іл.
5. Особливості теплової роботи кліматичної та екологічної техніки [Текст] : навч.-метод. посібник для студ. ЗДІА спец. 183 "Технології захисту навколишнього середовища" та 263 "Цивільна безпека" / Ю. В. Куріс, В. Г. Рижков, І. О. Кутузова ; ЗДІА. - Запоріжжя : ЗДІА, 2017. - 260 с.
6. Агатьев В.В., Лабейш В.Г., Белоусова В.П. Менеджмент в природопользовании. - Вологда: изд-во ВоГТУ, 2003.-320с.
7. Андреев В.М., Грилихес В.А., Румянцев В.Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. - Л.: Наука, 1990.-214с.

8. Биомасса как источник энергии / Под ред. Соуфера С, Заборски О.М. - М.: Наука, 1985.-217с.
9. Ветроэнергетика / Под ред. Д.Рензо- М.: Энергоатомиздат, 1982.-360с.
10. Возобновляемые источники энергии: Учебное пособие. / Васильев Ю.С., Елистратов В.В., Мухаммадиев М.М., Претро ГА. - СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1995.-102с.
11. Гидроэнергетика / Под ред. Обрезкова В.И. - М.: Энергоиздат, 1981.-608С.
12. Гидроэнергетика и комплексное использование водных ресурсов / Под ред. Непорожного П.С. - М.: Энергоиздат, 1982.-559с.
13. Дворов И.М. Геотермальная энергетика. -М.: Наука, 1976.-158с.
14. Жучков ПА. Высокотемпературные процессы и установки ЦБП. -Л.: Изд-во ЛТА, 1985.-88с.
15. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. - М.: Энергия, 1981.-417с.
16. Капица П.Л. Эксперимент, теория, практика. - М.: Наука, 1981.-495с.
17. Кубин М. Сжигание твердого топлива в кипящем слое. - М.: Энергоатомиздат, 1987.-146с.
18. Кутателадзе С.С. Научные и практические мероприятия по развитию геотермальной энергетике в Советском Союзе // Геотермальные исследования и использование тепла Земли. - М.: Наука, 1961.
19. Лабейш В.Г. Гидравлические расчеты энергооборудования. - Л.: СЗПИ, 1991.-88с.
20. Лабейш В.Г. Природоохранные технологии в теплоэнергетике. -СПб.: СЗТУ, 2001.-80с.

21. Мацнев В.В., Смирнова Е.Н. Конструкции и опыт эксплуатации котлов с топками кипящего слоя // Энергетическое машиностроение (НИИЭ информэнергомаш), 1986, вып. 3.-48с.
22. Мурзаков В.В. Основы технической термодинамики. - М.: Энергия, 1973.-304с.
23. Ревелль П., Ревелль Ч. Среда нашего обитания. Кн. 2: Энергетические проблемы человечества. -М.: Мир, 1995.-291с.
24. Росс Д. Энергия волн. - Л.: Гидрометиздат, 1981.-112с.