

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 м² поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт-год/м² в північній частині України до 1400 кВт-год/м² 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

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

де \bar{H} - середньомісячна величина денного надходження сумарної радіації на горизонтальну поверхню, кДж/(м²×добу);

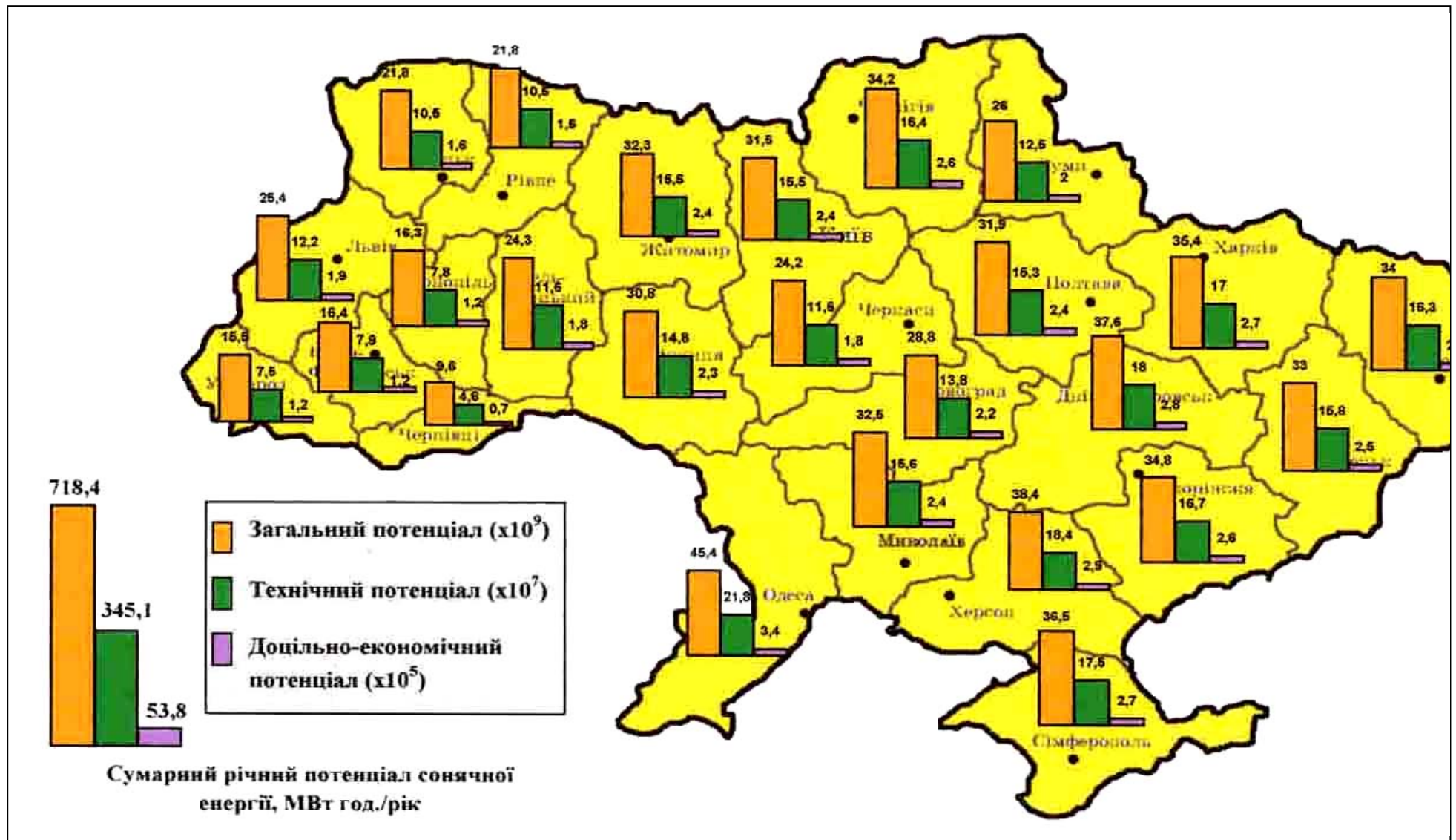


Рисунок 1.2 – Потенціал сонячної енергії на території України

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/(м²·добу);

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

β - кут нахилу колектора до горизонту;

ρ - 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/(м² × добу).

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

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

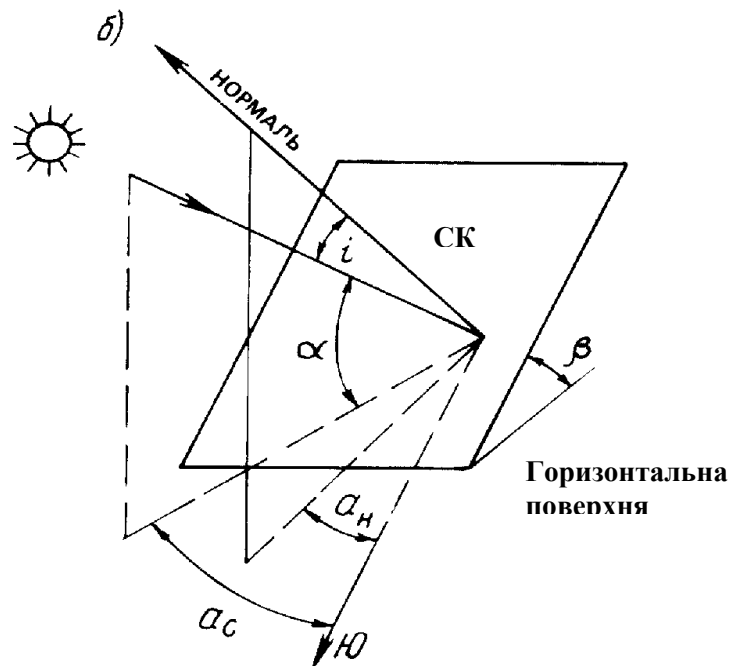
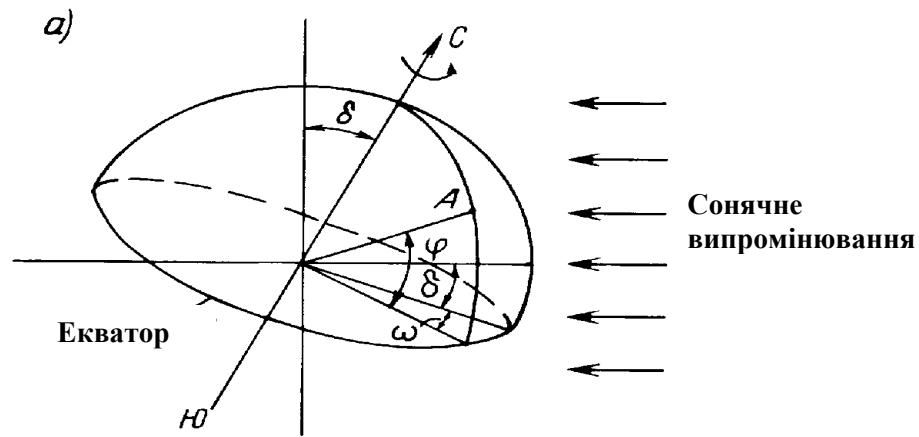
Для поверхонь, орієнтованих на південь, величина \bar{R}_B може бути визначена згідно рівнянню (1.5). Ці ж значення з допустимою погрішністю можна використовувати і для поверхонь, азимут яких по абсолютному значенню не перевищує 15°.

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

де ω - годинний кут заходу сонця на горизонтальній поверхні (рис. 1.3)

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

ω' - годинний кут заходу сонця на похилій поверхні:



ω - годинний кут; δ - схилення сонця; i - кут падіння сонячного проміння на похилу поверхню сонячного колектора; α - кут висоти Сонця; α_c - азимут Сонця; α_n - азимут похилої поверхні

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

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

δ - 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 теплопостачання 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:

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

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

P_{\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 теплопостачання

Системи сонячного теплопостачання (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 теплoхлaдопостачання.

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 витоками 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, багатоповерхові 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.

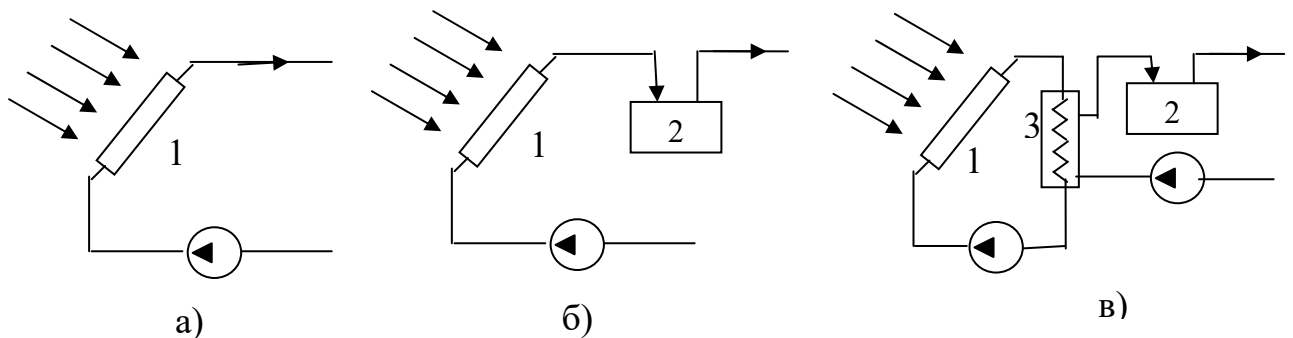
У геліоустановках, призначених для систем опалювання, в якості теплоносіїв використовують як рідини, так і повітря. В багатоконтурних геліоустановках в різних контурах можуть бути використані різні теплоносії (наприклад: в геліоконтурі – вода, в розподільчому контурі – повітря).

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).

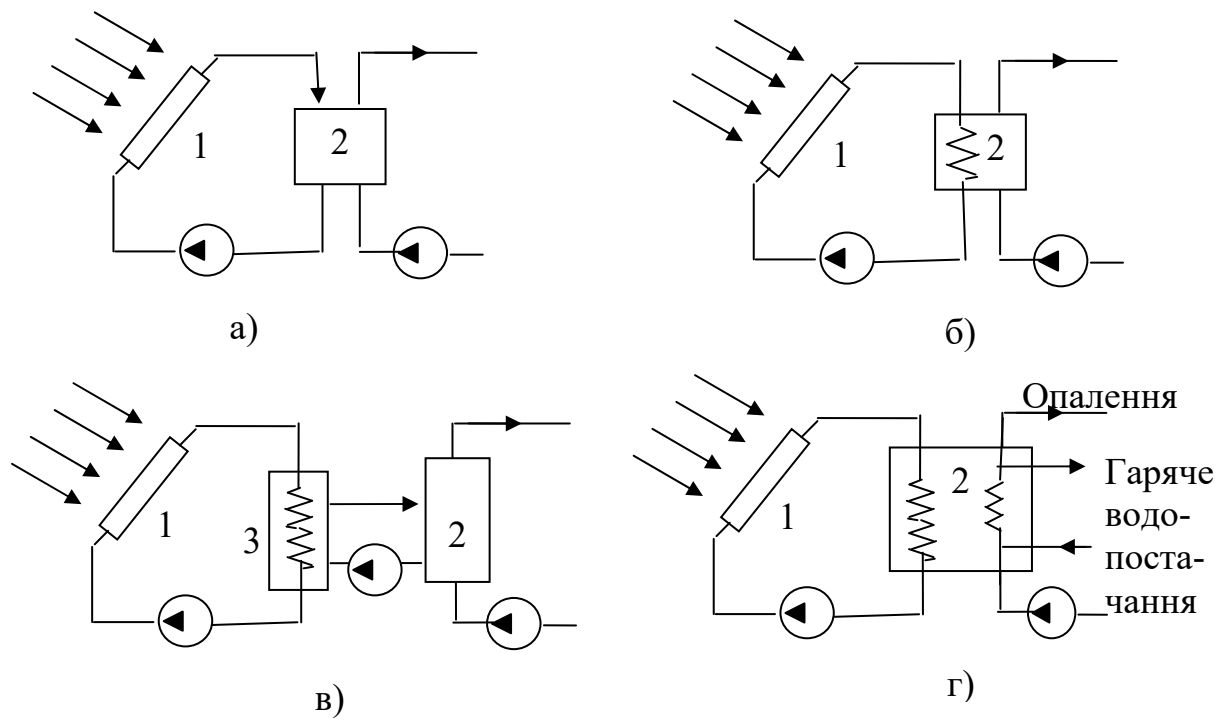


1 – сонячний колектор; 2 – акумулятор; 3 – теплообмінник

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 замкнених 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.