



# НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Навчально - науковий інженерно - технічний інститут ім. акад. І. С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач**

**кафедри ЕПЕМ**

/Сергій БАЛЮТА/

**“20” листопада 2023 року**

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Герашенко Костянтина Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модульна система енергопостачання комунального господарства на основі використання теплонасосних технологій».

керівник роботи к.т.н., доцент Романов М.С.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “01” жовтня 2024 року № 859 -к

2. Строк подання здобувачем роботи 01 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

карта розташування геотермальних зон України;

розрахунки споживання теплової енергії комунальними господарствами;

перелік моделей випускаємих теплових накопичувачів та перетворювачів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Розглянути наявність геотермальних джерел на Україні ;

2. Визначити потенціал та перспективи розвитку теплонасосної техніки;

3. Енергогенеруючі установки та доцільність їх використання у комунальному господарстві.

5. Перелік графічного матеріалу :

до пояснювальної записки - ” кількість слайдів, “15 слайдів”

## 6. Консультанти розділів роботи

3

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	д.т.н., професор Серьогін О.О.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 02 жовтня 2024 р. \_\_\_\_\_

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдання на магістерську роботу	02.10.2024 р.	
2.	Вступ	2 - 05.10.2024 р.	
3.	Вивченість проблеми в Україні та світі	12.10.2024	
4.	Міжнародний досвід використання екологічно чистої енергії	16.10.2024	
5.	Відновлювальні джерела енергії у приватних господарствах України	22.10.2024	
6.	Напрями використання і класифікація теплових насосів	26.10.2024	
7.	Основні типи теплових насосів	30.10.2024	
8.	Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ	06.11.2024	
9.	Методика дослідження альтернативних джерел енергії для приватних домогосподарств.	10.11.2024	
10.	Ефективність роботи енергогенеруючих установок	20.11.2024	
11.	Доцільність впровадження теплових насосів в комунальному господарстві	25.11.2024	
12.	Висновки	30.11.2024	
13.	Оформлення пояснювальної записки		
14.	Подання готової роботи для перевірки на плагіат	01.12. 2024 р.	

Здобувач

\_\_\_\_\_ (підпис)

Геращенко К.М.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Романов М.С.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Герашенко Костянтин Миколайович. Дипломний проект на тему  
«Модульна система енергопостачання комунального  
господарства на основі використання теплонасосних  
технологій».

Національний Університет Харчових Технологій, Київ -2022  
141. «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Додана пояснювальна записка складається із вступу, 3 розділів та списку використаної літератури. Обсяг проекту становить 115 сторінок .

У проекті розглянуто аспекти отримання і використання енергії з нетрадиційних джерел. Зважено можливості отримання екологічно чистих видів енергії на території нашої країни. Розглянута можливість використання енергії відновлювальних джерел у приватних господарствах.

Надано рекомендації щодо впровадження енергоощадних технологій.

Розглянуто можливість використання теплових насосів, як нескінченного джерела екологічної теплової енергії. Оглянуто основні типи теплових насосів та приведено їх класифікацію.

Наведено методику дослідження альтернативних джерел енергії для приватних домогосподарств.

В окремому розділі розглянуто принцип роботи геотермальних електростанцій та ефективність роботи енергогенеруючих установок.

**Ключові слова :** нетрадиційні джерела, тепловий насос, енергоощадний будинок, геотермальні установки.

Gerashchenko Kostyantyn Mykolaovich. Diploma project on the topic

" Modular power supply system for utilities based  
on the use of heat pump technologies "

National University of Food Technologies, Kiev -2024

141. "Electric power engineering, electrical engineering an electromechanics"

The attached explanatory note consists of an introduction, 3 chapters and a list of references. The volume of the project is 115 pages.

The project considers aspects of obtaining and using energy from non-traditional sources. The possibilities of obtaining environmentally friendly types of energy in our country have been weighed. The possibility of using energy from renewable sources in private households is considered.

Recommendations for the introduction of energy-saving technologies are provided. The possibility of using heat pumps as an infinite source of ecological thermal energy is considered. The main types of heat pumps are examined and their classification is given.

A methodology for studying alternative energy sources for private households is presented. A separate section discusses the principle of operation of geothermal power plants and the efficiency of energy generating plants.

**Keywords:** non-traditional sources, heat pump, energy-saving house, geothermal installations.



- АБ - акумуляторна батарея
- АЕС - атомна електростанція
- ВЕС - вітроелектростанція
- ВЕУ - вітроелектрична установка
- ВДЕ - відновлювальні джерела енергії
- ВУ - вітроустановка
- ЄС - Європейський Союз
- ККД - коефіцієнт корисної дії
- ЛЕП - лінії електропередач
- ПДВ - податок на додану вартість
- СЕС - сонячна електростанція
- ТЕН - трубчатий електричний нагрівач
- ФП - фотоприймач
- ФЕП - фотоелектричний приймач

## ВСТУП

Актуальність досліджуваної теми обумовлена необхідністю розв'язання проблем ресурсозбереження та енергоефективності на фоні глобальних кліматичних змін, викликаних техногенним та антропогенним навантаженням на навколишнє природне середовище, а також сучасними енергетичними проблемами в Україні.

Основні недоліки сонячної енергії – це змінна у часі концентрація, циклічність і мала густина. Метою систем, які підтримують роботу низькотемпературних джерел сонячної енергії, є виключення або мінімізація цих недоліків. Досягається це застосуванням однієї із наступних схем (рис. 1):

- конверсія низькотемпературної сонячної енергії та її акумуляція у вигляді теплової енергії;
- конверсія сонячної енергії в інші форми енергії, які легко акумулювати, наприклад  $H_2$ , хімічні сполуки, паливо тощо;
- конверсія низькотемпературних джерел енергії із використанням досвіду біотехнології та акумуляція нових форм енергії, наприклад біопалива;
- механічне, електричне, магнітне та інші види перетворення низькотемпературних джерел енергії на високотемпературні джерела, які можна використовувати для традиційних систем опалення.

### **Форми акумулювання енергії**

Енергію можна акумулювати у формах:

- механічній (інерційні, пружинні та інші акумулятори);
- хімічній (водень, паливо, уран тощо);
- електрохімічній (акумулятори: Pb, Fe-Ni, Li-S тощо);
- гідравлічній (помпово-пікові електростанції);
- пневматичній (резервуар із газом);
- електричній (конденсатор);
- магнітній;
- тепловій.

## РОЗДІЛ 1. НЕВИЧЕРПНІ ДЖЕРЕЛА ГЕОТЕРМАЛЬНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 1.1. Вивченість проблеми в Україні та світі

Дослідницька робота базується на таких літературних джерелах: «Відновлювані джерела енергії» (А. Барило, 2020 р.) [2], «Альтернативна енергетика в Україні» (Г. Півняк та Ф. Шкрабець, 2013 р.) [36], «Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення» (О. Полянський, О. Дьяконов, О. Скрипник та ін., 2017 р.) [38], «Енергетика навколишнього середовища України» (С. Величко, 2003 р.) [10], «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» (О. Голик, Р. Жесан, І. Волков, 2020 р.) [12], «Відновлювана енергетика для журналістів» (В. Дядькович, В. Комар, С. Кравчук, 2021 р.) [13], «Альтернативні джерела України» (І. Ковальов, 2015 р.) [19], «Фотоенергетика» (Ю. Колонтаєвський, Д. Тугай, С. Котелевець, 2019 р.) [21], «Енергетичні установки. Загальний курс» (В. Маляренко, 2008 р.) [29], «Енергетика і навколишнє середовище» (В. Маляренко, 2008 р.) [28], «Альтернативна енергетика» (М. Мельничук, В. Дубровін, В. та ін., 2012 р.) [31], «Поновлювальні та альтернативні джерела енергії» (О. Немикіна, 2020 р.) [34], «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії» (І. Сінчук, С. Бойко, К. Лосіна, І. Луценко, Г. Ткаченко, 2013 р.) [44], «Техноекологія» (М. Мальований, В. Боголюбов, Т. Шаніна, В. Шмандій, Т. Сафранов, 2013 р.) [27].

У своїх працях дослідники підіймають наступні питання щодо досліджуваної теми: роль альтернативної енергетики у контексті сталого розвитку, види альтернативних джерел та їх використання для забезпечення населення електроенергією, розвиток альтернативної енергетики в Україні та світі, методи дослідження відновлювальних джерел енергії, проблеми розвитку відновлювальної енергетики в Україні, стимулювання впровадження альтернативних джерел енергії у приватному секторі, фактори,

які впливають на ефективність роботи енергоустановок на основі ВДЕ тощо.

Мельничук М. [31] розглядає перспективи розвитку відновлювальної енергетики у світі та відзначає, що стратегією для захисту клімату до 2050 року, яку розробила Єврокомісія передбачено, що виробництво електроенергії має відбуватися на 80 % за допомогою альтернативних джерел енергії і лише на 15 % - за рахунок АЕС [31]. Він зазначає, що протягом останніх років частка відновлюваних джерел енергії зростає, проте, різними темпами. Зокрема, в Німеччині цей показник у 2017 р. становив - 35 %, у Швеції - 55 %, у Румунії - 38 %, у Польщі - 17 %, в Україні - 8 % [31].

Семенюк В. наводить приклади прямого використання теплової енергії сонячного світла:

- обігрівання будівель через систему пасивного обігріву;
- нагрівання продуктів харчування у сонячних печах;
- нагрівання води або повітря для господарчих потреб в геліоколекторах;
- кондиціонування повітря [43].

Загарій В. зазначає, що світовими лідерами з впровадження «зелених» тарифів залишаються США, Китай, Німеччина, Японія, Індія [15].

Кучерява І. пише, що станом на 2020 р. в Україні введено 243 МВт СЕС у домогосподарствах [26].

Повханич А. підкреслює, що в Україні сьогодні є близько 30 тис. населених пунктів у сільській місцевості, і якби в кожному з них побудували лише по одному вітроагрегату потужністю всього 1 кВт, то отримали би встановлену потужність 30 МВт [37].

Болдирев А. наголошує, що в середньому 1 м<sup>2</sup> площі сонячної панелі виробляє не більше 120 Вт корисної потужності. ККД сонячних панелей для електропостачання будівель становить 14 %, що менше ККД традиційних джерел енергії [50].

Автор зазначає, що для приватних будинків, які знаходяться далі, ніж

500 м від мережі, якщо споживання електроенергії становить 200400 кВт/год в місяць, то однозначно вигідно монтувати сонячні батареї. Для автономності - однозначно необхідно обирати сонячні панелі [50].

Рощина Н. дотримується протилежної думки і говорить, що для споживачів, що мають намір встановити СЕС з невеликою потужністю для власного споживання, такий захід є досить не вигідним через низьку швидкість окупності, досить велику вартість встановлення на потребу у додаткових джерелах енергії, як то генератори для комфортного споживання електроенергії у такі місяці як листопад, грудень, січень. У випадку встановлення СЕС для повного задоволення власних потреб у електроенергії та продажу надлишкової енергії, тоді це варто уваги, адже термін окупності скорочується в рази та буде щонайменше у два рази менший за гарантований термін експлуатації СЕС, а прибуток прямо пропорційний кількості надлишкової енергії. Поряд з цим варто зазначити, що в Україні не існує спеціальної системи оподаткування такого роду доходів, і тому цей дохід підпадає під загальну систему оподаткування доходів фізичних осіб [39].

Матвійчук Н. досліджує фактори стимулювання розвитку альтернативної енергетики у приватному секторі та говорить, що згідно зі ст. 11 Закону України «Про енергозбереження» стимулювання енергозбереження в Україні здійснюють шляхом надання пільг і субсидій. Для фізичних осіб - власників домогосподарств, передбачено субсидії, дотації, податкові, кредитні та інші пільги. Основним інструментом залишається «зелений» тариф на електроенергію [30].

Бодунов В. пише, що, відповідно до ст. 63 Закону України «Про ринок електричної енергії», постачальник універсальних послуг зобов'язаний купувати електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств, встановлена потужність яких не перевищує 50 кВт, за «зеленим» тарифом в обсязі, що перевищує місячне споживання електричної енергії такими домогосподарствами [7].

Повханіч А. відзначає, що одним із найбільш економічно доцільних є отримання за рахунок вітроустановок не електричної енергії промислової якості, а постійного або змінного струму з подальшим перетворенням його за допомогою трубчастих електронагрівників у тепло для обігріву житла і отримання гарячої води [37].

Автор говорить, що вітрогенератори сучасних конструкцій дають змогу використовувати економічно ефективно енергію навіть найслабших вітрів - від 3 м за секунду. За допомогою вітрових установок сьогодні можна не тільки вирішувати завдання електропостачання локальних або острівних об'єктів будь-якої потужності, але й постачати електроенергію в мережу, отримуючи економічну вигоду [37].

Отже, проблема використання альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб в електроенергії приватних домогосподарств є актуальною з огляду на кількість сучасних вітчизняних досліджень.

Для написання дипломної роботи була обрана саме вітчизняна джерельна база з досліджуваної теми. Враховуючи проблеми енергопостачання та енергозабезпечення в Україні, будь-який зарубіжний досвід впровадження альтернативних джерел енергії у приватних домогосподарствах необхідно адаптувати до сучасних реалій та використовувати комплексний підхід для розв'язання проблеми енергетичної незалежності приватних домогосподарств.

## **1.2. Міжнародний досвід використання екологічно чистої енергії**

Попит на відновлювальну енергію у світі пов'язаний з необхідністю охорони довкілля, виконанням вимог «озеленення» енергетики та зменшення рівня викидів парникових газів в атмосферу. Які приводять до безповоротних негативних змін клімату на планеті [3].

Згідно з прогнозами фахівців Міжнародного енергетичного агентства за наявного рівня споживання енергетичних ресурсів розвіданих світових

запасів вугілля, нафти, газу людству вистачить приблизно на 100 років. За уточнюючими прогнозами «British Petroleum» усіх розвіданих до 2012 р. світових запасів енергоносіїв вистачить лише до 2178 року [3].

У житловому господарстві країн Європи споживається близько 30 % теплової енергії, одержаної від спалювання газоподібного палива, що добувається в країні. За рівнем споживання енергії з цим сектором господарства може зрівнятися тільки промисловий. Тому економія ресурсів є сьогодні важливим пріоритетом [29].

У 2020 р. п'ята частина електроенергії в країнах ЄС була вироблена на ВЕС та СЕС. Найвищі показники вироблення вітрової та сонячної енергії зафіксовано в Данії (61 %), Ірландії (35 %), Німеччині (33 %) та Іспанії (29 %) [15].

У Данії планується повна відмова від викопного палива до 2050 року. Окрім численних приватних будинків, що проектуються з використанням поновлюваних джерел енергії, в Європі активно діють програми з проектування «екологічних поселень», що підтримуються державою та регіональною владою [47].

Найбільш освоєним у світі є використання сонячної енергії для теплопостачання. Теплові процеси, які використовують теплову енергію сонячного випромінювання, опрацьовані майже для всіх напрямків тепло технологій: теплопостачання (включаючи гаряче теплопостачання та опалення), холодопостачання, кондиціонування повітря, отримання прісної води, сушіння матеріалів і виробів [19].

Більша частина енергії, що споживають домашні господарства країн Західної Європи витрачається на опалення це складає 70 % від її загального об'єму [29].

У Швеції геотермальна система як засіб обігріву житлових приміщень є невід'ємною частиною новоспоруджених будинків. У Фінляндії геотермальними системами обладнані 12 тис. будинків [54].

Італія більше 6 % електроенергії генерує сонячними електростанціями, а вітрова енергія і енергія біомаси забезпечують ще 11 % потреб країни [20].

Протягом останніх п'яти років в світі відмічається щорічне зростання кількості виробленої сонячної електроенергії на 60 %, а вітрової - на 27 %. Також варто відмітити збільшення використання сонячної енергії для гарячого водопостачання серед домогосподарств (більше 70 млн) [11].

Провідними ринками вітроенергетики у 2014 р. були Китай, Німеччина, Бразилія, Індія та США. Разом вони виробляють 72 % світової потужності вітроенергетики [38].

У Данії частка вітрової електроенергії вже сягає 20 % від загальної кількості, в Голландії і північних землях Німеччини ця частка становить 12 %. Крім того, за останні десятиліття тут змінилося сім поколінь вітроенергетичних установок та зросла потужність установок [19].

У Північній Америці та Європейському Союзі для побутових потреб застосовують електроенергію, вироблену сонячними електростанціями вночі на основі енергії сонця накопиченої вдень. Такі СЕС не шкодять довкіллю та є майже безшумними, тому отримали широкий попит саме у побутовому секторі [35].

В Англії розміщена найбільша в Європі вітряна електростанція, яка може генерувати 33 МВт електроенергії, достатньої для споживачів 25 тис. будинків. Підраховано, що вітроенергетика запобігає викидам в атмосферу понад 200 тис. т продуктів спалювання, які сприяють глобальному потеплінню [19].

Незважаючи на те, що попит на електроенергію в Європейському Союзі впав на 7 % через COVID-19, виробництво електроенергії з відновлюваних джерел зросло на 11 %, в основному за рахунок нових вітрових і сонячних установок, які виробляли рекордну п'яту частину електроенергії в Європі. Так, у Данії 64 % електроенергії було вироблено від вітру і сонця. В результаті викиди вуглецю в енергетичному секторі

Євросоюзу скоротилися майже на чверть за перші шість місяців 2020 р. [2].

Останнім часом набувають популярності «стартапи», що покликані здешевити використання вітрових установок. Показовим прикладом є проект двох індійських братів Аруна і Анупа Джордж під назвою «Avant Garde Innovations», який спеціалізується на розробленні вітряків для приватних домогосподарств, особливістю яких є низька ціна, що стартує від 750 у. о. за один пристрій. Підприємці-винахідники створили вітрову турбіну, здатну генерувати до 3 кВт енергії вдень, чого вистачить для живлення невеликого будинку. Мета - покінчити з «енергетичною бідністю» та створити вітряк за ціною айфона [37].

У планах концерну EnBW - побудова єдиних стандартів інформаційного обміну між усіма окремими елементами мережі і всіма пристроями, що входять до складу Smart Grids, а саме: вітро- та сонячні генератори, встановлені в межах домогосподарства; пристрої тарифікації та обліку - інтелектуальні електролічильники; побутові прилади. Наступним етапом буде створення аналогічних регіональних Smart Grid із розподіленою генерацією й об'єднання їх у єдину енергосистему Німеччини [47].

Для розвитку вітроенергетики урядами різних держав прийнято відповідні законодавчі акти для зниження податку для тих, хто використовує вітроустановки. Так у Данії 75 % вітроустановок є приватною або кооперативною власністю, власники установок звільняються від податку. У США власники вітроустановок отримують державний кредит від 0,55 до 1,5 цента за 1 кВтгод електроенергії, що продається [37].

З точки зору екологічної безпеки, поточні державні та приватні інвестиції у розвиток альтернативної енергетики з метою збільшення їх частки в енергетичній структурі США дозволяють економити на майбутніх заходах із усунення наслідків забруднення навколишнього природного середовища [46].

Таким чином, у багатьох країнах світу успішно використовують

енергоустановки, які генерують електроенергію з альтернативних джерел енергії. Впроваджуються та реалізуються програми розвитку відновлюваної енергетики для задоволення потреб населення, що сприяє автономному енергозабезпеченню окремих домогосподарств.

### 1.3. Енергетичний потенціал України у сфері забезпечення споживачів тепло- та електроенергією

#### Можливі види використання альтернативних джерел

##### Акумулювання теплової енергії

Основні параметри процесів конверсії енергії сонячного випромінювання і акумулювання тепла: енерговиділення акумульованої енергії, потужність і тривалість зарядки і розрядки акумулятора, кількість можливих для реалізації циклів зарядки і розрядки, робоча температура і повна продуктивність. Сьогоднішні енергетичні акумулятори мають об'єм  $200-2 \cdot 10^{16}$  Дж і потужність  $6 \cdot 10^{-4}-10^{15}$  Вт. Тривалість зберігання в них енергії – від кількох секунд до кількадесять років.

Застосування акумульованої

**Таблиця 1.** Енерговиділення різних форм акумульованої енергії

Вид енергії	Енерговиділення, кДж/кг
Дейтерій	$9,5 \cdot 10^{10}$
Уран ізотоп 235 (розщеплення)	$7,0 \cdot 10^{10}$
Важка вода	$3,5 \cdot 10^{10}$
Уран ізотоп 235 (у природному урані)	$2,6 \cdot 10^9$
Реакторне паливо (двоокис урану $UO_2$ )	$1,5 \cdot 10^9$
Водень-газ (15 МПа, 20°C)	$1,2 \cdot 10^5$
Пропан	$4,6 \cdot 10^4$
Нафта-сирець	$4,2 \cdot 10^4$
Вугілля (антрацит)	$3,9 \cdot 10^4$
Метанол	$2,2 \cdot 10^4$
Суха деревина	$1,5 \cdot 10^4$
Гідриди металів	$< 1,1 \cdot 10^4$
Динаміт	5300
Паливна комірка	3200
Водяна пара під час конденсації	2300
Плавлення гідроксиду літію ( $LiOH$ )	1000
Нагрітий пісок ( $\Delta T = 700$ К)	550
Акумулятор Ag-Zn	440
Плавлення Al	395
Вода під час замерзання	334
Акумулятор механічний – інерційний	$< 330$
Нагріта вода ( $\Delta T = 70$ К)	300
Йод під час сублімації	240
Стиснене повітря	$< 200$
Акумулятор свинцевий	120
Потенціальна енергія води ( $\Delta H = 100$ м)	1
Акумулятор механічний – пружинний	0,39
Електричний конденсатор	0,16

теплової енергії (Thermal Energy Storage – TES) у світі найчастіше пов'язане з

охороною довкілля шляхом збереження енергії із невідновлюваних джерел або використанням енергії із джерел відновлюваних.

У випадку акумуляції теплової енергії використовується явище нагрівання твердих тіл і рідин, фазових перетворень (зміна структури твердого тіла, плавлення, випаровування і сублімація), хімічних реакцій (гідроліз, зворотні реакції тощо).

### **Використання питомої теплоємності**

Кількість акумульованого тепла залежить від теплоємності матеріалу, його кількості та температури, до якої цей матеріал повинен нагрітися. Найважливішим параметром є теплоємність, яка є різною для різних матеріалів і залежить ці температур до і після нагрівання.

### **Використання тепла фазових перетворень**

Фазові перетворення, такі як: плавлення – тужавіння, кристалізація – розчинення, сублімація – десублімація, випаровування – скраплювання – конденсація та зміни кристалічних структур відбуваються з поглинанням або виділенням тепла. При акумулюванні тепла використовуються багато сполук і елементів, а правильний вибір залежить від їх токсичності, займистості, температури перетворення і довговічності. Матеріали для зберігання теплової енергії поділяються на:

- низькотемпературні;
- середньотемпературні;
- високотемпературні.

### **Використання хімічних реакцій**

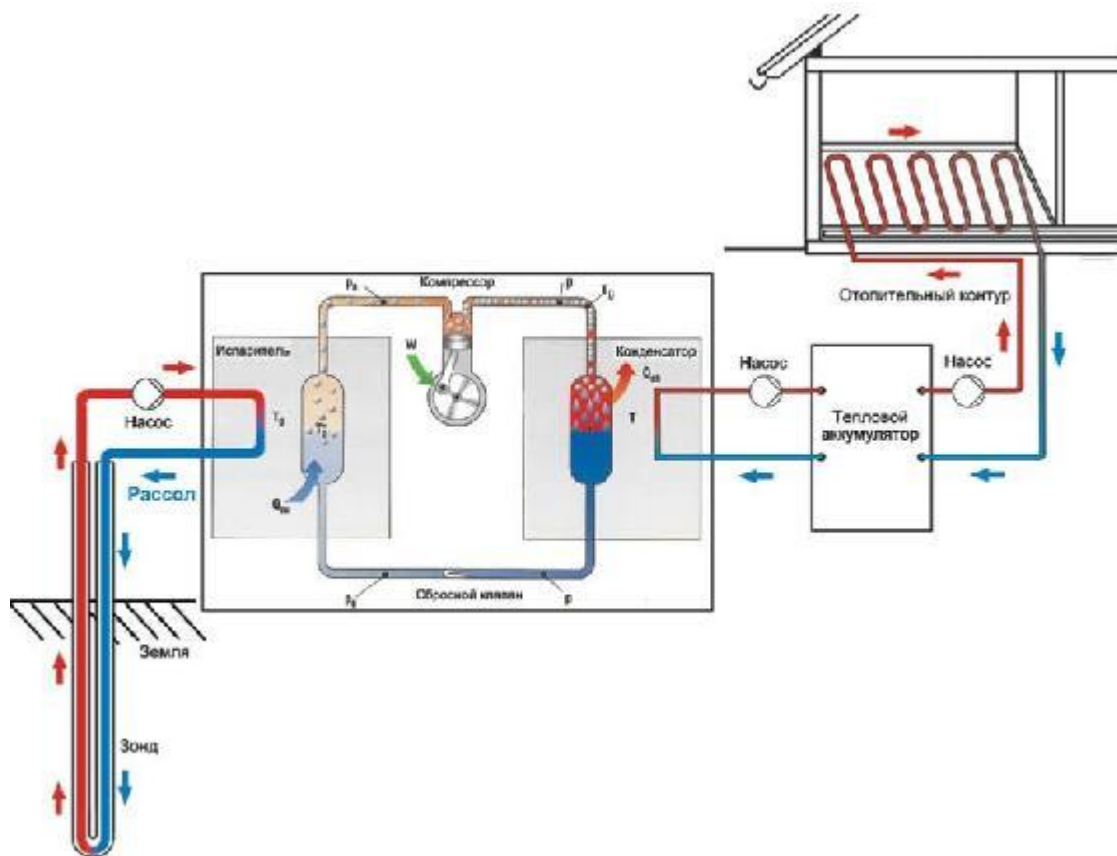
Підчас протікання хімічних реакцій теплота може виділятися (екзотермічні реакції) або поглинатися (ендотермічні реакції). Якщо ці реакції зворотні, то їх можна використовувати для акумуляції тепла. Зміни ентальпії під час реакцій більші, ніж під час фазових перетворень, отже і більші можливості у зберіганні тепла.

### **Акумуляція теплової енергії у ґрунті**

При акумуляції теплової енергії у ґрунті приймається, що 1 м<sup>3</sup> сухого ґрунту зберігає близько 8 кВт·год, а мокрого – 25 кВт·год енергії. Відбір енергії при застосуванні двох зон акумуляції складає 75-90%. Наприклад, для обігрівання об'єкта площею 1000 м<sup>2</sup> у наших кліматичних умовах потрібно використовувати сонячні колектори площею близько 85 м<sup>2</sup>, які повинні співпрацювати з акумулятором, утвореним із 30 т насипаного каміння фракцією 50 мм. За середніми умовами випромінювання можна в такому акумуляторі отримати, наприклад у березні, 500 МДж/доба тепла, а в червні – майже удвічі більше. Акумуляцію енергії у кам'яному накопичувальному шарі можна застосовувати навіть для індивідуальних будинків, обладнаних сонячними колекторами. Відомі теплові акумулятори у вигляді вертикальних свердловин у скельних породах довжиною 40-150 м і діаметром 0,075-0,11 м, наповнених водою. Такі системи, найчастіше об'єднані із тепловою помпою, працюють у США, Канаді та Швеції. В цих країнах функціонує понад 10 тисяч подібних систем.

### **Акумуляція теплової енергії у збірниках води**

Прикладом акумуляції теплової енергії у збірнику є підземний природний кам'яний резервуар об'ємом 100 тис м<sup>3</sup> ( $d = 75$  м,  $h = 30$  м) у Ліккебо (Швеція). Вода у цьому збірнику нагрівається влітку до 40-90°C сонячними колекторами площею 4300 м<sup>2</sup>. Зимому нагромаджена енергія подається до 550 будинків. Система, крім сонячних колекторів і теплообмінників, обладнана ще й тепловими помпами. Інші приклади – наземні збірники об'ємом 30 тис м<sup>3</sup> в Уппсалі (Швеція), 3000 м<sup>3</sup> в Гарлеві (Данія). Систем колекторів площею декілька тисяч м<sup>2</sup>, наповнених водою з антифризними домішками, може бути одночасно і акумулятором тепла. У наших кліматичних умовах збірник об'ємом 50-60 л/м<sup>2</sup> площі колектора може протягом 6 (неопалювальних) місяців нагромаджувати стільки тепла, що забезпечить 90% потреб ЦГВ



**Рис.1.** Способи акумулювання теплової енергії у:  
 а) фунті; б) бойлері; в) кам'яному шарі; г) підземному збірнику води;  
 д) стіні Тромбе, акумуляційній, кахельній пічці тощо

## Бойлери

Бойлери гарячої води повинні співпрацювати з кожною системою сонячних колекторів, обігрівальних котлів і всюди, де розбір тепла або його виробництво має циклічний характер. Теплоємність цих бойлерів залежить від їх об'єму, і за умови правильного підбору бойлер може на 30% зменшити вартість всієї системи. Особливо це стосується систем ГВП, де і відбуваються найбільші коливання у водорозборі. Тепло із сонячних колекторів можна зберігати у бойлерах, наповнених парафіном, який підвищує теплоємність бойлера на 60% (порівняно з водою).

Інші практичні способи акумуляції теплової енергії:

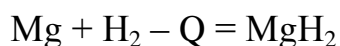
- стіни Тромбе, які вдень акумулюють тепло у пасивних системах

використання сонячної енергії і нагромадженою енергією обігрівують помешкання вночі;

- акумуляційні пічки, що живляться дешевшою нічною електроенергією (20-80 кВт·год), накопичують її у шамотовому заповненні (20-100 кг), а вдень віддають у вигляді тепла;
- старі кахельні пічки, що акумулюють енергію швидкого спалювання деревини і обігрівують приміщення цілу добу.

### **Акумулювання хімічної енергії**

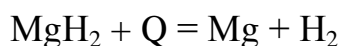
В результаті протікання хімічних реакцій можна нагромаджувати не тільки тепло, але й інші види енергії, – найчастіше це хімічна енергія. Прикладом такого процесу є отримання гідриду магнію у результаті екзотермічної реакції із виділенням тепла:



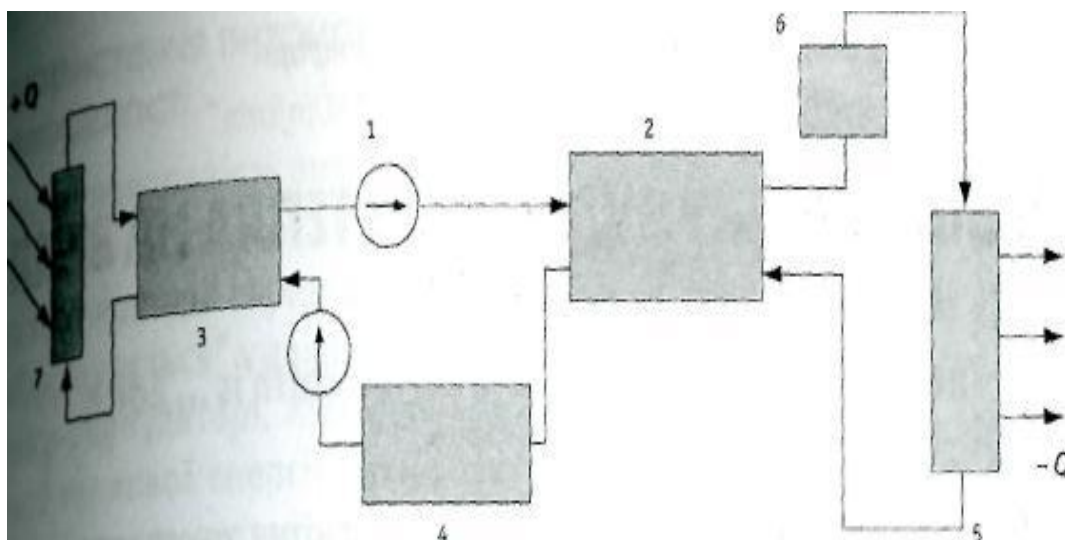
Стандартна мольна ентальпія утворення:  $\Delta H_0 = +74,5$  кДж/моль.

Виділення акумульованої енергії для цієї реакції велике і складає 3-11 МДж/кг, незважаючи на те, що масова частка водню у реакції складає лише 3-8%.

Розкладання гідриду є ендотермічною реакцією і потребує подачі тепла:



Серйозним викликом для України є необхідність виходу із складної екологічної ситуації - великі площі території країни є надзвичайно забрудненими і перебувають на межі екологічної катастрофи [2].



**Рис. 2.** Спосіб акумуляції сонячної енергії за допомогою зворотної реакції перетворення метану:

1 – компресор; 2 – теплообмінник; 3 – регенератор;

4 – конденсатор; 5 – конвертер; 6 – акумулятор; 7 – геліостат

Відповідно до підписаних міжнародних договорів по співробітництву з Європейським Союзом в галузі альтернативної енергетики Україна зобов'язується нарощувати виробництво тепло- і електроенергії за рахунок відновлюваних джерел енергії та обмежувати викиди в атмосферу відпрацьованих продуктів горіння [39].

Планується збільшити відсоток виробленої на основі ВДЕ енергії з 4 % до 25 % до 2030 р. [43].

Україна має зобов'язання перед світовою спільнотою щодо зменшення глобальних викидів парникових газів з метою протидії глобальному потеплінню на планеті. Це потребує трансформації всього економічного укладу країни в напрямку низьковуглецевого розвитку [2].

## НАЙБІЛЬШИМ АКУМУЛЯТОРОМ ТЕПЛА НА ЗЕМЛІ Є ...ЗЕМЛЯ

Що це таке – теплова енергія? Це електромагнітна хвиля, довжина якої  $\lambda = 1,0 \div 2,5 \text{ м}$  із поділом на визначення: червона – близька до червоної – інфрачервона. Густина цієї енергії досягає гігантських величин у галактичній і планетарній системах. У планетарній системі Землі тільки Сонце випромінює величезну кількість енергії, яка досягає Землі із постійною сонячною  $1,39 \text{ кВт/м}^2$ .

Людина навчилася виробляти і зберігати значно менші обсяги енергії. Прогрес у цьому напрямку почався з акумулювання електроенергії. Віднедавна для отримання тепла люди навчилися використовувати природні акумулятори тепла – водні резервуари (наземні та підземні), ґрунт, скелі тощо, використовуючи при цьому пристрої, названі "помпами тепла". Наступним кроком стало виробництво штучних акумуляторів тепла. Такі акумулятори переважно виготовляли на місці, пристосовуючись до конкретних умов, однак віднедавна розпочалося їх виробництво у заводських умовах. Приклади таких акумуляторів наведені нижче.

Існують три основні способи накопичення і зберігання теплової енергії:

- використання питомої теплоємності;
- використання фазових перетворень;
- використання хімічних і фотохімічних перетворень.

Відповідно до температури, способи зберігання поділяються на:

- низькотемпературний  $< 120^\circ\text{C}$ ;
- середньої температури  $< 500^\circ\text{C}$ ;
- високотемпературний  $> 600^\circ\text{C}$ .

*Характерні величини різних акумулювальних матеріалів (середовищ)*

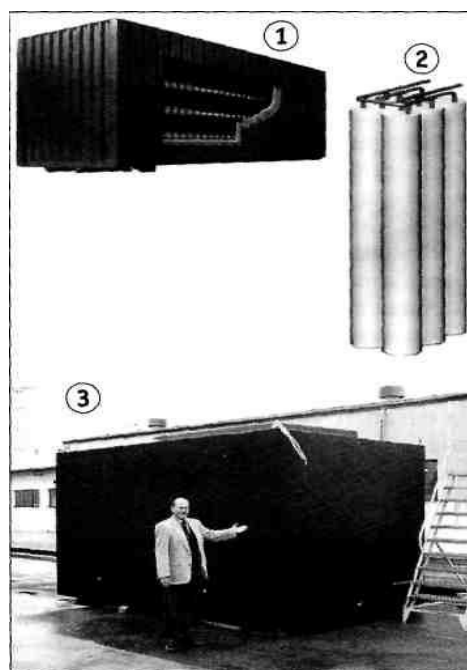
Властивості	Одиниці вимірювання	Кераміка	Чавун	Вода	NaOH	Олива
Найвища застосовувана температура	°C	640	600	135	500	300
Найнижча застосовувана температура	°C	120	80	75	120	85
Акумуляційність вагова	кВт·год/кг	0,0156	0,087	0,699	0,294	0,161
Акумуляційність об'ємна	кВт·год/дм <sup>3</sup>	0,395	0,633	0,070	0,535	0,097

### Використання питомої теплоємності

Питома теплоємність використовується за допомогою підвищення температури середовища, "відкладається" у закритому збірнику-акумуляторі. Кількість зібраної теплової енергії прямо пропорційна приростові температури.

Найчастіше використовуються такі середовища як вода, гліколі, спеціальні оливи та високотемпературні рідини. Застосовуються тверді тіла – скельні породи, граніт, мрамур, бетонні блоки; з

металів найбільш поширеним є чавун. При накопиченні тепла потрібно зберігати компроміс між кількістю теплової енергії, яка зберігається, і втратами, пов'язаними з температурою під час накопичення енергії – від цієї величини залежить



Акумулятор з робочим тілом – ацетатом натрію (1) Акумулятор з робочим тілом – парафіном (2)

Гібридний однофазний акумулятор, виготовлений на замовлення (бетон, граніт, чавун) (3)

товщина і тип ізоляції. Акумуляування тепла з використанням різних акумуляувальних середовищ найчастіше застосовують для низькотемпературних систем ЦО і ЦГВ. Найпростішим прикладом такого акумулятора є... звичайна традиційна опалювальна піч, яка набуває щораз більшої популярності в техніці обігрівання приміщень. Такі печі з системами пасивної і активної акумуляції можуть розпалюватися дровами або пелетами; можуть бути і електричними. Електроакумулявальні печі особливо доцільно використовувати, якщо є можливість встановлення дво- або тритарифних електролічильників. Акумуляувальним середовищем у звичайних печах може бути шамотова цегла або чавун, а також магнезит і кварцовий пісок. Щораз частіше використовується природний камінь, який відзначається високими теплоємними характеристиками.

Велика перевага будь-яких акумуляторів (збірників) тепла – відсутність матеріалів з негативним впливом на довкілля; середовище, що акумулює енергію, є біологічно нейтральним (адже тільки такі середовища й застосовуються). У випадку спорудження акумуляторів тепла на цілий будинок, – а такі рішення щораз активніше впроваджують у практику, такий варіант визнано найбільш ефективним для використання енергії сонця.

Ознайомимося докладніше з акумулятором подібного типу, найчастіше застосовуваним в інсталяційній практиці.

Акумуляування теплової енергії потрібно розглядати за складовими циклами – період накопичування (зарядки) і період віддачі тепла (розрядки).

В процесі створення такого акумулятора потрібно враховувати властивості матеріалу, з якого він виготовляється.

### **Обмін тепла шляхом конвекції**

Фізичним явищем, дуже важливим для акумуляування тепла є явище конвекції, що полягає у передачі теплової енергії за рахунок руху середовища.

Є два типи цього явища: вільний рух рідин чи газів і примусовий за

допомогою активного обладнання – помпами, вентиляторами. Перший тип вільної конвекції виникає внаслідок різниці між рівнями густини холодних і гарячих зон. Активна конвекція – дуже складний процес, залежний від багатьох чинників: типу середовища, температури, форми поверхні. Розрахунок алгоритму – доволі складна справа, і тому на практиці використовують безрозмірні залежності в описі теплообміну, які базуються на теорії подібності.

### **Системи акумулювання енергії в аспекті процесів зарядки (накопичення) і розрядки**

Циклічність роботи акумуляторів теплової енергії потрібно розглядати з позицій теплової кінетики як дві функції: нагрівання (процес зарядки) і вистигання (процес розрядки). Існує також можливість проміжної функції – процес зарядки з одночасним відбором тепла. Ці фактори впливають на температуру середовища і, відповідно, залежать тільки від часу.

Враховуючи наведені твердження, процес зарядки можна обмежити до безпосереднього нагрівання середовища або маси  $m$  матеріалу, який акумулює тепло і у стабільному стані має об'єм  $V$ , площу поверхні  $S$  і визначену питому теплоту  $c$ , яку потрібно покрити термічною ізоляцією товщиною  $\delta$  з площею поверхні  $S_i$  з відповідного термоізоляційного матеріалу  $\lambda$ .

Середовище (акумуляційна маса) нагромаджує тепло постійної або змінної потужності  $P$  або  $P_z$ . Температура оточення постійна –  $v_0$ . У такій системі в більшості варіантів надається перевага ізоляції, оптимальній для лінійних розмірів  $\lambda$  в діапазоні 20÷30 з параметрами 0,033 Вт/м. В такому випадку можна прийняти  $S \approx S_i$ .

Потужність  $P$  використовується в основному для нагрівання носія або паралельно і для опалення. Незначна її частина втрачається як тепловтрати крізь ізоляцію в оточення.

На практиці потрібно враховувати різну тривалість процесів зарядки і розрядки. Під час зарядки коефіцієнт засвоєння теплової енергії повинен бути малим – для максимального нагромадження енергії. Під час розрядки вин потреба у збільшенні потужності цього процесу, що можна регулювати шляхом примусового руху теплоносія за допомогою циркуляційної помпи.

Якщо внутрішній опір провідності є настільки великим, що нагрівання акумуляційної маси не можна вважати рівномірним, то розрахунки суттєво ускладнюються, потребуючи розв'язків алгоритму теплопровідності.

На практиці це стосується акумулювання тепла середовищем зі змінними фазами, наприклад парафіном, солями Na і K.

Геометричні форми акумулятора можуть бути подібними до плити, циліндра, кулі. Якщо акумулятор виконаний у формі плити, то висота і довжина будуть значно більшими від товщини; з огляду на теплообмін товщину можна визнати за нескінченно широку. Так само і з циліндром – якщо висота циліндра набагато більша від діаметра, то обміном тепла на його торцевих поверхнях можна знехтувати і вважати циліндр нескінченно довгим. Подібні приклади невизначеної (нефіксованої) теплопровідності можна розглядати аналітичним способом або зозастосовувати числові методи, які дають складні (незручні) результати визначення середніх оптимальних величин.

### **Теплові "накопичувачі" – плити і перегородки**

До теплових накопичувачів можна віднести нагрівні плити, зокрема – підлогове опалення, теплові серцевини (активні зони) будівельних перегородок, акумуляційні підфундаментні плити.

### **Підлогове опалення**

Конструкція так званої "теплої" підлоги принципово відрізняється від конструкцій типових акумуляторів тепла. Така підлога постійно "віддає" тепло для обігрівання приміщення, не затримуючи накопичене тепло надто довго. Однак його подачу

можна регулювати – рідинний теплоносіє віддає тепло із зовнішніх джерел, передаючи його бетонній плиті. Як джерело енергії можна використовувати резисторні електронагрівачі або нагрівальні мати. У кожному випадку швидкість процесу розрядки (віддачі) тепла у приміщенні залежить від температури повітря опалюваного приміщення і значною мірою, — від актуальних теплових втрат.

Схеми "теплих" підлог, як й інші аналогічні схеми, конструкційно є багатошаровими й неоднорідними. Зазвичай виконують три функціональні шари. Основним "накопичувачем" тепла в таких підлогах є плита, як правило, із завоєваними нагрівальними трубами або кабелями. Цю плиту вкладають на ізолювальний шар, який обмежує потік тепла в основу. У конструкціях подібного типу є і гідроізоляційні шари.

Система підлогового опалення з акумулюванням тепла є низькотемпературною. До приміщення віддається тепло з температурою приблизно 25-35°C, – така невисока температура диктується фізіологічними потребами людини.

Підлогове опалення з акумулюванням тепла – це "площинне" обігрівання. Дуже важливим фактором у системах такого типу є температурна стабільність плити. Тут надзвичайно важливе значення має товщина бетонної плити, яка акумулює тепло. У системах із застосуванням води як теплоносія товщина може бути меншою, що пояснюється значною теплоємністю води.

### **Сонячні системи з акумулюванням тепла**

Можливості акумулювання тепла потрібно якнайширше використовувати в найрізноманітніших сферах, насамперед з огляду на дефіцитність традиційних на сьогодні енергоносіїв – нафти, газу, вугілля. Сонце і теплові багатства Землі вже на сучасному етапі спроможні забезпечити сталу подачу енергії – не тільки теплової, а й електричної *PV*.

Акумулювання цієї енергії відбувається безперервно мільйони років і власне Земля є найбільшим акумулятором тепла. А Сонце природним чином постійно

постачає тепло і світло – ці два середовища в наш час можуть ефективно служити людству.

Тепло, яке випромінюється на Землю, нагріваючи не лише її атмосферу, а й все створене людиною, зокрема і споруди, називається "пасивним" теплом. Енергію із сонячного випромінювання можна отримувати за допомогою сонячних колекторів, теплоносієм в яких може бути вода або антифризи. І звичайно, це тепло можна накопичувати.

Обігрівання такого типу має багато переваг:

- відсутність видимих нагрівальних чи навіювальних приладів;
- безшумність роботи;
- легкість регулювання;
- низька ціна системи;
- оптимальна температура на малій висоті, що особливо вигідно для об'єктів громадського користування (сакральні споруди, музеї, конференц-зали тощо).

Подібні системи найдоцільніше використовувати для об'єктів із високими приміщеннями. До недоліків таких систем можна віднести високу вартість електроенергії та складність їх застосування на вищих рівнях з огляду на вагу бетонної основи.

Кращі економічні показники можна отримати, застосовуючи як теплоносій воду та постачаючи тепло від газового котла або теплової помпи. Власне це і забезпечують акумулятори тепла!

У помірній кліматичній зоні можна отримувати від сонця близько 500 кВт·год/м<sup>2</sup> теплової енергії. Її можна відразу ж використовувати для нагрівання води до 50-60°C, а надлишок енергії – зберігати в акумуляторах тепла.

Енергія Сонця, що потрапляє на Землю, нагромаджується у земній корі на глибині = 5 м.

Отже, енергія з низькими тепловими параметрами, акумульована у ґрунті, є другим, поза Сонцем, потужним джерелом, придатним для використання на всій планеті. Найбільш використовуваним обладнанням для її вивільнення

вважається теплова помпа. Влаштуваючи штучні акумулятори, ми лише моделюємо власними руками те, що є в природі. І власне у цьому полягає мистецтво існування у злагоді з природою – отримувати з неї енергію, нічого не руйнуючи і не виснажуючи її багатств.

Вигоди від застосування альтернативних джерел енергії для регіонів пов'язані також з тим, що їх можна розміщувати поряд із безпосередніми споживачами, тим самим отримуючи ефект за рахунок економії на прокладку мереж [25].

Враховуючи те, що кожен із регіонів України має різні можливості для розвитку певних видів альтернативної енергетики, доцільно розробити регіональні стратегії з питань розвитку відновлюваної енергетики як стратегічної галузі, враховуючи особливості регіонів та можливі перспективи розвитку певних видів альтернативної енергетики у кожному з них. Регіональні стратегії розвитку відновлюваної енергетики мають бути узгоджені з енергетичною стратегією України [20].

Необхідно враховувати мінливий характер альтернативних джерел енергії та комплексно підходити до вивчення потенційних можливостей різних регіонів.

Для ефективного планування енергетики на основі відновлювальних джерел енергії необхідно проводити: систематичне дослідження довкілля, аналогічне дослідженням геологічного характеру при пошуках нафти і газу; вивчати потреби конкретного регіону для побутового, сільськогосподарського та промислового виробництва. Щоб обрати найбільш економічне джерело енергії важливо знати структуру споживачів енергії. При обробці проектів необхідно виходити з наявності відновлюваних джерел енергії у відповідній місцевості [2]. Отже, Україна має потужний потенціал для покриття енерговитрат як промислового так і приватного сектора. Для визначення енергетичного потенціалу різних видів альтернативних джерел енергії на території нашої країни, варто проводити систематичні регулярні та

довготривалі дослідження. Необхідно спочатку визначити весь наявний потік енергії, а потім виділити ту її частину, яку можна буде використовувати для ефективної роботи вітрових або сонячних установок для забезпечення енергетичних потреб.

#### **1.4. Відновлювальні джерела енергії у приватних домогосподарствах України**

*Таке питання виникає сьогодні у кожної людини, яка вкладає гроші в будівництво.*

*Раніше – в умовах низьких цін на паливо – будівельники зосереджували увагу передусім на міцнісних характеристиках споруджуваних будівель та на їх зовнішньому вигляді.*

Централізоване теплопостачання, постійне збільшення кількості районних котелень покривали всі потреби в опаленні, плата за яке стягувалася лише з огляду на площу обігрівання незалежно від теплових втрат. Гасло архітекторів тих років – сталь, скло, бетон! – викликає нині легкий м'яко кажучи, подив.

Ситуація змінилася за лічені роки – з появою у країні нових відносин між споживачем і виробником. Тепер це відносини між продавцем і покупцем. І хоча продавцем енергоресурсів залишилася все та ж держава, покупець різко відчув кардинальні зміни. І не просто внаслідок безупинного зростання вартості такого доступного раніше товару – тепла, а й з причини повної залежності від волі продавця-монополіста та непередбачуваності стрибків ціни на тепло.

Ніхто в наш час не може прогнозувати рівень цін на енергоносії взагалі, а в нашій країні особливо. Але в тому, що вони будуть зростати і в подальшому, не сумнівається, напевно, ніхто.

Власне тому доцільніше витратити кошти один раз – на теплоізоляційні матеріали і технології та бути захищеним від витрат на опалення в майбутньому. Втім, чому тільки на опалення? Системи кондиціонування в

літню пору також потребуватимуть набагато менше витрат та довше зберігатимуть прохолоду в будинку. Щоб не бути голослівними, наведемо деякі цифри.

Так, 1 червня 1996 року в Росії набули чинності нові вимоги до теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій (стін, даху, вікон). Наскільки ж дотримання цих вимог знизить витрати на опалення? І наскільки нові вимоги перевершують старі? З таблиць 3 і 4 видно, що, дотримуючись нових правил, зі зміною конструкції стін є можливість зменшити загальну кількість цегли в півтора рази. При цьому втрати тепла зменшаться більш ніж утричі. На прикладі таблиць 1 і 2 видно, що влаштування якісного теплозахисту дає змогу заощадити до 50% енергії, що витрачається на опалення і обігрів будинку площею близько 200 м<sup>2</sup>, витративши 15 кВт замість 30.

**Таблиця 1.** *Втрати тепла типового 2-поверхового будинку з мансардою, загальною площею 205 м<sup>2</sup>, утепленого відповідно до колишніх норм*

Елементи, конструкції будинку	Стіни	Вікна	Дах	Підлога	Двері	Витрати тепла на вентиляцію	Необхідна потужність системи опалення
Втрати тепла, Вт	12400	6734	4164	1917	1144	3655	29945

**Таблиця 2.** *Втрати тепла типового 2-поверхового будинку з мансардою, загальною площею 205 м<sup>2</sup>, утепленого відповідно до нових норм*

Елементи, конструкції будинку	Стіни	Вікна	Дах	Підлога	Двері	Витрати тепла на вентиляцію	Необхідна потужність системи опалення
Втрати тепла, Вт	3517	5142	1116	1154	830	3656	14345

Отже, ми з'ясували, що зменшити витрати на опалення можна, змінивши конструкцію стіни. Якою ж вона повинна бути?

Спочатку трохи теорії.

Теплозахисні властивості огорожувальної конструкції залежать від її товщини та коефіцієнта теплопровідності матеріалу, з якого вона виготовлена.

Якщо стіна складається з декількох шарів (наприклад, цегла – утеплювач – цегла), то її термічний опір складатиметься з коефіцієнтів теплопровідності, наведених у таблиці 3.

**Таблиця 3.** Опір теплопередачі різних видів огорожувальних конструкцій

Конструкція	Опір теплопередачі $R$ , м <sup>2</sup> ·°C/Вт	Втрати тепла, Вт/м, через огорожувальні конструкції за $t_1 = 20^\circ\text{C}$ і $t_2 = -28^\circ\text{C}$
Стіна зі звичайної глиняної цегли товщиною 510 мм на цементно-піщаному розчині з внутрішньою і зовнішньою штукатуркою	0,85	56,5
Дерев'яна стіна товщиною 200 мм	1,27	37,8
Тришарова цегляна стіна зі звичайної глиняної цегли товщиною 380 мм з утепленням плитами з мінеральної вати "Лайт батс" товщиною 120мм	3,2	15

Як з'ясувалося, одношарові цегляні або шлакобетонні стіни товщиною 500-650 мм забезпечують рівень теплозахисту, приблизно утричі менший від необхідного. Високі характеристики, відповідні сучасним вимогам, мають тришарові огорожувальні конструкції, де між зовнішніми і внутрішніми стінами, з'єднаними гнучкими зв'язками (у вигляді захищених від корозії арматурних або склопластикових стрижнів або каркасів у горизонтальних швах кладки), прокладено шар теплоізолювального матеріалу.

Матеріал стінок, що забезпечують міцність конструкції, питань не викликає: він є вже традиційним (цегла, стінові панелі, шлакоблоки). А от асортимент утеплювального матеріалу – досить різноманітний і за видами (мати, плити, рулони), і за назвами, виробниками та ціною. Так, м'який пористий утеплювач із мінеральної вати або скловолонна зручний при заповненні порожнин складної конфігурації, а тверді утеплювачі (пінопласт, піноізол, пінополіуретан) у вигляді плит різних розмірів – більш технологічні. Всі подібні матеріали не горючі, пожежобезпечні, високогігієнічні. Пористі теплоізоляційні матеріали розрізняють і за призначенням: одні більш придатні для утеплення трубопроводів і резервуарів у промисловому будівництві, інші – для внутрішніх перегородок будинку; виготовлені з елементами парозахисту – для використання у вентильованих фасадах. Крім того, що подібні матеріали добре зберігають потрібну температуру всередині приміщень, вони є відмінним звукоізолятором, завдяки чому підвищується комфортність і якість житла. Що стосується коефіцієнта теплопровідності, то він у всіх матеріалів такого типу аналогічний (таблиця 4). Необхідно лише відзначити, що коефіцієнти теплопровідності пористих мінеральних утеплювачів подані у вимогах для їх сухого стану, тому *u* умов експлуатації в районах середньої смуги їх значення за природної вологості необхідно збільшувати приблизно в півтора рази.

**Таблиця 4.** Коефіцієнт теплопровідності різних матеріалів

Матеріал	Густина, кг/м <sup>3</sup>	Коефіцієнт теплопровідності в сухому стані, Вт/(м·°С)
Кладка з глиняної цегли на цементно-піщаному розчині	1800	0,55
Залізобетон	2500	1,69
Деревина	500	0,09
Плити з мінеральної вати	40-110	0,038-0,047
Полістиролбетон	150-600	0,055-0,145
Неавтоклавний пінобетон	300-1200	0,08-0,38

Якщо у приміщенні коливання температури нечасті й незначні (наприклад у житловому будинку), – утеплювач слід монтувати ближче до зовнішньої і верхні, захищаючи його від атмосферної вологи плівками, а від опадів – сайдингом, вагонкою або іншим захисним покриттям.

Стіни будинку, який використовується час від часу (майстерні, підсобні приміщення, лазні), слід утеплювати якнайближче до внутрішнього боку зменшення кількості тепла й економії часу на обігрів приміщення. В цьому випадку зменшуються витрати енергії, що йде на прогрів основного масиву стіни, тобто матеріалу, який споживає в 15-20 разів більше тепла, ніж тонкий шар утеплювача. Такі конструкції обов'язково потребують доброї внутрішньої пароізоляції утеплювача, тому що вологість у приміщенні завжди вища, ніж зовні. Крім того, у всіх приміщеннях будинку необхідно передбачити вентиляцію, здатну забезпечити достатній повітрообмін – в обсягах не менших, ніж вимагають санітарні норми.

Попри всі переваги, багатошаровим огорожувальним конструкціям властиві й певні недоліки, що знижують їх ефективність. Власне тому застосовувати багатошарові конструкції у будівництві доцільніше при реконструкції існуючих будинків і споруд, які не відповідають вимогам теплотехнічних норм. Варто зазначити, що багатошаровим огорожувальним конструкціям притаманна більша трудоємність зведення та мала повітропроникність, теплотехнічна неоднорідність і, нарешті, імовірність конденсації вологи між різними шарами стіни. Все це – серйозні недоліки багатошарових композицій.

Теплотехнічна однорідність одношарових огорожувальних конструкцій в 1,3-1,5 разів більша, ніж у багатошарових. Тут варто зауважити, що, на жаль, проблема довговічності різних типів утеплювачів у багатошарових конструкціях недостатньо вивчена. Тому сучасне капітальне будівництво розвивають саме у напрямку зведення одношарових (а не багатошарових) огорожувальних конструкцій.

З-поміж сучасних будівельних матеріалів, які відзначаються високими по-

казниками теплового опору та незначною густиною, а отже які є оптимальним матеріалом для виконання теплоефективних одношарових огороджувальних конструкцій, можна виділити ніздрюваті бетони (газобетон, пінобетон) і бетони на легких заповнювачах (полістиролбетон, вермикулітобетон). Характерно, що для цих матеріалів за середньої густини  $600 \text{ кг/м}^3$  коефіцієнт теплопровідності в середньому становить  $0,14-0,145 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ , що дає можливість створювати огороджувальні конструкції, які забезпечують необхідний тепловий опір за помірної товщини зовнішніх стін.

Отже, розглянувши основні види енергоощадних матеріалів, застосовувану сучасному будівництві, можна виділити найбільш оптимальні сфери їх застосування. Так, для реконструкції існуючих будинків, попри значну трудоемність, найдоцільніше використовувати утеплювачі на основі пінополістиролу і волокнистих мінеральних плит. Однак у капітальному будівництві або в разі складної реконструкції будівель (наприклад, у випадку надбудови додаткового поверху, влаштуванні мансарди тощо) доцільніше застосовувати одношарові огороджувальні конструкції на основі теплоефективних будівельних матеріалів (пінобетон, газобетон, полістиролбетон).

## 2. Стан, потенціал і перспективи розвитку теплонасосної техніки

Важливе місце в паливно-енергетичному балансі (ПЕБ) країни, зокрема міст і інших населених пунктів, посідає низькотемпературне тепло. Найбільше його витрачають на комунально-побутові потреби промислових підприємств, житлового сектору та комунально-побутової сфери. На опалення і гаряче водопостачання витрачається близько 30 % палива, при цьому понад 45 % тепло- споживання покривають за допомогою ТЕЦ, великих районних і виробничих котелень, експлуатація яких пов'язана з істотним негативним впливом на екологію.

За цих умов, а також у зв'язку зі зростанням вартості палива і його дефіцитом, усе важливішим стає залучення вторинних енергоресурсів до ПЕБ. У промисловості досягнуто певних успіхів в утилізації високотемпературних ВЕР - рідин із температурою понад 150 °С і газів температурою більше 150-200 °С. Натомість практично не реалізується утилізація низькопотенційної теплоти. У загальному об'ємі ВЕР низькотемпературні джерела за теплою становлять близько 50 %. «Теплові річки» охолоджувальної води конденсаторів турбін, охолоджувальні середовища генераторів, скидні теплові стоки підприємств, станцій аерації, теплові відходи виробництв агропромислового комплексу та ін., що містять тисячі МВт енергії, викидаються в довкілля, погіршуючи несприятливу екологічну обстановку в містах і промислових центрах.

Основним чинником, який стримує утилізацію скидної теплоти, є її порівняно низький температурний потенціал. Із цієї ж причини не використовують необмежені джерела теплоти, розсіяні в землі, ґрунтових водах і водах природних водоймищ та в атмосферному повітрі.

Особливу увагу привертають теплові насоси - установки, які завдяки витраті невеликої кількості електричної енергії дають змогу підвищити потенціал тепла зазначених низькотемпературних джерел до необхідного

рівня. На сьогодні теплові насоси є найперспективнішими теплоенергетичними установками, що ефективно використовують низькотемпературну теплоту.

Теплові насоси (підвищувальні термотрансформатори) - це пристрої (машини), які поглинають теплоту довкілля для подальшої передачі її тілу з вищою температурою. Отже, тепловий насос - це пристрій, який дає змогу передати теплоту від холоднішого тіла до більш нагрітого, використавши додаткову енергію. Застосування теплових насосів здається одним із важливих шляхів утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів.

Як відомо, теплота низького потенціалу є продуктом технічної діяльності людини, причому чим нижчий її температурний рівень, тим більше цієї теплоти безповоротно втрачається, розсіюючись у довкілля. Прикладом носіїв такої теплоти може слугувати нагріте повітря, що йде в атмосферу з систем вентиляції та кондиціонування, або теплі побутові і промислові стічні води, що мають температуру приблизно 20-40 °С. Досить часто єдиним економічно виправданим способом утилізації теплоти таких вторинних енергетичних ресурсів є застосування теплових насосів, котрі можуть використовувати як теплоту, вироблену в різних технічних пристроях, так і теплоту природних джерел: повітря, води природних водоймищ, ґрунту.

Головна сфера застосування теплових насосів у наш час - нагрівання теплоносія для систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання будівель. Проте їх можна використовувати і в технологічних цілях.

Теплові насоси розрізняють щонайперше за способом перетворення теплоти. Типи теплових насосів, які збігаються з типами холодильних установок (оскільки реалізують один і той самий термодинамічний цикл), поділяють на парокомпресійні, газокомпресійні, сорбційні, пароежекторні й термоелектричні.

Інший важливий вид класифікації теплових насосів ґрунтується на типі

джерел енергії, який використовують для перетворення теплоти. Це може бути електродвигун, газова турбіна, двигуни внутрішнього згорання, механічна енергія струменя пари тощо. Часто теплові насоси розділяють за видом робочого агента (фреонові, аміачні, повітряні та ін.) і типом теплоносіїв, які віддають і сприймають теплоту.

Вимоги до енергозберігаючих будинків принципово не відрізняються від вимог до традиційного будівництва. Однак в енергоощадному будівництві водночас зі зниженням потреби в енергії, необхідної для ефективного обігріву приміщень такі фактори як принцип роботи, форма, тип системи все менше впливають на комфортність мікроклімату. Натомість пріоритетними стали завдання надійного захисту конструкцій і системи опалення в цілому (котел, розподільна мережа, теплоаккумулятори, арматура тощо) від тепловтрат та можливість точного регулювання температури у приміщеннях залежно від потреб мешканців.

Зменшення потреби в енергії – чинник спрощення системи опалення, що має бути результатом нескладної схеми розташування приміщень у будинку. Потрібен аналіз запланованих компонентів системи, зокрема бойлерів і теплообмінників, котрі сповільнюють регулювання, так само як і надмір теплопровідних труб і радіаторів.

За недостатньо утеплених і негерметичних зовнішніх огороженнях традиційних будинків навіть висока температура у приміщенні не забезпечувала комфорту в холодну пору року. Тепловтрати можна було дещо компенсувати тільки потужними обігрівальними приладами, декількома обігрівачами (кахляними печами, радіаторами з великими нагрівальними поверхнями) або застосуванням підлогового чи стінового обігрівання. В енергозберігаючих будинках з якісною теплоізоляцією та герметичними зовнішніми огороженнями такі проблеми не виникають. Завдяки рівномірному розподілу тепла у приміщеннях таких будинків не надто важливо, де встановлено радіатори (у традиційних радіатори

встановлювали по під вікнами – для компенсації підвищених тепловтрат через нещільності у цій зоні приміщення; водночас значні обсяги енергії витрачалися на нагрівання зовнішніх огорожень, через які чимала частка тепла "тікала" надвір – тепловтрати внаслідок великої різниці температур по обидва боки цього огороження), приміщеннях, де причини високих тепловтрат усунуто, радіатори можна монтувати навіть на внутрішніх стінах. Винятком із цього правила може бути застосування витяжної вентиляції у зоні вікна, – в такому випадку припливне повітря потребуватиме нагрівання. Те ж саме відбуватиметься, якщо у приміщеннях є великі двошибкові вікна. Якщо ж вони будуть тришибовими – розподіл тепла в їх буде достатньо рівномірним.

Система розподільних трубопроводів не мусить бути розбудованою, що зменшує вартість енергозберігаючого будівництва.

Вищі температури на внутрішніх поверхнях зовнішніх огорожень дають змогу знизити температуру в приміщеннях без шкоди для мікроклімату, оскільки тепловий комфорт, який відчуватиме споживач, буде результатом середнього значення температур – на поверхні стін і внутрішнього повітря. Це сприятиме значній "економії коштів на опалення.

Завдяки зменшенню тепловтрат можна сміливо обмежити габарити радіаторів, що відчутно зменшить вартість системи опалення. Крім того, невелика потреба теплової енергії дає змогу прокладати низькотемпературні теплові мережі, що відзначаються високою ефективністю і мінімальними тепловтратами, не викликають посиленої циркуляції повітря, тобто не спричиняють руху пилу, який викликає алергію і захворювання верхніх дихальних шляхів у споживачів.

### **Площинне обігрівання чи у припідлогових лиштвах?**

Обігрівання приміщень за допомогою великих поверхонь (систем підлогового опалення або прокладених вздовж стін) не можна вважати оптимальним рішенням в енергозберігаючому будівництві, оскільки вони

споживатимуть не виправдано багато енергії. До того ж прокладання труб у стінах, що розділяють приміщення, які потребують обігрівання, від тих, що не обігріваються, спричинятиме аж ніяк не виправдані тепловтрати, а втрати тепла у зоні перекриття над пивницями за температури 28°C можуть навіть подвоїтися. Заливання труб (підлогової системи опалення), якими рухається теплоносій, цементним розчином, – чинник інерційності системи, а отже недостатньо "оперативної реакції" на відхилення від заданого теплового комфорту (подовжується час для збільшення або зменшення подачі тепла, наприклад за різкої зміни погоди). Дещо краща ситуація, якщо система прокладена в сухому розчині, – вона меншою мірою акумулює тепло. Позитивом подібних рішень є можливість роботи в низькотемпературних системах, наприклад з помпою тепла, яка характеризується високим ККД.

Альтернатива стіновому обігріванню – системи опалення, прокладені у підлогових лиштвах, які працюють як теплова ізоляція на стінах, обігріваючи їх, а стіни, у свою чергу, випромінюють тепло до приміщення. Такі системи характеризується більшою гнучкістю, однак потребують більше теплової енергії, що також зумовлює більші тепловтрати. Власне тому не варто монтувати систему опалення у зовнішніх огороженнях. Чудовим варіантом обігрівання приміщень в енергозберігаючих будинках можна вважати радіатори невеликого об'єму (панельні, конвекторні), термостати яких дають змогу швидко і точно регулювати теплопродуктивність. Ці пристрої – відносно дешеві, їх легко монтувати, доглядати і замінювати.

### **Нагрівання припливного повітря**

Одним із чинників, що забезпечує зниження тепловтрат в енергозберігаючих будинках, є герметичність зовнішніх огорожень. Однак в такому разі необхідно забезпечити ефективну вентиляцію, яка б не тільки гарантувала приплив свіжого повітря, а й уможливила відбір тепла з відпрацьованого повітря. Найкращим варіантом вважається система механічної припливно-

втяжної вентиляції з відбором тепла із відпрацьованого повітря (гравітаційна вентиляція, як переконують результати досліджень, неспроможна вирішити цю проблему на достатньому рівні). В деяких випадках завдяки наявності вентиляційних каналів можна навіть відмовитися від традиційного обігрівання приміщень, додатково підігриваючи припливне повітря для компенсації тепловтрат.

В енергозберігаючих будинках з показником сезонної теплової потреб  $E = 50-70$  кВт·год/м<sup>2</sup> іноді виникають проблеми, що ускладнюють, а часом і унеможливають зазначене рішення. Постачання необхідної кількості тепла потребує більших об'ємів повітря (як наслідок низької густини повітря у приміщенні), а отже – і більших перетинів каналів, ніж для звичайної вентиляції. Потреба у значних обсягах припливного повітря – обов'язково з частковим використанням внутрішнього повітря (дуже низька вологість холодного повітря під час обігрівального сезону) – диктує необхідність у додаткових фільтрах, а це, у свою чергу, вимагає встановлення більш потужного вентилятора. Регулювати обсяги надходження тепла можна тільки шляхом керування рівня подачі свіжого повітря в окремі приміщення. Тому в проекті слід передбачити більшу площу для системи вентиляції; вартість її виконання та експлуатації також зросте, а деякі проблеми так і залишаться.

Такий тип опалення придатний тільки для пасивних будинків з низькою потребою в обігріванні –  $E = 15$  кВт·год/м<sup>2</sup>, причому система механічної припливно-втяжної вентиляції з відбором тепла із відпрацьованого повітря виконуватиме функцію аварійного обігрівання.

### **Умови ефективності системи опалення**

Елементи системи опалення в енергозберігаючому будинку повинні працювати тільки тоді, коли є потреба в теплі. Тепловтрати системи необхідно мінімізувати, обмеживши довжину трубопроводів, забезпечивши труби та всі компоненти системи якісною ізоляцією (через недостатню ізоляцію

тепловтрати можуть зрости у 5-10 разів).

Систему опалення доцільніше монтувати в тепліших зонах приміщення; якщо ж певні елементи необхідно встановити поза цією зоною, то їх слід особливо старанно захистити від тепловтрат, так само як і трубопроводи, прокладені в перекриттях і огородженнях.

Найоптимальніший розподіл тепла забезпечать двотрубні зіркоподібні системи опалення, в яких кожен радіатор приєднаний до стояка окремо (теплоносій подаватиметься тільки до радіаторів, якими у даний момент користуються). Якщо теплоносій рухається за обвідною схемою вздовж зовнішніх стін, то тепло може надходити у приміщення, які в даний час не потрібно обігрівати.

Недостатньо врахованим джерелом тепловтрат у системі є циркуляційні помпи. В енергозберігаючому будинку такі помпи часто потребують до 10% енергії, що витрачається на опалення (за результатами досліджень, в одно- і двосімейних будинках зафіксовано в середньому 170% перевищення необхідної потужності помп; у багатосімейних – 240% перевищення порівняно з необхідною розрахунковою потужністю). Щоб відчутно знизити витрату енергії, необхідно забезпечити точне регулювання роботи помп відповідно до потреб.

Заощаджувати енергію допоможе і правильно спроектована і відрегульована система розводки.

### **Котел і економія енергії**

Чималий енергоощадний потенціал системи опалення можна передбачити ще на етапі її проектування.

Метою оптимізації виробництва енергії є забезпечення потреби в енергії для опалення найпростішим способом з максимальним використанням первинної енергії палива та з якнайменшою шкодою для довкілля.

Продуктивність усіх традиційних котлів, в яких підтримується постійна температура теплоносія (на виході – 90°C, на вході – 70°C), складає близько 72-75%. Низькотемпературні й конденсаційні котли характеризуються набагато

вищою продуктивністю: 90-95% і 102-107% відповідно. На рисунку 1 схематично відображено енергетичний баланс низькотемпературних і конденсаційних котлів порівняно з традиційними.

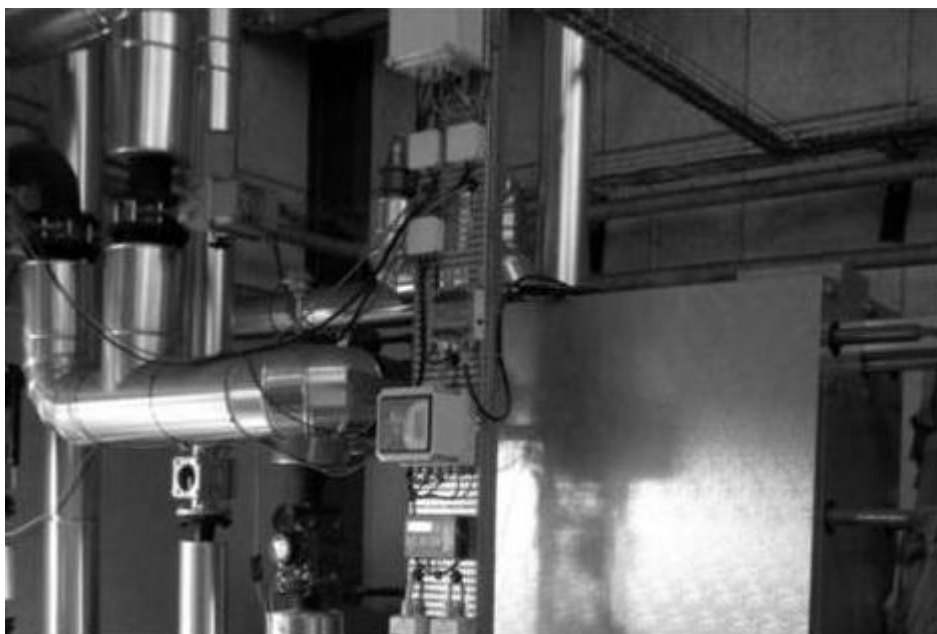


Рис. 4. *Продуктивність котлів різних типів: традиційного, сучасного низькотемпературного і конденсаційного*

Температура теплоносія в системах опалення з низькотемпературними котлами коливається, залежно від зовнішньої температури, у межах 40-70°C. За таких умов ККД котлів досягає навіть 95%. Зазвичай низькотемпературні котли працюють на природному і зрідженому газі або на рідкому паливі. Для котлів потужністю до 35 кВт рекомендується використовувати більш економічне рідке паливо (паливні оливи). Важливою перевагою таких агрегатів, крім незначної витрати палива та високої продуктивності, є незначний рівень забруднення відпрацьованих газів. Використання в них погодної автоматики дає змогу додатково заощаджувати до 30% енергії!

### **Конденсаційні котли**

Конденсаційні котли (рис. 4) – новітнє покоління техніки з особливо високим

ККД для систем опалення. Вже назва вказує на принцип їх роботи: отримання тепла з водяної пари (яка є компонентом відпрацьованих газів). Усі викопні енергоносії (вугілля, нафта, природний газ) у своїх хімічних сполуках мають атоми водню, тому при спалюванні викопних видів палива утворюється, крім двоокису вуглецю, і водяна пара. Пара під час конденсації віддає так зване приховане тепло. Тому при використанні в котлах газу можна отримувати до 11% енергії в процесі охолодження продуктів згорання до 0°C. На практиці до такої температури відпрацьовані гази не охолоджуються, тож насправді з водяної пари можна отримати 5-8% енергії.



Рис.5. Сучасний двофункційний конденсаційний котел

Загалом продуктивність конденсаційних котлів може сягати 105% і більше – завдяки застосуванню в них досконалих інноваційних технологій (зокрема теплообмінників) та використанню тепла конденсації водяної пари.

При спалюванні газу утворюється слабокислий конденсат, який найдоцільніше відводити у каналізацію. Конденсат, що утворюється при згоранні рідкого палива, містить сильно сульфатизовані кислоти, тому потребує спеціальної утилізації. Для цього служать системи нейтралізації кислот, які виробники зазвичай постачають V комплекті з котлом. Оскільки конденсат часто містить кислоти, сучасні котли виготовляють із кислотостійких високоякісних гатунків сталі. Важливо, що такі котли не потребують традиційних коминів – цілком достатньо труби для відведення продуктів згорання.

Конденсаційні котли придатні для роботи в умовах низької температури теплоносія – у межах 30-60°C, тож їх вигідно застосовувати у системах підлогового обігрівання.

### **Котли, що працюють на деревині**

Такі котли (рис. 6) належать до категорії техніки з мінімальним викидом шкідливих продуктів згорання, тому такі агрегати цілком обґрунтовано вважають екологічно безпечними.

Котли що працюють на деревині, зараховують до обладнання з нульовою емісією двоокису вуглецю, оскільки він поглинається рослинами. Конструкції котлів на деревину споживають чималі об'єми палива, причому – і це можна вважати їх недоліком – потребують періодичного завантаження. Власне тому нині користувачі віддають перевагу котлам, в яких процеси подачі й завантаження палива автоматизовані. Для сучасних котлів на деревину паливом служать так звані пелети (рис. 6, з нім.: *Pellets – пелети*) – брикети зі спресованої тирси і стружки або із соломи, у формі невеликих циліндрів діаметром кілька міліметрів і довжиною кілька сантиметрів. Пелети транспортуються цистернами, як і рідке паливо. В котел вони автоматично завантажуються через труби зі шнеком – відповідно до потреби, а для їх подачі служать шнекові або вакуумметричні завантажувальні пристрої.

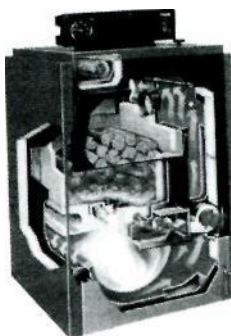


Рис. 6. Сучасний котел, що працює на деревині, з камерою згорання, розташованою в нижній частині

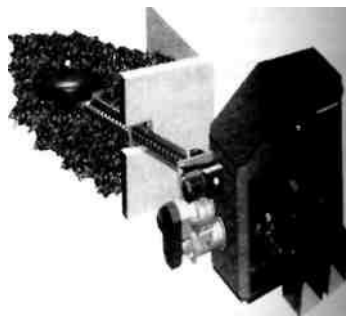
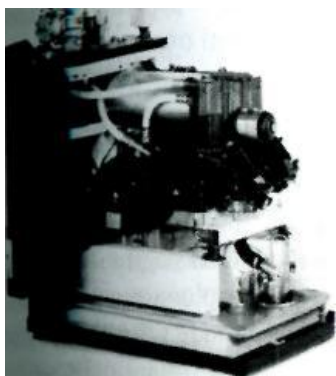


Рис. 7. Котел, що працює на пелетах із деревини, з автоматичним шинком завантажування палива

### Когенераційні апарати

Технологію когенерації, тобто одночасного виробництва тепла й електроенергії на теплоелектростанціях, застосовують у теплоелектрогенерувальній техніці.



Когенераційні агрегати (рис. 8) можна застосовувати всюди, де є необхідність у резервних джерелах живлення. Когенераційні агрегати придатні для роботи і на великих офісних об'єктах громадського користування, і в невеликих житлових і односімейних будинках.

Для приводу двигунів цих апаратів застосовується легке

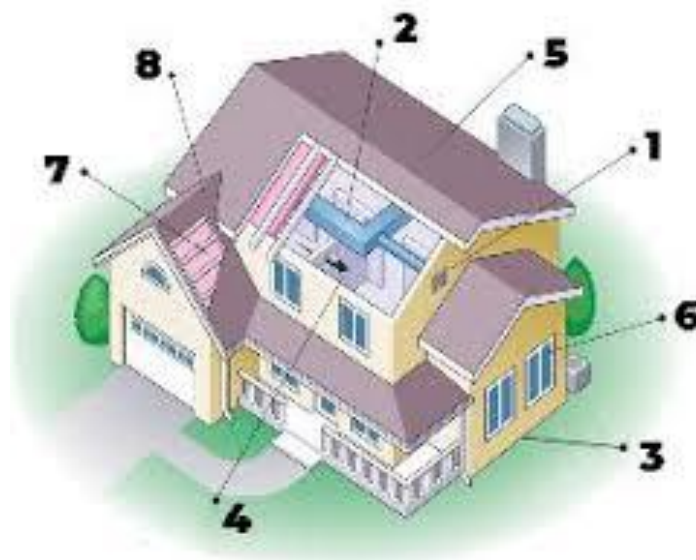
Рис. 8. Когенераційна установка для невеликих житлових будинків

рідке паливо або екологічно чисте, наприклад з ріпакової олії. Когенераційні агрегати випускаються у варіантах, розрахованих на природний газ, біогаз та зріджений газ – пропан. Ці установки не завдають шкоди довкіллю завдяки встановленим на відвідній трубі каталізаторам, характеризуються високою продуктивністю, малим споживанням палива, низьким рівнем забруднення відпрацьованих продуктів, тривалим експлуатаційним терміном – до 80000 год, високим коефіцієнтом перетворення первинної енергії у корисну – до 86-92% (причому застосування конденсатного економайзера може підвищити цей показник до 91-95%).

Застосування спільного програматора для керування роботою всіх пристроїв, які входять до складу теплоелектростанції, уможлиблює створення різноманітних схем роботи великої системи. Неоціненна особливість когенераційних установок полягає в тому, що в разі пріоритетної потреби в теплі вони вироблятимуть і електроенергію, але як побічний продукт, і навпаки. Когенераційна система здатна працювати безперервно, при цьому не тільки виробляючи електроенергію і тепло, а й забезпечуючи в разі необхідності їх акумулювання. Вартість виробленої такими системами електроенергії в 1,4-2 рази нижча від вартості енергії із електромереж; вартість теплової енергії така ж сама або дещо нижча від енергії, яку виробляють газові котельні.

### **Відновлювана енергія**

Відновлювані джерела енергії все сміливіше застосовують у системах опалення будинків. Найбільш придатна для цього енергія, постачання якої не залежить від примх погоди, пори року і часу доби. Власне тому дещо проблематичним вважається використання сонячного випромінювання та вітрової енергії для обігрівання. Ефективніше і дешевше застосовувати джерела енергії, які можна черпати з довкілля цілорічно, зокрема геотермальну енергію і акумульовану оточенням сонячну. Це може бути й енергія біологічного походження, наприклад біогаз. Для перетворення сонячної енергії в теплову використовуються різного типу колектори, а отримане тепло йде переважно на приготування гарячої води для побутових потреб. Для обігрівання сонячна енергія може використовуватися у бівалентних системах, – для початкового нагрівання теплоносія в системі опалення.



**Рис. 9.** *Енергозберігаючий будинок із сонячними колекторами на даху і сонячними комірками над балконами*

### **Теплова помпа**

Однією із найефективніших технологій використання сонячної енергії, збереженої у воді, ґрунті й повітрі, фахівці визнають теплову помпу. Вона споживає відносно небагато енергії (для роботи компресора й циркуляційної помпи), а отримати з її допомогою можна у 5 разів більше теплової енергії. Необхідну механічну енергію може забезпечити електричний двигун або двигун внутрішнього згорання. Температура, яка досягається за допомогою помпи тепла, дорівнює 55-60°C, і якщо спроектована система опалення не потребує вищої температури теплоносія, – теплову помпу можна експлуатувати як єдине джерело тепла у моновалентній системі. Теплові помпи тепла придатні і для роботи у бівалентних системах, де функції інших джерел теплової енергії виконують газові чи рідкопаливні котли або каміни.

Геотермальна енергія акумулюється у ґрунті й не залежить від сонячного випромінювання. Геотермічне тепло утворюється як результат розпаду радіонуклідів та руху тепла з ядра Землі до поверхні. Практичне використання цього теплового потоку залежить від конкретної локалізації, способу

використання і глибини свердловини. Так, свердловини глибиною 800-2500 м дають змогу видобувати тепло безпосередньо з ґрунту (рис. 10), а використання зондів на глибині 70-125 м потребує теплових pomp, і тут вже йтиметься про підповерхневі геотермальні джерела тепла.

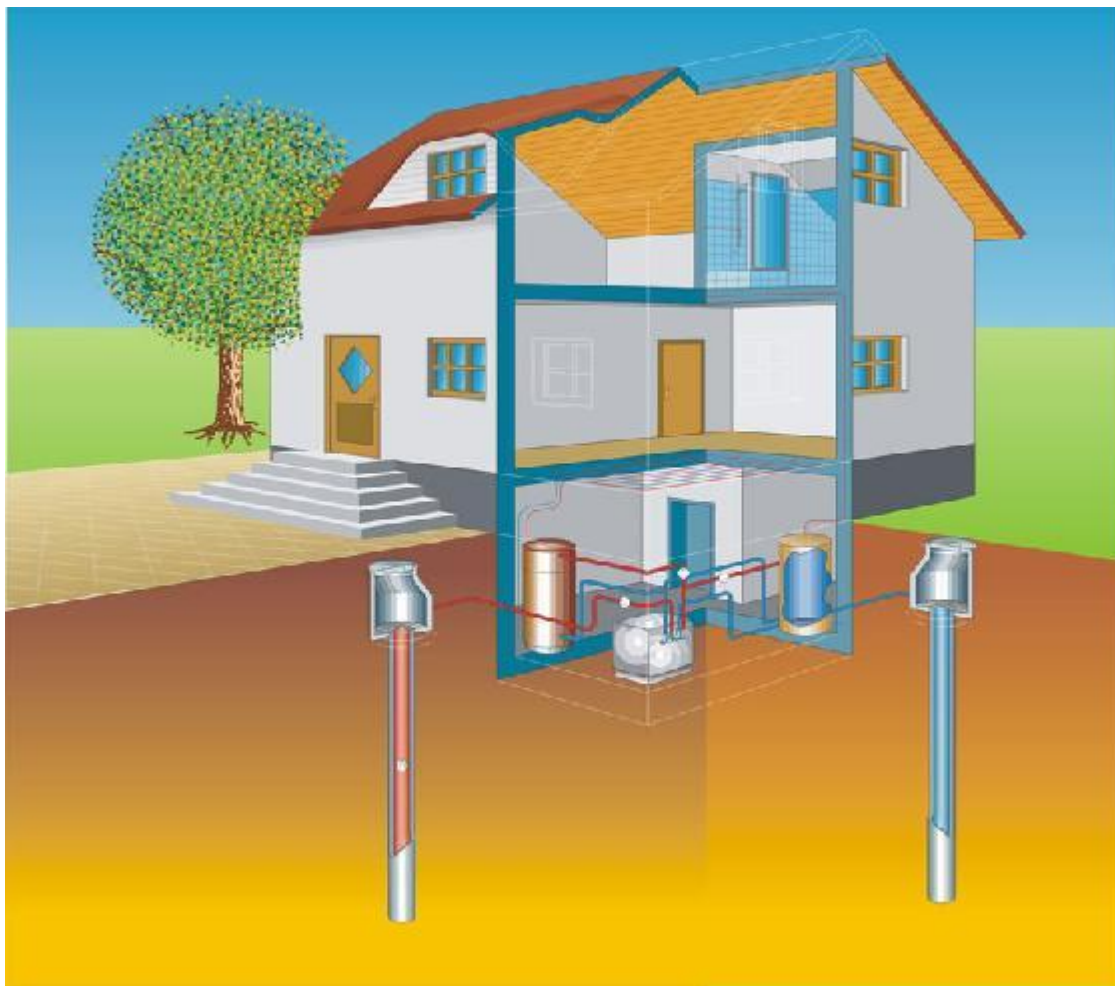


Рис. 10. Поділ систем використання низькотемпературних джерел відновлюваної енергії

- а) акумуляція переважно у вигляді теплової енергії;*
- б) перетворення у високотемпературні джерела;*
- в) конверсія та інші енергоносії (водень, паливо тощо);*
- г) біотехнологічне енергоносії*

Серед безсумнівних переваг геотермальних технологій – цілорічна доступність енергії, незалежно від пори року і погодних умов, причому всюди,

й абсолютна екологічна безпечність. Крім того, цей вид енергії не потребує транспортування.

### **Паливні комірки**

Паливні комірки, як батареї або акумулятори, належать до перетворювачів енергії, що з водню і кисню виробляють електричний струм. Однак, на відміну від акумуляторів, ця енергія не накопичується у комірці, а постійно відводиться назовні, тобто починає одразу "працювати". Вже декілька років випробовуються експериментальні автомобілі, двигуни яких приводяться у рух паливними комірками. Тривають і успішні експерименти з обладнанням такого типу для будівництва.

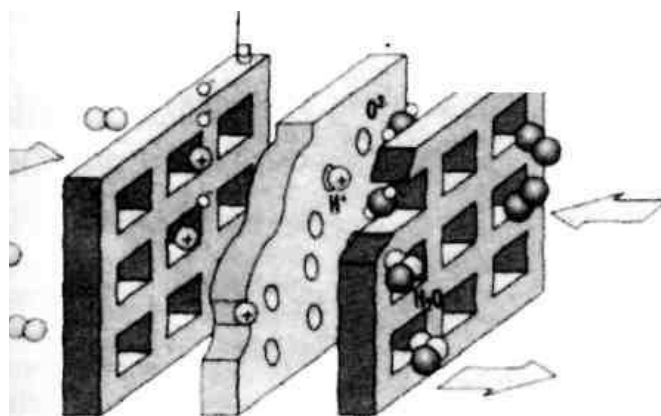


Рис. 11. *Принцип роботи паливної комірки*

Паливні комірки визнано однією з найефективніших та екологічно чистих енерготехнологій, яка у майбутньому має всі шанси стати одним з провідних напрямків розвитку електро- і теплоенергетики, зокрема в будівництві. Щоправда у цій сфері ще залишаються нерозв'язаними декілька проблем. Одна з них – висока вартість виробництва паливних комірок, що пов'язано із використанням благородних металів для виготовлення мембран. Не менш важлива проблема – необхідність підвищення довговічності пристроїв. Фахівці вважають, що за нинішніх темпів науково-технічного прогресу перші паливні комірки почнуть практично застосовувати до 2010 року.

Впровадження сучасних енергоощадних систем опалення стимулюється постанням цін на енергоносії, необхідністю економії викопних видів палива та вимогами до захисту довкілля. Висока ефективність нових систем опалення дає змогу продуктивніше використовувати первинну енергію та зменшувати вміст шкідливих субстанцій у продуктах згорання, завдяки чому знизиться емісія парникових газів в атмосферу. Активне використання у системах опалення нетрадиційних джерел енергії вже сьогодні переконує користувачів у перевагах таких технологій: відчутно покращується мікроклімату приміщеннях, знижується рівень забруднення навколишнього середовища попри постійне зростання обсягів виробленої енергії. Щоправда, нині не варто очікувати зниження цін на енергію, оскільки впровадження відновлюваних технологій пов'язане з чималими коштами, принаймні на сучасному етапі розвитку енергетики.

## **2.1. МІЙ БУДИНОК – ЕНЕРГООЩАДНИЙ (підсумки п'ятирічної експлуатації)**

*Др. інж. В'єслав Саросек у рамках власної роботи у Білостоцькій політехніці та за співпраці зі Спілкою виробників мінеральної і скляної вати MIWO дослідив – за підсумками п'ятирічної експлуатації будинку (від 6 грудня 2001 року) – можливості економії енергії для опалення будинку з одночасним забезпеченням теплового комфорту в ньому (в умовах Північно-Східної Польщі). Результат? Досягнуто експлуатаційного коефіцієнта сезонної потреби в енергії  $E$  нижче від  $40 \text{ кВт} \cdot \text{год на } 1 \text{ м}^2$ , що свідчить про можливість будівництва у наших умовах низькоенергетичних будинків, причому інвестиційні витрати збільшаться лише незначно. Вартість опалення окремо розташованого будинку площею  $180 \text{ м}^2$  на рівні 1500 злотих/сезон – переконливий аргумент на користь такого житла для мешканців багатоквартирних будинків, які оплачують набагато вищі рахунки за обігрів помешкань площею  $50\text{-}70 \text{ м}^2$ .*

Без сумніву, кожний потенційний господар власної оселі прагне звести не тільки гарний, зручний і функціональний, але й дешевий в експлуатації будинок. Оскільки найбільша частка видатків, пов'язаних із вартістю користування, складають рахунки за опалення (приблизно 80%!), – варто завчасно детально розрахувати, скільки енергії витратиметься на обігрів нового будинку. Тим більш, що є способи чимало зекономити...

Взірцем може служити енергоощадний (й енергозберігаючий) будинок, у котрому вже шостий рік поспіль ведуться облік і аналіз витрат енергії для опалення. Результати цих заходів дали змогу визначити основні енергетичні показники будинку.

Значної економії тут досягнуто завдяки збільшенню товщини термоізоляції зовнішніх стін, уникненню термічних містків, оснащенню будинку механічною вентиляцією, яка уможливорює відбір тепла (при додатковому використанні простого ґрунтового обмінника для початкового нагрівання вентиляційного повітря).

*Важливо! Витрати на перераховані нестандартні заходи повернулися протягом трьох обігрівальних сезонів.*

Енергоощадний будинок часто асоціюється з досить контраверсійними (незвичними, екстравагантними) архітектурними рішеннями, що не кожному подобається. Наприклад, з метою мінімізації тепловтрат подекуди стіни будинків частково обсіпають ґрунтом; трапляються будівлі з великими площами застакнення південного фасаду і практично без вікон на північному фасаді, з батареями сонячних колекторів на даху тощо. Декого відлякує думка про плутанину труб, що асоціюється з механічною вентиляцією і відбором тепла із вентиляційного повітря.



Зовнішній вигляд аналізованого будинку нічим не відрізняється від інших сучасних односімейних новобудов.

Досвід експлуатації цього будинку свідчить, що рахунки за опалення й гаряче водопостачання таких споруд приблизно однакової площі коливаються в межах 3500-6500 злотих.

Орієнтовна вартість будівництва 1 м<sup>2</sup> будинку склала близько 1800 злотих (будівництво тривало упродовж 1999-2000 рр.).

## Обмеження тепловтрат

Будинок характеризується компактними габаритами, без заломлень, ніш і навісів, які б спричинили невиправдане збільшення площі зовнішніх перегородок і, як наслідок, зростання тепловтрат. Так звані термічні містки, тобто місця із зниженою тепловою ізоляційністю, фактично ліквідовані з одночасним вирішенням деталей: порогів, балконних плит, підлоги на ґрунті, поєднання дерев'яних конструкцій даху зі стінами, встановлення віконної і дверної столярки.

Збільшення товщини ізоляції окремих зовнішніх перегородок дало можливість звести до мінімуму тепловтрати (тришарові стіни товщиною 47 см). Цьому ж сприяють герметичні вікна з низьким коефіцієнтом  $U$  (приплив необхідної кількості свіжого повітря забезпечує механічна вентиляція). Пасивне використання безплатної сонячної енергії поверхнями, заксленими з південного боку, та висока акумулювальна здатність стін сприяють додатковій економії енергоресурсів і коштів.

## Обігрівання: котел + камін

Камін потужністю близько 10 кВт обігріває загальну кімнату, кухню і коридор (з'єднані між собою приміщення без суцільних відокремлюючих стін чи дверей, тому тепло вільно циркулює між ними).

Два виходи теплого повітря, що знаходяться на другому поверсі, разом із теплим комином (димходом), змурованим з цегли-шамоту, дають змогу обігрівати практично всі приміщення. Подача теплого повітря до деяких горішніх приміщень сприяє тому, що камін є запасним джерелом тепла для всього будинку. Необхідне для спалювання повітря подається у камін знадвору.

Як і опалювальний котел, камін обладнаний системою подачі зовнішнього повітря до вогнища – камери згорання із можливістю регуляції потоку, – завдяки такому рішенню не порушується вентиляційний баланс.

### Основні параметри будинку

- односімейний двоповерховий окремо розташований житловий будинок без підвалів, з вбудованим гаражем;
- зведений неподалік лісу на околиці міста у північно-східній частині Польщі;
- традиційна технологія будівництва;
- компактні габарити;
- корисна площа опалення – 177 м<sup>2</sup>;
- загальний об'єм – 732 м<sup>3</sup>;
- зовнішні перегородки (головні елементи формування теплового балансу):
  - підлога на ґрунті (бетонна основа 10 см + полістирол 10 см + бето на стяжка 6 см + паркет);
  - стіни з трьох шарів товщиною 47 см (вапняково-піскова цегла 18 см + мінеральна вата 18 см + колота силікатна цегла 11 см);
  - перекриття над другим поверхом (гіпсово-картонна плита + полістирол 2 см + скловата 18 см);
  - щільні вікна – склопакети з інертним газом;
  - щільні вхідні двері, утеплені полістиролом;
- орієнтовна вартість будівництва –1800 злотих/м<sup>2</sup> (будівництво у 1999-2000 роках).

Високоєфективна система опалення складається із котла з автоматикою, радіаторів, терморегуляторів. Головним джерелом тепла у будинку є газовий турбокотел з автоматикою керування (закрита камера згорання уможливорює забір повітря ззовні без порушення вентиляційного балансу).

Радіатори оснащені термостатичними кранами і терморегулювальними головками.

## Вентиляція з відбором тепла

Для зменшення витрат тепла на підігрів вентиляційного повітря застосовано механічну вентиляцію з відбором тепла (рекуперацією). Функцію центрального вентиляційного вузла і обмінника для відбору частини енергії з витяжного повітря виконує рекуператор.

Зовнішнє повітря до рекуператора може потрапляти двома шляхами. Зимом і влітку свіже повітря забирається повітрязабірним пристроєм, розташованим у саду. Далі воно проходить крізь ґрунтовий обмінник, попередньо нагріваючись. Влітку (після заміни вкладки рекуператора на літній) ґрунтовий обмінник служить для охолодження припливного повітря.

Весною та осінню, коли зовнішні температури приблизно такі ж, як і температура ґрунту, повітря для вентиляції забирається повітрязабірником, встановленим на стіні гаража.

Механічна вентиляція спрямовує свіже повітря до всіх "чистих" приміщень через відповідно розташовані припливні отвори. Використане повітря усувається із брудних приміщень (ванні кімнати, туалети, кухня і технічні приміщення).

Місця подачі і видалення повітря практично не видимі, тож інтер'єр приміщень жодним чином не порушується.

Окремий **хрестоподібний рекуператор** виконує функцію вентиляційного центрального вузла (на фотографії бачимо з відкритою фронтальною кришкою). Із закритою кришкою він виглядає як металева скринька біля котла, встановленого у господарському приміщенні (яке водночас служить і котельнею). встановленням на одну з чотирьох позицій (швидкість від 1 до 4) задається продуктивність рекуператора. Датчик вологості витяжного повітря автоматично змінить режим роботи на максимальну продуктивність у випадку перевищення заданого рівня відносної вологості. З такою продуктивністю рекуператор працюватиме до моменту зниження вологості

нижче від встановленого значення.

Рекуператор підібраний таким чином, щоб в умовах нормальної експлуатації забезпечувалася достатня (для чотирьох мешканців будинку) кількість повітрообмінів за мінімальної швидкості. Завдяки ґрунтовому обміннику відпала необхідність встановлення у рекуператорі нагрівного елемента для початкового підігріву (вище за 0°C) припливного повітря. Рекуператор оснащений системою запобігання утворенню інею.

**Пристрій для забору свіжого повітря** встановлений у саду на віддалі близько 17 м від стіни будинку. Для маскуванню йому надали вигляд вулика із солом'яною стріхою. Таким чином цей непривабливий елемент системи створив мальовничий затишний куточок. Повітря надходить до будинку двома трубами ПВХ, віддаленими одна від другої (по горизонталі) на 1 м. Вони прокладені на глибині близько 1,8 м нижче від рівня ґрунту. Це дало можливість посадити траву й інші рослини на цій ділянці, замаскувавши таким чином прокладені труби. Завдяки таким простим заходам ані всередині будинку, ані зовні не помітно елементів, які, покращуючи енергетичний баланс будинку, могли би погіршити його естетичні характеристики.

### **Як все розрахувати?**

#### **Типи і кількість спожитої (оплачуваної) енергії для опалення будинку**

**Витрата газу** на опалення і приготування гарячої води для побутових потреб упродовж перших п'яти років експлуатації будинку була майже однаковою і в середньому складала 1500 м<sup>3</sup>.

**Електроенергія** для приводу вентиляторів механічної системи з хрестоподібним обмінником (середня потужність вентиляторів – 80 Вт).

**Деревина для каміна.** Джерелом додаткової енергії для обігріву приміщень служить камін. У середньому спалювалося близько 1 м<sup>3</sup> деревини кожного опалювального сезону.

**Ґрунтовий обмінник** (замість нагрівного елемента). В аналізованому будинку

рекуператор не обладнаний електронагрівним елементом для попереднього (початкового) нагрівання зовнішнього повітря. Цю функцію виконує ґрунтовий обмінник, причому, як показали спостереження, – на відмінно. Навіть при зовнішній температурі нижче від  $-22^{\circ}\text{C}$  температура повітря після його виходу з ґрунтового обмінника становить близько  $+1^{\circ}\text{C}$  (позитивну роль відіграв приблизно 25-сантиметровий сніговий покрив ґрунту над обмінником).

### ***E* – показник сезонних енергопотреб**

Для автомобіля мірою експлуатаційних властивостей (зокрема енергоощадності) є кількість палива, що спалюється за 100-кілометровий пробіг. Для будинку – це кількість теплової енергії (кВт·год), що споживається упродовж року (опалювального сезону) для обігріву  $1\text{ м}^2$  площі (або  $1\text{ м}^3$ ).

Показник сезонної енергопотреби (позначається літерою *E*) дає можливість порівнювати експлуатаційні характеристики будинків. У нормативних документах, що стосуються теплового захисту будинків, він наводиться разом із коефіцієнтом теплопроникнення тепла  $U$  ( $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$ ), який характеризує його зовнішні перегородки.

Чинні вимоги обмежують сезонний показник енергопотреби до рівня 80-120 кВт·год/ $\text{м}^2\text{а}$  [а – означає рік].

Відомі пасивні будинки з показником *E* близько 15 кВт·год/ $\text{м}^2\text{а}$ , однак їх будівництво у нашому кліматі навряд чи виправдане з економічних міркувань.

Але можна звести будинок з  $E = 40$  кВт·год/ $\text{м}^2\text{а}$  і менше (прикладом є аналізований будинок):

- нормативний

$$E = 80-120 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\text{а}$$

- пасивний будинок

$$E = 15 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\text{а}$$

- аналізований будинок

$E = 38$  кВт·год/м<sup>2</sup>а (експлуатаційний).

### Розрахунок показника $E$

Експлуатаційний показник сезонної енергопотребы  $E$  після врахування усіх видів оплачуваної енергії, що використовується для обігрівання будинку, включає три складники, пов'язані із:

- споживанням газу для системи опалення –  $E_{газ}$ ;
- споживанням електроенергії рекуператором –  $E_{рек}$ ;
- спалюванням деревини у каміні –  $E_{кам}$ .

Вартість зазначених складників для середнього експлуатаційного сезону, кВт·год/м<sup>2</sup>а:

$$E_{газ} = 33,5; \quad E_{рек} = 2,3; \quad E_{кам} = 2,2.$$

Загальний показник сезонної енергопотребы

$$E = 38 \text{ кВт·год/м}^2\text{а.}$$

### Перерахунок показника $E$ на гроші

Економічні показники, що характеризують вартість обігрівання, визначалися з врахуванням вартості газу з мережі, електроенергії та дров. Часто використовувані показники ціни опалення відносно до площі обігріву в будинку у перерахунку на один місяць (при розкладанні вартості опалення на цілий рік) визначаються таким чином (злотий/м<sup>2</sup>/місяць):

- вартість газу (лише опалення, без ГВП)  $k_{газ} = 0,57$ ;
- вартість вентиляції (електроенергія для рекуператора)  $k_{рек} = 0,08$ ;
- вартість дров для каміну  $k_{кам} = 0,05$ .

Повна вартість опалення  $K$ , у якій враховано всі види оплачуваної енергії, складає 0,70 злотих/м<sup>2</sup>/місяць, а повна оплата за сезон склала лише 1486,80 злотих (0,70 x 177м<sup>2</sup> x x 12 місяців) – розрахунок для 2006-2007 років. Низького значення показника сезонної енергопотребы  $E$  і суттєвої економії енергії на обігрів аналізованого будинку було досягнуто завдяки застосуванню:

- відповідної теплоізоляції зовнішніх перегородок (шар мінеральної вати 18-20 см);
- високоякісної і щільної столярки;
- регульованої механічної вентиляції з відбором тепла;
- ґрунтового теплообмінника для початкового нагрівання зовнішнього вентиляційного повітря;
- високоефективної системи опалення (котел з автоматикою, радіатори, терморегулятори),

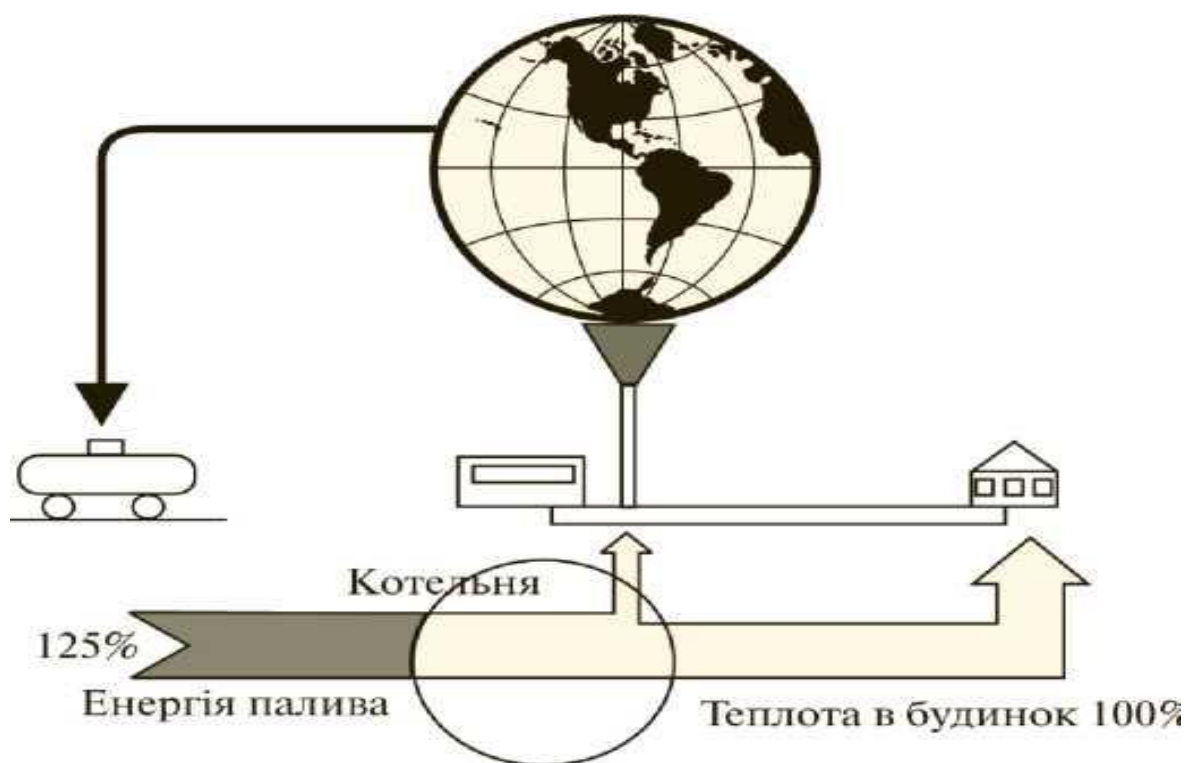
а також завдяки пасивному використанню сонячної енергії (засклені площини з південного боку, висока акумулювальна здатність стін).

Всі ці заходи дали змогу скоротити опалювальний сезон обігрівання майже до 5 місяців (система опалення вмикається на початку листопада і вимикається наприкінці березня). В умовах клімату Північно-Східної Польщі у середньостатистичних будинках опалювальний сезон триває від 6,5 до 7 місяців.

Здатність теплового насоса брати енергію з довкілля вигідно відрізняє його від інших теплогенераторів, які всі свої теплові втрати разом із продуктами згорання скидають в атмосферу (рис. 6.1). Для того, щоб тепловий насос міг забирати енергію з довкілля за відносно низької температури, до нього треба підвести механічну енергію, яка в більшості випадків перетворюється з електричної енергії. Зазвичай при теплонасосному опаленні потрібно майже в 3 рази менше електричної енергії, ніж під час прямого перетворення електричної енергії на теплову, наприклад, в електрорадіаторах. Проте таке порівняння не зовсім коректне, оскільки електричну енергію виробляють на теплових електростанціях із досить низьким ККД, і правильніше було б оцінювати ефективність теплового насоса за величиною первинної енергії палива, яку витратили на виробництво одиниці споживаної теплоти. Схему потоків енергії при теплонасосному опаленні наведено на рис. 8.1.

Як уже наголошувалося, тепловий насос (ТН) вірогідно є одним із термотрансформаторів - пристроїв, які забезпечують передачу тепла від одних тіл до інших при тому, що ці тіла мають різні температури. Термотрансформатори можуть бути підвищувальними у разі, коли призначені для передачі теплоти до тіл з низькою температурою, і знижувальними, якщо за їх допомогою передається теплота тілам з високою температурою. Термодинамічні цикли термотрансформаторів є поєднанням прямого і зворотного циклів.

Отже, тепловий насос є певним гатунком підвищувальних термотрансформаторів і здійснює передачу теплоти від зовнішнього середовища до тіла з вищою температурою (рис.10. 1).



**Рис.10.1 . Схема потоків енергії при опаленні від котельні**

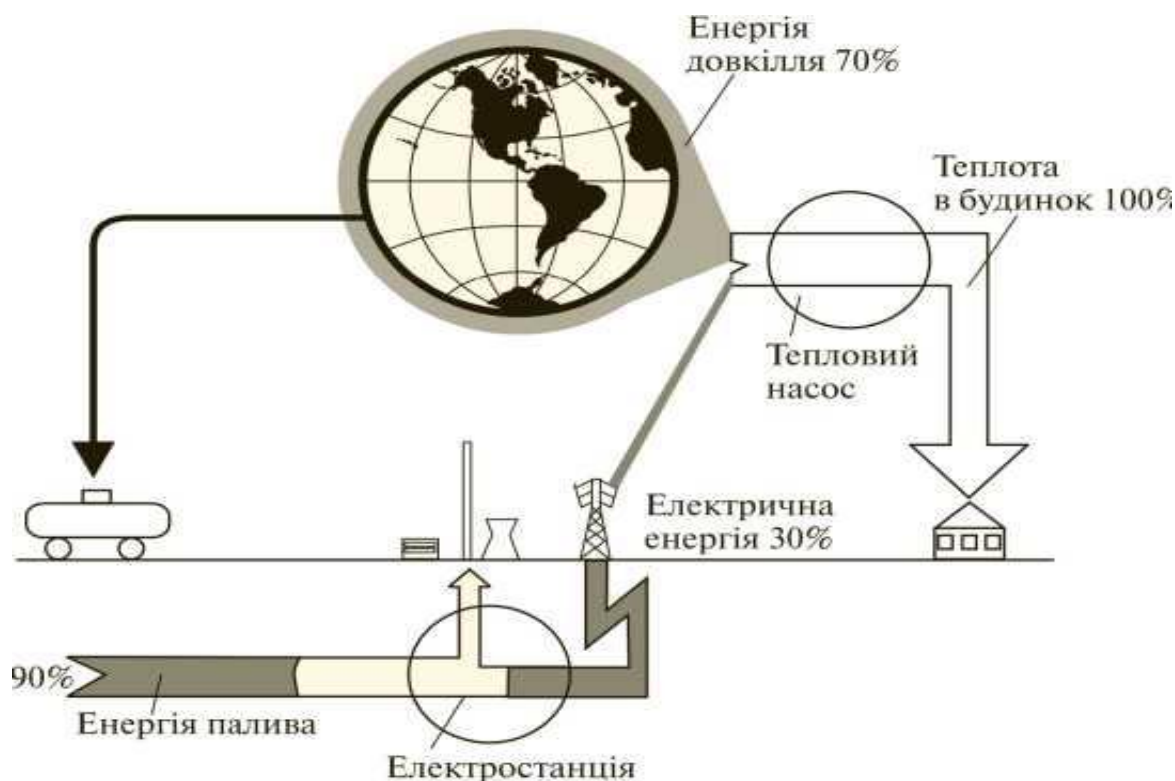


Рис. 10.2. Схема потоків енергії за теплонасосного опалення

*Принцип дії та основні характеристики теплових насосів.* Немає принципової відмінності в роботі й конструкції холодильних машин і теплових насосів. Розрізняють лише призначення і температурний рівень одержуваної теплоти. Мета холодильної машини - отримати теплоту з температурою нижчою за рівень температури довкілля, тобто виробництво охолодженого теплоносія (розсоли, антифризи, повітря, вода), що виходить із випарника. Мета теплового насоса - дістати теплоту (у випадку парокомпресійного теплового насоса як нагрітий теплоносій (вода, повітря), що виходить із конденсатора).

Проілюструймо принцип дії парокомпресійного теплового насоса, навівши на рис. 3 його схему і термодинамічний цикл у діаграмі T-s («температура-ентропія»). Тепловий насос діє за механічної роботи в компресорі, якому надає рух електричний або тепловий двигун. У компресорі тиск робочої речовини, що перебуває в пароподібному стані,

зростає від  $P_1$  до  $P_2$  (процес 1-2). За умови постійного тиску в конденсаторі відбувається конденсація робочої речовини (процес 2-3). Одержане внаслідок конденсації тепло передається споживачу при температурі  $T_2$ , наприклад нагріваючи воду, направлену в систему опалення. У дроселі відбувається розширення робочої речовини до тиску  $P_1$  з його частковим випаровуванням (процес 3-4). Далі робоча речовина повністю перетворюється на пару при температурі  $T_1$  у випарнику, де теплоту забирають від її джерела.

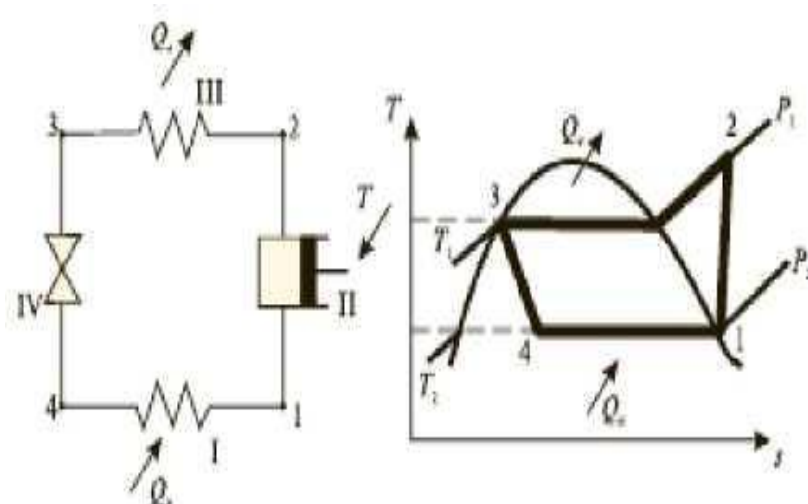


Рис. 11. Схема парокompресійного теплового насоса і його цикл у T-s діаграмі:

I - випарник; II - компресор; III - конденсатор; IV – дросель

Основними характеристиками теплового насоса є коефіцієнт перетворення (трансформації) тепла, термодинамічний ККД і питома вартість, тобто вартість, віднесена до теплопродуктивності теплового насоса.

Коефіцієнт перетворення тепла - це відношення одержуваної теплової потужності до потужності, що витрачається на привід компресора. Він вищий за одиницю, істотно залежить від температури холодного джерела теплоти  $T_1$  і температури одержуваного гарячого теплоносія  $T_2$ . У результаті роботи теплового насоса можна дістати приблизно в 2-8 разів

більше теплоти, ніж у випадку безпосереднього підігрівання теплоносія в електрокалорифері:

$$\epsilon_T = Q_b / N = T_2 / T_2 - T_1, \quad 1$$

де  $Q_b$ - теплопродуктивність;

$N$  - потужність, що витрачається.

Для тих, хто не ознайомлений з роботою теплових насосів, ця обставина здається порушенням першого закону термодинаміки. Насправді це не так: ми лише трансформуємо теплоту нижчого потенціалу в теплоту вищого потенціалу, тобто іншого температурного рівня. Коефіцієнт перетворення тепла не є коефіцієнтом корисної дії теплонасосної установки. Відомо, що якість виду енергії залежить від його здатності перетворюватися на інший вид енергії. Якщо механічна робота в ідеальному процесі може бути повністю перетворена на інший вид енергії, то теплота навіть в ідеальному процесі лише частково обертається на механічну роботу. Міру перетворення теплоти в роботу характеризує працездатність, або ексергія потоку теплоти, вона суттєво залежить від температурного рівня потоку теплоти, а також від температури довкілля.

Термодинамічна досконалість теплового насоса визначається його ексергетичним ККД, що може бути обчислений так:

$$\epsilon_e = Q_b W / N \quad (2)$$

Тут  $Q$  - температурна функція, або коефіцієнт працездатності теплоти, визначувана як термічний ККД циклу Карно між температурами  $T_1$  і  $T_2$  (температурою довкілля):

$$w = (T_2 - T_{oc}) / T_2 \quad (3)$$

Як бачимо, ексергетичний ККД теплонасосної установки завжди менший за одиницю.

Приблизна залежність коефіцієнта трансформації теплоти від температури наведена на рис. 12. За малої різниці температур у випарнику й конденсаторі коефіцієнт трансформації може досягати великих значень.

На практиці за сучасного рівня цін на устаткування та енергоносії рекомендують застосовувати теплові насоси з коефіцієнтом трансформації не нижче 2,5.

Питома вартість теплових насосів, що випускаються в Росії, для потужностей від 100 до 10 тис. кВт становить 200-250 дол. США за 1 кВт установленної теплової потужності (включно з монтажем). Вартість теплових насосів, які випускають зарубіжні фірми, є трохи вищою. Слід чекати, що зі збільшенням числа вітчизняних виробників питома вартість теплових насосів знижуватиметься.

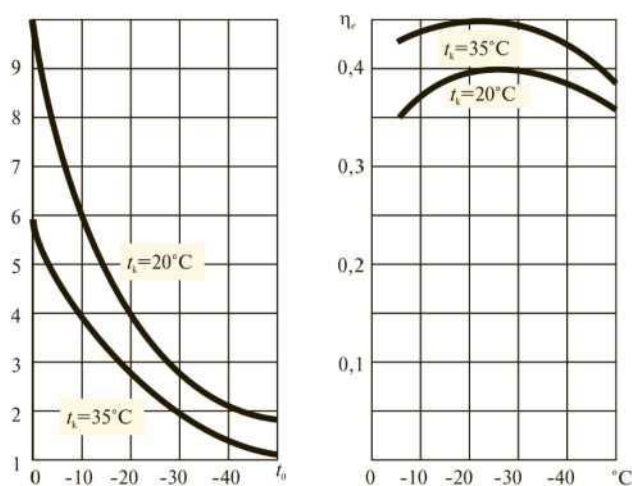


Рис. 12. Залежність холодильного коефіцієнта (а) та ексергетичного ККД (б) від температур конденсації й випаровування

Характеристики теплового насоса неабияк залежать від уживаної робочої речовини, якою найчастіше виступають різноманітні фреони (хладони) - галогенопохідні граничних вуглеводнів. Використовуються такі фреони, як R-22, R-134A, R-407, а також озонобезпечний фреон R-142В. Застосування фреону R-22 Монреальська конвенція дозволила лише до 2005 року. Характеристики фреонів багато в чому визначають коефіцієнт перетворення тепла, а отже, економічність теплового насоса.

Теплові насоси широко використовують для теплохолодопостачання в технологічних процесах для опалення і гарячого водопостачання.

Однаковий принцип роботи холодильних машин і теплових насосів дає змогу в одному агрегаті виробляти холод і теплоту, забезпечуючи одночасно тепло- і холодопостачання споживача. Таке поєднання є економічно вигідним.

Джерелом теплоти для теплового насоса, використовуваного у процесі опалення, можуть бути повітря, вода і ґрунт. Абонентом теплоти є опалювальне приміщення. Якщо температура джерела теплоти змінюється (наприклад, добова зміна температури повітря), то ефективність теплового насоса також змінюється.

Отже, використовуючи тепловий насос, можна одержати більше корисного тепла, ніж міститься у витраченому на його виробництво паливі (на декілька десятків відсотків), а це може зумовити значний економічний ефект.

Відомо багато типів теплових насосів, із яких найбільш споживаним є компресорний парорідинний. Він складається з чотирьох елементів: компресора, випарника і терморегулювального вентиля (рис. 8.5).

Усі апарати теплового насоса заповнені легкокип'ячим холодильним агентом, для якого температура довкілля є такою високою, що у випарнику починається кипіння рідкого холодагента. Компресор відсмоктує утворену пару. У процесі стиснення в компресорі температура пари холодагента підвищується настільки, що в конденсаторі, омиваному теплоносієм системи опалення, пара зріджується, а теплота конденсації передається теплоносію, який при цьому нагрівається. На шляху до випарника рідкий холодагент проходить крізь терморегулювальний вентиль, де різко знижується тиск рідини, після чого й починається її кипіння у випарнику, в якому цикл замикається.

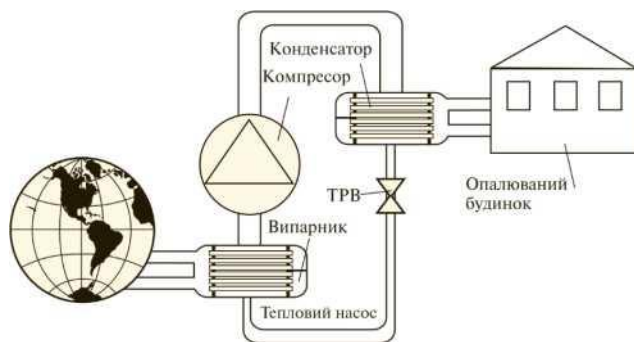


Рис. 13. Схема перетворення природної енергії в тепловому насосі

Відношення виробленої теплової енергії до витраченої в компресорі роботи вірогідно і є коефіцієнтом перетворення теплового насоса  $\epsilon_{\text{пр.}}$ , що залежить від різниці температур джерел. Якщо вона незначна, коефіцієнт перетворення може досягти високих значень. За великої різниці температур він знижується. Вважають, що опалювальний тепловий насос є ефективним у разі, коли коефіцієнт перетворення дорівнює 3 і більше. Розрахувати ефективність теплового насоса - досить складне завдання, з яким можна впоратися, зваживши на конкретні умови експлуатації.

#### 1.4.4. Напрями використання і класифікація теплових насосів

Великі теплонасосні установки (ТНУ) і теплонасосні станції (ТНС) сприяють розв'язанню проблем стосовно економії палива й енергії, заміщення органічного палива ядерною енергією, прискорення електрифікації та підвищення ефективності тепло- й холодопостачання промислових підприємств і комунально-побутової сфери. Крім того, їхнє застосування може зробити істотний внесок у стабілізацію екологічної обстановки. Розрахунки показують, що за умов упровадження ТНУ в системи теплопостачання можна досягти економії в 20-70 %. У екологічному аспекті позитивна сторона ТНУ полягає, по-перше, у відсутності процесу горіння і супутнього забруднення атмосфери; по-друге,

в утилізації теплових відходів виробництв, що є важливим напрямом захисту біосфери від теплового забруднення.

Інші переваги ТНУ:

- виняткова універсальність стосовно продуктивності (від кількох кВт до десятка МВт), щодо виду використовуваної первинної енергії та низькопотенційної теплоти;
- широка сфера застосування: опалення, гаряче водопостачання і кондиціонування, одночасне охолодження одних об'єктів і нагрівання інших, використання в технологічних процесах ректифікації, опріснення, сушіння;
- скорочення витрат на транспортування палива;
- зниження капіталовкладень у теплові мережі;
- зниження трудовитрат на експлуатацію тепловиробних об'єктів за рахунок практично цілковитої автоматизації ТНУ.

ТНУ сприяють одночасному розв'язанню трьох найважливіших проблем: енергозбереження, охорони довкілля, економії і поліпшення умов праці теплоенергетичних виробництв.

Відтак, теплові насоси - джерела тепла, що реалізують прогресивну технологію, забезпечують якісно новий рівень розвитку систем теплопостачання і подальшу оптимізацію паливно-енергетичного комплексу взагалі.

Теплонасосна станція є джерелом централізованого теплопостачання, що складається з ТНУ, пікової водогрійної котельні і теплових акумуляторів, які дають змогу ТНУ працювати за примусовим графіком енергоспоживання в провальні або позапікові години графіка навантаження енергосистеми.

Як було показано раніше, економія палива під час експлуатації ТНУ, порівняно з безпосереднім його спалюванням у печах і котлах, у процесі вироблення теплоти невисоких температур досягається завдяки раціональнішому використанню енергії. Можливість вибору

термодинамічного циклу (на відміну від традиційного способу одержання тепла в котлах) дає змогу управляти верхнім рівнем температур. Як наслідок, на здійснення роботи циклу витрачають лише невелику кількість енергії, визначеної кількістю роботи, яку може виконувати система під час свого зворотного врівноваження з довкіллям.

Такі переваги ТН роблять їх досить вигідними для використання в найрізноманітніших низькотемпературних системах енергопостачання, насамперед у системах тепло- і холодо постачання.

Особливо слід виділити широкий спектр можливих сфер використання ТН:

- можливості розвитку ТН із теплоносієм «вода-вода», «вода-по- вітря» для обігрівання будівель із опалювальними системами на рідкому нафтовому паливі;
- застосування теплових насосів спільно з використанням сонячної енергії для забезпечення житлових приміщень побутовою гарячою водою;
- використання ТН із приводом від дизель-електричного або теплового двигуна;
- використання ТН із електричним приводом.

Залежно від типу теплових джерел (зовнішнє і вентиляційне повітря, земля, камінь, стічні води, промислове скидне тепло, підземні води, озерна і морська вода, накопичене сонячне тепло, теплота конденсації та ін.) теплові насоси можуть бути класифіковані наступним чином:

1. *Теплові насоси, що використовують тепло, нагромаджене в зовнішньому повітрі.* Повітря є джерелом тепла, на яке не впливають жодні місцеві умови (за винятком холодного періоду року). Отже, ТН, що послуговуються теплом зовнішнього повітря, мають істотно більшу потенційну можливість для застосування в житловому секторі порівняно з іншими типами, хоча з повітря вдається видобути дещо меншу кількість тепла, ніж із більшості інших джерел.

Зменшення температури повітря з 10 до 0 °С спричиняє до збільшення потреби в обігріві житлових приміщень майже на 100 %, при цьому можливість одержати тепло за допомогою ТН падає приблизно на 40 %. Оскільки повітря має невелику густину і низьку теплоємність, доводиться прокачувати його у великій кількості через теплопоглинальний колектор. Реалізація ТН за низької температури (до -20 °С) потребує значних витрат енергії для приводу компресора. Тому, як правило, при температурі нижче -10 °С ТН вимикають і вмикають резервну пікову опалювальну систему. Утворення льоду на випарнику за температури випаровування менше 0 °С (при температурі повітря менше 5 °С) також є вадою таких ТН, оскільки знижує їхню ефективність.

Незважаючи на це, простота установки ТН, що використовують тепло зовнішнього повітря, та їхня конкурентоспроможність визначили їхнє широке застосування для опалення індивідуальних будинків.

2. *Теплові насоси, які використовують тепло, накопичене в озерній воді.* Використання озерної води як джерела тепла дає змогу застосувати ефект природного сезонного нагромадження літнього тепла в озерах і водотоках. Оскільки температура озерної води відносно стабільна й поволі знижується до точки замерзання, можна створити ТН із хорошими економічними показниками та оптимальним розміщенням елементів системи видобування води для опалення з шару, що зберігає оптимальну температуру протягом усього року.

Розробка і застосування ТН такого гатунку для забезпечення теплом усіх типів житлових приміщень мають свої специфічні особливості й потребують конкретного розгляду.

3. *Теплові насоси, що використовують тепло стічних вод.* Стічні води, як і зовнішнє повітря, є низькотемпературним джерелом тепла, особливо зручним для використання ТН. Стічні води з температурою влітку близько 20 °С і взимку рідко менше 8 °С, як правило, є в усіх міських забудовах. Як

джерело тепла їх можна використувати і необробленими, й очищеними. Після очищення стічні води зазвичай мають вищу температуру й дають змогу скоротити відстань між ТН і місцем їхнього використання. Проте їхнє застосування часто спричинює засмічення трубопроводів і блокування теплообмінних поверхонь.

Такі ТН доцільно розміщувати поблизу очисних споруд або у великих будівлях, що мають достатню кількість порівняно чистих стічних вод.

Економічні показники перетворення тепла є схвальними, однак загальні можливості ТНУ цього типу оцінити поки що досить складно.

#### *4. Теплові насоси, які використовують тепло вентиляційного повітря.*

ТН для рекуперації тепла з повітря, що викидається вентиляційними системами і має температуру близько 20 °С, яка дещо змінюється протягом року, створює можливість мати вищий коефіцієнт перетворення тепла порівняно з іншими джерелами низькотемпературного тепла. Вони можуть бути встановлені в багатоквартирних, індивідуальних будинках та інших спорудах із механічною системою вентиляції.

Очевидно, що вентиляційне повітря є порівняно обмеженим джерелом тепла, а збільшення вентиляційних потоків неминуче викликає зростання потреби в опаленні.

Крім того, використання ТН названого типу, призначених для забезпечення гарячого водопостачання, показало, що ці системи неекономічні, оскільки їх використовують упродовж близько 50 % часу. І нарешті, велика частина витрат у таких системах пов'язана з прокладенням трубопроводів у будівлях і будівельними роботами, а це удоцільнює вибір ТН, які рекуперують тепло, що викидається з повітря, і використовують його для опалення.

#### *5. Теплові насоси, що використовують тепло поверхневих шарів землі.*

Механізм нагромадження тепла в землі аналогічний механізму

накопичення тепла в озерах. Шари землі є стабільними акумуляторами сонячного тепла, нагромадженого в літній період, і вочевидь є великим джерелом низькотемпературного тепла, яке може бути використане взимку.

Тепло поверхневих шарів може бути використано як джерело тепла для індивідуальних і багатоквартирних будинків, а також опалювальних котелень потужністю до 1 МВт. Придатність для теплопостачання залежить від типу ґрунту і вмісту в ньому води. Постійна і відносно висока температура землі дає змогу дібрати тепловий насос, здатний забезпечити всі енергетичні потреби добре ізольованого індивідуального будинку. Попри відносну дорожнечу, вони успішно застосовуються в секторі індивідуальних будинків. Принципово можливим і перспективним є їхнє застосування для великих будівель (наприклад, шкіл), що володіють достатньою площею землі.

#### **1.4.5. Основні типи теплових насосів**

Практичне застосування дістали теплові насоси двох типів:

- парокompресійні (ПТНУ), де робочим тілом є різні фреони, а стиснення здійснюється механічним шляхом за допомогою компресора;
- абсорбційні (АТНУ), де робочим тілом є розчин, складений, як правило, з двох компонентів. Ці компоненти мають різні температури кипіння за однакового тиску. Один компонент є робочим агентом, а другий - абсорбентом (поглиначем). Схема АТНУ організована так, що в одному з елементів (генераторі) відбувається випаровування агента, а в іншому (абсорбері) - його поглинання. За аналогією з ПТНУ абсорбер відіграє роль усмоктувальної сторони компресора, а генератор - нагнітаючої. Як робочі середовища найчастіше застосовують водні розчини аміаку і бромистого літію, причому в першому розчині робочим агентом є аміак, а в другому - вода.

У світовій практиці найбільш поширеними є парокompресійні ТНУ. Це пояснюється, з одного боку, їхньою більшою енергетичною ефективністю в порівнянні з АТНУ, з другого - характерним для розвинених країн практично необмеженим постачанням електроенергії, яка з ПТНУ йде на привід електродвигуна компресора. Зарубіжні ПТНУ є компактними і високотехнологічними агрегатами.

Робочі середовища АТНУ - водні розчини аміаку або бромистого літію - менш дефіцитні й більше зручні в експлуатації завдяки своїй меншій текучості; розчин бромистого літію екологічно безпечний. Для виготовлення теплообмінного устаткування АТНУ використовують порівняно недорогі гатунки сталі.

Простота конструкції та виробництва вигідно відрізняють АТНУ від ПТНУ, де потрібне прецизійне виготовлення та складання компресорів; використовуються складні спеціалізовані технології для конденсаторів і випарників, куди витрачають переважно мідні й алюмінієві сплави. Із цим також пов'язана висока надійність АТНУ та малі витрати на їхнє обслуговування.

Теплонасосні схеми можуть бути центральними, центрально-місцевими, автономними.

*Центральні системи.* Одержання тепла, холоду, нагрівання, зволоження й осушення повітря відбувається централізовано, повітря розподіляють по вентиляційних каналах. Перевага полягає в тому, що застосування великих установок, вентиляторів та іншого устаткування знижує капіталовкладення. Вадами є складне впровадження пристрою у вже споруджені будівлі; потреба в підведенні граючої й охолоджувальної води; дорожчання системи регулювання за необхідності підтримувати різний мікроклімат в окремих приміщеннях будівлі.

*Центрально-місцеві системи.* Тепло і холод виробляються центра-лізовано, потім подаються до приміщень, де в місцевих кондиціонерах

відбувається обробка повітря. Їхня назва пов'язана з прагненням створити установку, що поєднала б переваги центральної й автономної систем.

*Автономні системи.* Обробка повітря, вироблення тепла і холоду здійснюється децентралізовано. Завдяки цьому досягають великої гнучкості в роботі, не потрібно підводити енергоносії, можливим є використання як нових, так і наявних будівель. Зауважені переваги визначають і недоліки системи: високу питому вартість, відносно великий шум у кондиційованих приміщеннях.

За принципом дії застосовують три основні типи ТН (як і холодильних машин): термоелектричні, повітряні (газові) й парові. Парові теплонасосні установки поділяють на абсорбційні та паро-компресійні.

*Абсорбційні теплові насоси.* Їхня дія заснована на використанні абсорбції водяної пари робочої рідини, що відбувається за допомогою розчину. Найефективнішими вони є тоді, коли температура відпрацьованого теплоносія становить 100 °С і вище. У цих ТН, як правило, застосовують дві речовини: робочий агент і абсорбент. Найперспективнішим робочим агентом є вода, абсорбентом - циклічний їдкий натрій NaOH, їдкий калій KOH, хлористий кальцій CaCl<sub>2</sub>, бромистий літій LiBr; усі вони поглинають і виділяють воду.

Завдяки теплу, підведеному від зовнішнього джерела, в генераторі відбувається випаровування розчину абсорбенту. Водяна пара, що виділяється при цьому, надходить до конденсатора. Утворений конденсат дроселює в регулювальному вентилі й потрапляє у випарник, де на його випаровування підводиться тепло від доквілля. Із випарника пара надходить до абсорбера і поглинається розчином абсорбенту. Тепло, що при цьому виділяється, відводиться охолоджувальною водою, а збагачений розчин абсорбенту подається в генератор. Після виділення пари абсорбенту розчин у генераторі стає слабким і крізь другий регулювальний вентиль надходить для збагачення в абсорбері.

#### **1.4.6. Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ**

Найбільшого енергетичного й економічного виграшу від застосування ТНУ можна досягти у виробництві, де технологічний процес не обходиться без комплексних систем тепло- і холодопостачання. Вони трапляються на підприємствах хімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості, в сільському господарстві, житлово-побутовому секторі. Парокомпресійні чи абсорбційні теплові насоси можуть одночасно виконувати функції теплопостачання й охолодження води, що подається в технологічні апарати.

За попередніми оцінками, застосування ТНУ дасть змогу майже вдвічі знизити витрату палива на потреби теплопостачання, поліпшити експлуатаційні показники енергосистем за рахунок роботи ТНУ з акумуляцією теплоти в «провальні» години графіка електричного навантаження; зменшити теплове забруднення довкілля. Завдяки високій маневреності ТНУ, вони можуть бути успішно використані як споживачі-регулятори електричного навантаження, що вирівнюють добову нерівномірність навантаження цих графіків. Окрім того, за скорочення питомої витрати палива з'являється можливість і далі експлуатувати морально застарілі ТЕС.

Зупинімося докладніше на деяких напрямках енергозбереження на основі використання теплових насосів для утилізації ВЕР.

*Застосування теплових насосів для енергозбереження.* У промисловості й у житлово-комунальному господарстві як джерело теплоти для роботи теплових насосів можуть бути використані такі види теплових ВЕР:

- теплота охолоджувальної води парових турбін теплових і атомних електростанцій, промислових печей, компресорних установок, апаратів хімічної технології. Часто ця вода використовується повторно і прямує на

охолодження до градирень і апаратів повітряного охолодження;

- теплота стічних вод різних промислових підприємств і підприємств житлово-комунального господарства (лазні, пральні, басейни);
- теплота продуктів згорання в котельних установках і промислових печах, а також у печах для спалювання твердих і рідких відходів;
- теплота продуктів згорання в газотурбінних установках і дизельних двигунах:
- теплота водяної пари низького тиску, що викидається в атмосферу (випар);
- теплота відпрацьованого сушильного агента в сушильних установках;
- теплота гарячих розчинів у випарних і ректифікаційних установках;
- теплота мастила, використовуваного в турбінах електростанцій і в електричних трансформаторах;
- теплота повітря, що йде від систем вентиляції та кондиціонування повітря житлових, громадських і промислових будівель;
- теплота витяжного повітря станцій метрополітену та повітря каналів метро.

Низькопотенційну теплоту ВЕР можна використовувати безпосередньо за допомогою теплообмінних апаратів, наприклад, для підігрівання вентиляційного припливного повітря, попереднього підігріву повітря, що направляється в топкові пристрої, для підігрівання сушильного агента в установках для сушіння матеріалів тощо, проте далеко не завжди це можна здійснити на практиці.

Теплота підвищеного потенціалу, одержувана в теплових насосах, має ширші сфери використання. Окрім зазначених галузей споживання вона може використовуватися також в опаленні, гарячому водопостачанні, підігріванні технологічних газів і рідин в апаратах хімічної технології, випарних, перегінних і ректифікаційних установках, у процесах варення, під час рекомпресії пару.

Найбільш доцільно застосовувати ТН, якщо є:

- стабільне в часі джерело теплоти з температурою 10-50 °С;
- споживач теплоти з температурою 60-120 °С (у багатьох випадках саме відсутність споживача теплоти ускладнює застосування теплових насосів);
- джерело недорогої електричної енергії при дефіциті тепла;
- невелика різниця між температурами джерела і споживача, в цьому випадку тепловий насос має значний коефіцієнт перетворення;
- джерело теплоти - гаряча вода, водяна пара, що конденсується, або парогазова суміш (ці теплоносії, на відміну від повітря, мають високий коефіцієнт тепловіддачі, що забезпечує малі габарити випарника теплового насоса);
- потреба одночасно виробити теплоту і холод (наприклад, охолодження молочних продуктів та опалення цеху);
- змога влітку використовувувати тепловий насос у системі кондиціонування, а в зимовий час - у системі опалення.

Розгляньмо деякі схеми, в яких можуть бути використані теплові насоси:

1. Використання теплового насоса для охолодження зворотної води, що охолоджує конденсатор парової турбіни теплової електростанції (рис .14.).

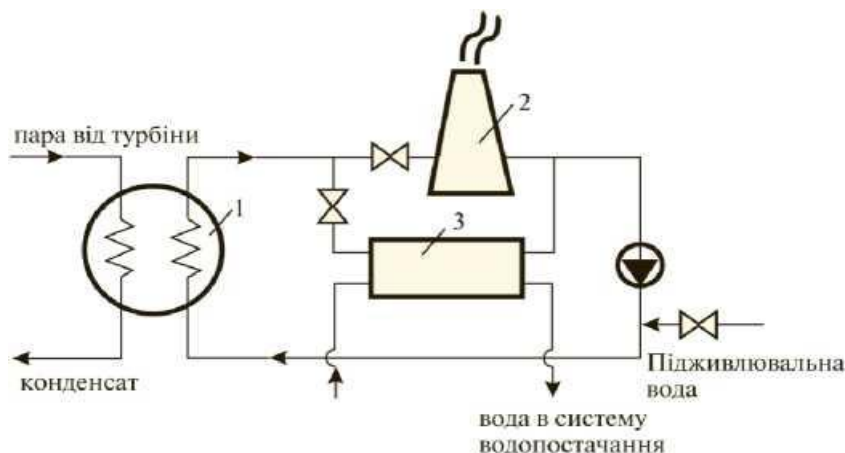
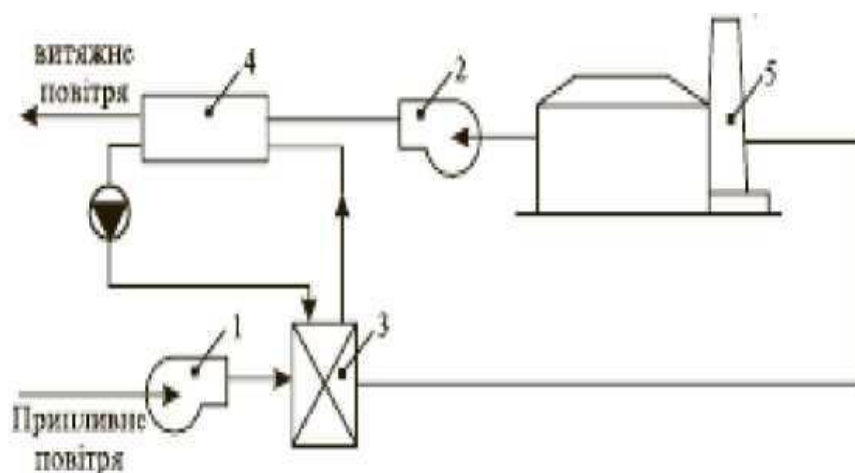


Рис. 14. Застосування теплового насоса для утилізації тепла зворотної води теплової електростанції

2. Як уже наголошувалося, для охолодження зворотної води зазвичай застосовують градирні. У цьому випадку температура води, що надходить із конденсатора до випарника теплового насоса, залежно від сезону може становити 20-35 °С, а це дає змогу одержувати високий коефіцієнт перетворення і короткий термін окупності. Застосування теплового насоса дає змогу скоротити витрати води, що надходить для підживлення системи водопостачання, поліпшити екологічну обстановку поблизу градирні.

Зниження температури води, що потрапляє в конденсатор за рахунок глибшого її охолодження, сприяє збільшенню ККД станції.

2. Використання теплового насоса для утилізації тепла вентиляційних викидів промислового підприємства (рис.15).



**Рис. 15. Застосування теплового насоса для підігрівання припливного повітря в системі вентиляції**

1, 2 - вентилятори; 3 - підігрівач повітря; 4 - тепловий насос; 5 - промислова будівля

Наявність шкідливих речовин, пари рідин або твердих частинок у вентиляційних викидах унеможливають застосування рециркуляції витяжного повітря. Використання теплового насоса в такій схемі дає змогу відмовитися від традиційного для цих випадків застосування

теплообмінників-утилізаторів. Виробленої насосом теплоти зазвичай досить для підігрівання води, що забезпечує роботу калориферів, які нагрівають припливне повітря.

Часто джерелом для роботи теплового насоса є стічні води промислового підприємства. Зазвичай ці води крім розчинених або зважених домішок мають ще й високу температуру. Перед зливанням у промислову каналізацію вони мають бути заздалегідь охолоджені, щоб не зашкодити системі біологічного очищення. Тепловий насос не тільки охолоджує стічні води, а й нагріває теплоносії для системи тепlopостачання.

3. *Застосування газотурбінних установок для вироблення електроенергії (рис. 16)* дає змогу використовувати теплові насоси як для охолодження вихідних продуктів згорання (при цьому частину теплоти доцільно використовувати в котлах-утилізаторах або рекуперативних теплообмінниках), так і для зниження температури теплоносія, що забезпечує проміжне охолодження ступенів компресора, яке збільшує ККД газотурбінної установки та істотно зменшує викид в атмосферу оксидів азоту. Сама газотурбінна установка може використовуватися як джерело електричної або механічної енергії для теплового насоса. Газотурбінні установки широко застосовуються не тільки для вироблення електроенергії. Частіше їх використовують для перекачування газу магістральними газопроводами, проте застосування теплових насосів на газоперекачувальних агрегатах ускладнене, оскільки вони зазвичай розташовуються далеко від споживачів теплоти.

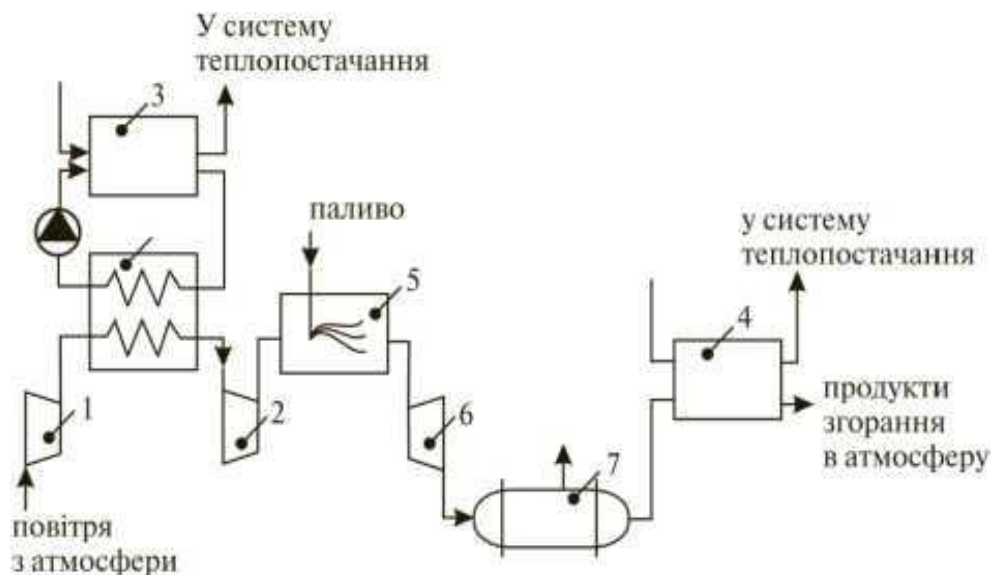


Рис. 16. Застосування теплового насоса спільно з газотурбінною установкою:

1, 2 - ступені стиснення повітря в компресорі; 3 - проміжний водоповітряний теплообмінник; 4 - теплові насоси; 5 - камера згорання; 6 - газова турбіна; 7 - котел-утилізатор

Слід розглянути випадки, коли застосування теплових насосів не виправдане:

1. Як джерело теплоти для роботи недоцільно застосовувати теплоту палива, яке спеціально використовується в таких цілях, навіть якщо воно є надто дешевим. Температури димових газів вистачить для того, аби безпосередньо нагрівати теплоносії у котельній установці.

Під час роботи теплового насоса одержана споживачем теплота (без урахування втрат) буде дорівнювати сумі одержаної теплоти від продуктів згорання і роботи, що витрачається на привід компресора. У цьому випадку вона виробляється з ККД набагато нижчим за одиницю. Це не означає, що теплота продуктів згорання не може бути використана в теплових насосах, проте нею доцільно послуговуватися в тих випадках, коли основну частину тієї теплоти вже витрачено на безпосередній нагрів теплоносія, а продукти згорання істотно охолоджено.

2. За джерело теплоти для теплового насоса не слід брати «зворотну» воду систем тепlopостачання, що віддала теплоту в опалювальних приладах, адже вода із системи тепlopостачання безпосередньо нагрівається завдяки первинному паливу, і споживач теплоти несе подвійні витрати: оплачує вартість палива й електричної енергії на привід компресора.

3. Під час використання повітря як джерела теплоти слід мати на увазі, що існує поріг температури кипіння робочого агента і відповідної температури зовнішнього повітря, коли робота теплового насоса стає неможливою. Її значення визначає тип уживаного робочого агента й тиск у випарнику теплового насоса. Отже, за низьких температур повітря робота таких теплових насосів стає спочатку неекономною (унаслідок зменшення коефіцієнта перетворення), а потім фізично неможливою.

Переваги теплових насосів широко відомі: економія палива, екологічна чистота (під час роботи теплових насосів не спалюється паливо), можливість працювати як у централізованих, так і в нецентралізованих системах тепlopостачання та ін.

Про недоліки теплових насосів згадують рідше, тому завважимо основні з них:

1. Джерела вторинних енергоресурсів не завжди стабільні в часі; їх теплопродуктивності не завжди вистачає для того, щоб забезпечити теплотою споживача в холодний період року. Тому для надійної роботи систем тепlopостачання потрібен не лише насос, а й додаткове джерело теплоти.

2. Шум від компресорів теплових насосів ускладнює їхнє застосування в житлових і громадських будівлях, особливо у випадках, коли застосовують теплові насоси великої потужності.

Геліоенергетика - незалежне використання сонячного випромінювання, для отримання енергії. Це є екологічно чистий та

найпоширеніший вид енергії. На сьогодні, використання сонячних батарей є економічно виправданим для забезпечення автономних споживачів електроенергії [51].

Альтернативні джерела енергії характеризуються як позитивними, так і негативними якостями. До переваг можна віднести територіальну розповсюдженість більшості їх видів, екологічна чистота. Експлуатаційні витрати по використанню ВДЕ не вміщують паливної складової, оскільки енергія цих джерел так би мовити безкоштовна. До негативних якостей відносяться: мала густина потоку (питома потужність) та мінливість у часі більшості поновлюваних джерел енергії. Перша обставина змушує створювати великі площі енергоустановок, що «перехоплюють» потік енергії, які використовуються (площі вітроколеса, приймаючі поверхні сонячних установок, протяжні греблі приливних електростанцій та ін.). Це призводить до великої матеріалоемності схожих пристроїв, а, значить, і до збільшення питомих капіталовкладень у порівнянні з традиційними енергоустановками. Але ці капіталовкладення згодом окупаються за рахунок низьких експлуатаційних витрат [12].

Також необхідно зазначити, що сучасними дослідниками підраховано та визначено, що витрати, пов'язані із переходом на альтернативні види енергії менші за витрати на покриття збитків, яких зазнає навколишнє природне середовище внаслідок видобування та перетворення вичерпних (традиційних) енергоресурсів.

Для перетворення та подальшого використання альтернативних видів енергії використовують спеціальні енергогенеруючі установки. Залежно від споживаного енергоресурсу використовуються різні конструкції та типи установок, які відрізняються технічними характеристиками та способом перетворення відновлюваної природної енергії у тепло або електроенергію, яка споживається у промисловому секторі та приватних домогосподарствах.

Відновлювана енергетика - це екологічне чисте невичерпне джерело енергії, яке не змінює функціональну структуру землі та дозволяє зменшити навантаження на ресурсну базу і знизити загальну ресурсозатратність, а також сприяє подоланню бідності [17].

Сонячною енергетикою називають галузь енергетики, яка пов'язана з розробкою методів і засобів перетворення енергії сонця в теплову або електричну енергію.

## **2.1. Методика дослідження альтернативних джерел енергії для приватних домогосподарств**

Для проведення дослідження автори використовують різноманітні методи дослідження. Серед загальнонаукових методів дослідження виділяють такі: аналіз, синтез, дедукція, індукція, гіпотетичний метод, метод моделювання, системний метод, узагальнення, абстрагування тощо. Докладніше опишемо кожен метод.

Під час використання аналітичного методу дослідник розділяє певне явище або процес на складові частини. При використанні синтезу як метода дослідження відбувається протилежне - елементи об'єкта дослідження поєднуються в єдине ціле. Метод дедукції застосовується під час формулювання логічних висновків від загального до конкретного. Умовивід від конкретних фактів до загального характерний для загально наукового методу індукції. Системний метод дослідження базується на побудові взаємозв'язків окремих складових об'єкта. Гіпотетичний метод є науковим припущенням, яке висуває дослідник, маючи на меті пояснення певних явищ або процесів. Метод узагальнення базується на аналізі окремих об'єктів дослідження та виділенні їх спільних ознак.

Під час проведення дослідження, з урахуванням поставлених завдань, були застосовані загально-наукові та специфічні методи дослідження.

У дослідницькій роботі автором було використано аналітичний метод

для характеристики джерельної бази дослідження. Було застосовано історичний метод під час дослідження розвитку альтернативної енергетики та характеристики тенденції використання альтернативних джерел енергії на світовому ринку енергетики та в Україні.

Метод аналізу було використано під час дослідження характерних особливостей для розвитку відновлюваної енергетики в різних регіонах України та світового досвіду впровадження альтернативних енергетичних установок для задоволення споживчих потреб населення. Метод синтезу застосовано для визначення переваг та недоліків впровадження вітрових та сонячних енергогенеруючих установок у приватних домогосподарствах.

Описовий метод використано для характеристики відновлюваних джерел енергії, сонячних та вітрових установок.

На основі математичного методу, наукового методу індукції та методу узагальнення автором представлено висновки щодо можливості використання альтернативних джерел енергії для забезпечення електроенергією приватних домогосподарств.

Математичний метод дослідження застосовується під час проведення розрахунків на основі вихідних даних для конкретної господарської ділянки. В основу дослідження показників ефективності роботи сонячних та вітрових установок також покладено математичний метод.

Наприклад, для розрахунку кількості сонячної енергії, що надходить на похилу променепоглинаючу поверхню, необхідно знати кути падіння сонячних променів на похилу і горизонтальну поверхні в даному місці. Якщо дані по сонячній радіації відсутні, але є інформація про тривалість сонячного сьйва, то можна оцінити денну суму радіації, скориставшись для цього запропонованим Говером та Мак-Кулохом виразом:

$$Q = Q_{sc} \cdot (0.29 - \cos \phi + 0.52 \cdot n/N), \quad (2.1)$$

де  $Q$  - денна сума радіації в горизонтальній площині;

$QSC$  - сонячна стала протягом дня;

$\Phi$  - географічна широта;

$N$  та  $n$  - можлива та дійсна кількість годин сонячного с'яйва за день.

Зазвичай  $QSC$  дорівнює  $9830 \text{ (Втгод)/(м}^2\text{^день)}$  [12].

Сонячно енергетичний потенціал визначається за показником сумарної сонячної радіації, що дорівнює:

$$S = D + I \sin \gamma, \quad (2.2)$$

де  $S$  - сумарна сонячна радіація;

$D$  - розсіяна радіація;

$I$  - пряма радіація;

$\gamma$  - висота Сонця над обрієм [10].

Розрахувати потужність вітрової електроустановки з горизонтальною віссю обертання радіусом ротора  $R=7$  м при швидкості вітру  $V_0=6,4$  м/с, коефіцієнту потужності  $C_p=0,35$ , ККД механічного ротора -  $\rho_{\text{мех}}=0,75$ ; ККД генератора -  $\rho_{\text{ген}} 0,86$  та щільність повітря -  $\rho_{\text{пов}}=1,225 \text{ кг/м}^3$  (стандартне значення для осінньо-весняного періоду).

Потужність ВЕУ дорівнює:

$$P = \frac{1}{2} \rho_{\text{пов}} C_p R^3 V^3 \rho_{\text{мех}} \rho_{\text{ген}} \quad (2.3)$$

$$N = 0,5 - 0,35 - 1,225 - 3,14 - 7^2 - 6,4^3 \cdot 0,75 \cdot 0,86 = 5576,98 \text{ Вт} = 5,6 \text{ кВт} \quad [34].$$

Розрахунок ККД фотоелектричної панелі для установки, яка включає такі елементи: сонячна ФП, імітатор сонячного випромінювання магазин опорів, блок керування, амперметр, вольтметр. Імітатор сонячного

випромінювання реалізовано на лампах розжарювання. Регулювання потужності здійснюється тиристорним регулятором і переміщенням імітатора відносно панелі. Випромінювання вимірюється датчиком густини потоку випромінювання. Вихідні данні:

- густина потоку випромінювання  $I_T$ ,  $I_T=250 \text{ Вт/м}^2$ ;
- напруга фотоелектричної панелі  $U_{\text{фп}}$ ,  $U_{\text{фп}}=9 \text{ В}$ ;
- сила електричного струму на навантаженні, яке підключене до фотоелектричної панелі  $I_{\text{фп}}$ ,  $I_{\text{фп}}=0,4 \text{ А}$ .

Коефіцієнт корисної дії фп, %:

$$\Pi = P_{\text{фп}} : (I_T \cdot S_{\text{фп}}) \cdot 100 \%, \quad (2.4)$$

де  $I_T$  - густина потоку випромінювання,  $\text{Вт/м}^2$ ;

$S_{\text{фп}}$  - площа ФП,  $S_{\text{фп}} = A \cdot B$ ,  $\text{м}^2$ ;

$A$ ,  $B$  - довжина (1 м) та ширина панелі (0,4 м),  $S_{\text{фп}} = 0,4 \text{ м}^2$ ;

$P_{\text{фп}}$  - потужність ФП, Вт:

$$P_{\text{фп}} = U_{\text{фп}} \cdot I_{\text{фп}}, \quad (2.5)$$

де  $U_{\text{фп}}$  — напруга ФП, В;

$I_{\text{фп}}$  - сила електричного струму, А;

$$P_{\text{фп}} = 9 \cdot 0,4 = 3,6 \text{ Вт}$$

ККД ФП дорівнює:

$$\Pi = 3,6 : (250 \cdot 0,4) \cdot 100\% = 3,6 \% \quad (2.6)$$

[34].

Генератор, який використовує енергію для виробництва електроенергії, має ККД. Для сонячних батарей він знаходиться у проміжку 0,2-0,3. Якщо взяти мінімальне значення 0,2, то середня величина потужності електроенергії, яку можна отримати з 1 м<sup>2</sup>, дорівнює 30 Вт, рік містить 8760 годин, тому з 1 м<sup>2</sup> можна отримати 263 кВтгод. А, наприклад, щоб забезпечити річне споживання в 6000 кВтгод, потрібно зібрати енергію з площі у 23 м<sup>2</sup>.

1 кВт встановленої потужності сонячних батарей дає протягом року 1000 кВтгод. У році 8760 годин. Тобто ефективна потужність 1 кВт встановленої потужності генерації дорівнює 114 Вт. Для встановлення 1 кВт потрібно 6,5 м<sup>2</sup> площі. Розмір секції - 1-1,6 м. Вона дає потужність 270 Вт [23].

Зазвичай панелі, з яких складається масив сонячної електростанції, стандартизовані за габаритами та номіналом. При потужності 260-290 Вт їх площа коливається у межах 1,5-1,7 м<sup>2</sup>.

Для станції потужністю 8 кВт необхідна кількість панелей складає:

$$8000 \text{ Вт} / 275 \text{ Вт} = 30 \text{ ФП}$$

Потужність сонячної електростанції дорівнює:

$$275 \cdot 30 = 8250 \text{ Вт} = 8,25 \text{ кВт}$$

Також, для розрахунку кількості фотопанелей використовують площу даху, або його частини, де необхідно їх розмістити, щоб кут падіння сонячних променів був максимально близьким до оптимального значення. Для цього площу даху будинку ділять на площу сонячної панелі (середнє значення - 1,5-1,7 м<sup>2</sup>):

$$S_{\text{гах}} \cdot n = N \text{ (фп)}, \quad (2.7)$$

де  $S_{\text{гах}}$  - площа покрівлі будинку;

$S_{\text{фп}}$  - площа поглинаючої поверхні фото панелі;

$N$  (фп) - кількість фото панелей.

Потужність, яка розвивається вітровою установкою, визначається виразом:

$$N = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 \cdot F, \quad (2.8)$$

де  $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$  - густина повітря при нормальних атмосферних умовах;  $V$  - швидкість вітру у м/с;

$F$  - площа, через яку цей вітровий потік проходить (площа обмаху) у м<sup>2</sup>;  $C_p$  - коефіцієнт використання енергії вітру чи коефіцієнт потужності.

Величина коефіцієнта потужності визначає ту частину енергії, яку можливо відібрати у вітрового потоку даним вітроприймальним пристроєм. Для ВУ першого типу коефіцієнт використання енергії зазвичай не перевищує 0,1. Для установок другого типу  $C_p = 0,3..0,5$ . З виразу видно, що потужність, яку розвиває вітровий потік, пропорційна швидкості вітру в кубі, тобто збільшення швидкості вітру в два рази призводить до збільшення потужності у вісім разів. Цю потужність необхідно обмежувати. Що можливо або за рахунок зменшення коефіцієнта потужності  $C_p$ , або шляхом зменшення площі обмаху  $F$ . Це здійснюється поворотом лопатей (зміна кута атаки лопатей) або відведенням всього вітроколеса з під вітру. Таким чином, вітроустановка має бути обладнана системою захисту або системою регулювання потужності [2].

Враховуючи, що ВЕУ мають коефіцієнт значно нижчий, що призводить до вищої в декілька разів металоємності, а також те, що вони дуже погано піддаються регулюванню, то вони на сьогоднішній день практично не використовуються. При незаперечних переваги роторів Дар'є

(силова трансмісія і електрогенератор розташовуються на землі, відсутність механізму орієнтації на вітер), їм властивий суттєвий недолік - за один оберт ротора аеродинамічна підйомна сила змінює величину і напрямок відносно лопаті, що призводить до складних знакозмінних динамічних навантажень як на лопаті, так і на підшипники, що веде до руйнування ВУ від «втоми». Даний фактор обмежує їх широкомасштабне використання. Підсумовуючи відзначимо, що найбільш широке поширення на сьогоднішній день здобули горизонтально-осьові ВУ [2].

Для розрахунку кількості електроенергії, яку виробляє вітроелектрична установка використовують наступну формулу:

$$Q_s = (0,25:0,3) \cdot 8760 \cdot N_{уст} \quad (2.9)$$

де ( $Q_s$  - річний виробіток електроенергії в кВтгод;

8760 - кількість годин в році;

0,25:0,3 - коефіцієнт використання встановленої потужності (показує скільки днів у році ВЕУ працює з встановленою потужністю);

$N_{уст}$  — встановлена потужність ВЕУ в кВт [2].

Отже, методологічну базу дослідження складають загальнонаукові методи дослідження. Для визначення доцільності використання енергогенеруючої установки в приватному домогосподарстві актуально використовувати метод математичних розрахунків.

### РОЗДІЛ 3. ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧІ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

#### 3.1. Принцип роботи геотермальних електростанцій

Існує два основних способи перетворення сонячної енергії: фототермічний і фотоелектричний. При фототермічному способі теплоносії (найчастіше вода) нагрівається в колекторі (системі світлопоглинаючих труб) до високої температури і використовується для опалення приміщення. Частина енергії акумулюється. Використання сонячних колекторів дозволяє забезпечувати гарячою водою багато будинків в південних районах. Фотоелектричний спосіб полягає у прямому перетворенні сонячного випромінювання в електричний струм за допомогою напівпровідникових фотоелементів - сонячних панелей [12].

Для нагрівання води і приміщень використовують сонячні колектори. Принцип їх роботи полягає у циркуляції води через теплообмінник, де вона нагрівається сонячним випромінюванням і подається в систему гарячого водопостачання або опалення [34].

У системах сонячних колекторів встановлюють проміжний накопичувальний бак, в якому запасється гаряча вода на вечірній і ранковий час. А в похмурі дні для виробництва гарячої води можна використовувати електричний ТЕН або теплообмінник від котла [2].

У плоских сонячних колекторів спостерігається низький ККД у зимовий період, тому їх краще використовувати для сезонного гарячого водопостачання [34].

Нагрівання води за допомогою колектору може забезпечити 60-70 % річної потреби гарячої води. Для сім'ї з чотирьох осіб необхідна площа колекторів 4-6 м<sup>2</sup>. У зимовий період необхідно збільшити кількість колекторів в 6-8 разів [2].

Особливо ефективно система сонячного опалення працює у поєднанні із засобами посилення теплозахисту будівель і зменшення енерговитрат.

Важливим параметром є орієнтація вікон, бажано - на південь,

внутрішнє оформлення будівлі та покриття віконного скла тепло відштовхувальним покриттям. Ці заходи дозволяють забезпечити економію витрат на опалення на 20 % [19].

Мережева сонячна електростанція призначена для часткового електропостачання споживачів або вироблення енергії за «зеленим» тарифом. Основними елементами системи є фото панелі і інвертор. Фотопанелі підключаються до інвертора, який перетворює постійний струм з фотопанелей у змінний струм для генерації електроенергії в мережу. Підключення інвертора до загальної мережі виконується через розподільний щит споживача. Для роботи такої станції не потрібні ні дорогі акумулятори, ні складні пристрої керування [12].

Гібридні сонячні електростанції поєднують плюси автономних та мережевих сонячних установок. Їх можна назвати автономними сонячними електростанціями з резервним живленням від мережі. При використанні гібридної СЕС генерують енергію так само, як і мережеві, але зберігають енергію в акумуляторах для подальшого використання ввечері або вночі [34].

Автономна сонячна станція для споживачів постійного струму застосовується для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки, працює на постійному струмі для пересувних будинків. Потужність таких систем не перевищує 1 кВт. Навантаження підключають до акумуляторних батарей через контролер розряду. Фотомодулі перетворюють сонячну енергію в електричну, акумулятор накопичує енергію, контролер захищає акумулятор від позаштатних режимів роботи [12].

Існують також автономні станції для споживачів змінного струму. Це пов'язано з непостійністю сонячного випромінювання. Тому вироблення фотопанелей не завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової енергії використовують акумуляторні батареї [12].

Основний шкідливий вплив геліоустановок непрямий і пов'язаний з технологічними процесами виробництва нових сполук, в тому числі на основі

рідкоземельних елементів, які містяться в земних породах в дуже малих концентраціях. Але це, в свою чергу означає, що внаслідок видобування цих елементів будуть виведені з господарського користування площі землі на облаштування кар'єрів та розташування відвалів порожніх порід [27].

Один з недоліків сонячної енергетики - наявність свинцю, кадмію, миш'яку в фото елементах та забруднення навколишнього природного середовища в процесі виготовлення фото елементів [11].

У народному господарстві сонячну енергію, як правило, переводять в електричну енергію (прямо або опосередковано). Для цього існують наступні види сонячних електростанцій:

- . Фотоелектричні електростанції.
- . Геліотермальні електростанції.
- . Термоповітряні електростанції.
- . Сонячні аеростатні електростанції [31].

Основними елементами автономної сонячної системи є: сонячні панелі, контролер заряду, акумуляторні батареї та автономний інвертор. Така станція надійна, безпечна, безшумна. За умови правильного проектування та раціональної експлуатації система може гарантувати альтернативне забезпечення енергією до 48 годин. Технічні можливості таких станцій можуть забезпечити електроенергією основні побутові прилади - телевізор, освітлення та насоси (водяні, циркуляційні). При проектуванні будинку із постійним проживанням або в заміському будинку чи на дачі, де не проживають регулярно, в першу чергу необхідно визначити рівень споживаної потужності домогосподарства. При цьому враховується потужність всіх електроприладів, що працюють в будинку протягом доби. Надалі обраховується сумарна кількість годин роботи даних приладів, та за допомогою спеціалістів проводиться вибір автономної сонячної електростанції [2].

Сьогодні в світі фотопанелі виготовляють із різноманітних

напівпровідникових матеріалів. Найбільш поширеними є монокристалічний кремній, полікристалічний кремній, телурид кадмію, арсенід галію, сульфат кадмію та деякі інші. Монокристалічні панелі - найефективніші, але найбільш складні та дорогі, оскільки для їх виготовлення потрібен кристалічний кремній зі спеціально вирощених стрижнів, завдяки чому вони мають характерні фаски по кутках пластин. Полікристалічні - дешевші і менш ефективні. У тонко плівкових панелях використовують тонкі плівки, які виготовляють з розплавленого кремнію, сульфату кадмію. Вони найменш ефективні, але мають перевагу у гнучкості фотоелементів [13].

Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі, його хімічна стабільність і відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки [12].

Існує велика ймовірність того, що відпрацьовані панелі будуть прийматися виробниками після закінчення строку їх експлуатації для їх переробки і повторного використання дорогоцінних металів для виготовлення нових сонячних панелей [18].

Можна виділити загальні переваги та недоліки сонячних установок:

- можливість повсюдного впровадження;
- невичерпність джерела енергії;
- екологічність;
- безшумність;
- тривалий термін експлуатації;
- дотації від держави;
- можливість масштабування системи;
- мала ймовірність виходу з ладу;
- автономність [12].

Серед недоліків можна виділити:

- необхідність великих одномоментних вкладень;

- значна вартість;
- низький ККД;
- необхідність ділянки для розміщення;
- тривалий термін повернення капіталовкладень;
- необхідність правильного обслуговування;
- складність утилізації;
- можливість пошкодження або крадіжки;
- зниження ефективності в похмуру погоду [12].

Кожен 1 МВт потужності сонячної електростанції потребує відведення щонайменше 1,5 га землі [2].

Особливість мережевих фотоелектричних установок приватних домогосподарств полягає у тому, що інвестиції пропорційні, а іноді менші за вартість додаткової реконструкції, наприклад, для збільшення пропускної здатності електричної мережі, тому, як правило, їх підключення до мереж низької напруги здійснюється без будь-яких додаткових змін перетинів ліній електропередачі [7].

Вітрогенератори використовуються як засоби альтернативної енергетики. Їх застосування можна рекомендувати в районах, що не мають традиційного енергопостачання, а також в місцях, де спостерігаються часті перебої з подачею електроенергії [44].

Принцип дії всіх вітроустановок один: під напором вітру обертається вітроколесо з лопатями, яке передає крутний момент через систему передач валу генератора, що виробляє електроенергію. Існує два види таких конструкцій - з вертикальною і горизонтальною віссю обертання [43].

У загальному випадку усе різноманіття установок можна поділити на дві великі групи: 1) вітроустановки, які використовують силу лобового тиску (барабанні, багато лопатеві горизонтально-осьові, карусельні, роторні Савоніуса, вітрільні тощо); 2) вітроустановки, що використовують аеродинамічну підйомну силу (ротори Дар'є, швидкохідні горизонтально-

осьові) [2].

Вітрові установки малої потужності мають високу мобільність, ліквідність і легко монтажність. ВЕУ малої потужності може стати повноцінним джерелом енергопостачання для середньостатистичної української сім'ї при виконанні таких вимог:

- ВЕУ має відповідати вимогам системи стандартів з охорони праці у плані допустимих рівнів шуму, ультразвуку та інфразвуку, наявності блискавкозахисту;
- повинна мати достатній запас електроенергії, накопичений у системі акумуляції на випадок вітрового затишшя;
- агрегатуватись з іншими джерелами енергії (наприклад, фотоелектричними панелями) [2].

Таким чином, установка дозволяє гарантовано одержувати електроенергію змінного струму зі стабільними параметрами однофазної мережі для живлення комп'ютерів, освітлювальних приладів, холодильників, насосів, систем автоматики, інкубаторів тощо [2].

Відповідно до рівня встановленої потужності ВЕУ умовно можна розділити на чотири групи:

- ВЕУ з потужністю до 1 кВт;
- ВЕУ з потужністю до 10 кВт;
- ВЕУ з потужністю до 30 кВт;
- ВЕУ з потужністю до 100 кВт і вище [44].

Вітроустановки першої групи володіють невеликими розмірами і вагою. Їх можна рекомендувати для використання в геологорозвідувальних групах, для туристів в походах і подорожах, для живлення радіостанцій і зарядження акумуляторів автомобіля або яхти, а також для безпосереднього живлення електроприладів. Ці ВЕУ відрізняє відносно невисока ціна [44].

Вітроустановки другої групи вважаються стаціонарними. Вони здатні задовольнити потреби в електроенергії будинку та виробничого об'єкта.

ВЕУ потужністю до 10 кВт використовують у приватних домогосподарствах. Ці установки складаються з ротора та генератора (виробляє напругу у 12 В, 24 В та 48 В), є досить громіздкими та потребують заливки фундаменту для розташування на території господарства. Такі вітрові агрегати представлені і на українському ринку. Кошують вони дешевше за імпортні.

Третя група вітрових установок (до 30 кВт) відрізняється вагою - до 500 кг, підвищеною ціною і значними розмірами. ВЕУ потужністю до 100 кВт і вище застосовують у промислових масштабах. Вартість стартує від 150 тис. євро [44].

Зупинимось більш детально на установці ВЕУ-0,8, яка в даний час серійно виготовляється в Україні на харківському ПП «Світ вітру» [2].

Потужність вітроелектричної системи визначена з умов середньостатистичного енергоспоживання однією родиною 100300 кВтгод/місяць. Ця система може забезпечити:

- живлення споживачів сумарною потужністю 1,5 кВт із параметрами мережі (220 Вт; 50 Гц);
- короткочасне перевантаження до 3 кВт протягом 3-5 с. при приєднанні індукційних навантажень (потужні холодильники, електродвигуни тощо);
- виконувати функції стабілізатора напруги, тому що при будь-яких режимах роботи блоку вихідні параметри БУП залишаються незмінними (220 Вт; 50 Гц);
- накопичення енергії в АБ з наступним її перетворенням за допомогою БУП в параметри мережі протягом часу, обумовленому ємністю АБ [2].

Для електропостачання невеликих розосереджених споживачів потрібні автономні вітрові установки відносно малої потужності. Мінливість енергії вітру вимагає мати в складі вітрової установки накопичувач енергії у вигляді акумуляторної батареї. Потужність таких установок використовується для

освітлення приміщень, засобів зв'язку і, як правило не перевищує 5 кВт. Якщо енергія використовується для опалення, то їх потужність може досягати 20 кВт і більше. Вартість установки залежить від системи управління електричним генератором [34].

Переваги використання вітрових енергоустановок:

- відсутність викидів двоокису вуглецю;
- доступність джерела енергії;
- швидкий монтаж [36].

Автономна вітроустановка - найбільш оптимальне рішення для віддалених від мережі об'єктів. Вона знаходить широке застосування для енергозабезпечення приватних будинків [12].

Установки малої потужності - 15-10 кВт, з діаметром колеса 3-10 м, які мають дві або три лопаті призначені для зарядження акумуляторів, забезпечення роботи насосів, побутових приладів [38].

Термін окупності вітроенергетичної установки, залежно від місцевості, забезпеченості комунікаціями та потужності становить від 3 до 8 років. Питомі капітальні витрати для станцій малої потужності становлять 800-1000 у.о. за 1 кВт встановленої потужності і зменшуються зі збільшенням потужності установки [38].

Для встановлення автономної вітрової установки рекомендовано встановити акумуляторні батареї, у яких накопичується електрична енергія, яку виробляє агрегат за сприятливих погодних умов. Автономну ВЕС можна поєднати з фотоелектричним модулем [38].

Результати дослідження свідчать, що Bloomberg NEF свідчать, що в даний час найдешевшими джерелами енергії у світі є сонячні та вітрові станції, обладнані акумуляторними сховищами [2].

Геліовітроенергетичні установки можуть бути використані у схемі тепло або електропостачання. У першому випадку геліоустановка перетворює сонячну енергію в теплоту, а нагріта вода акумулюється в баку.

Вітроустановка виробляє електричну енергію, яка подається безпосередньо у ТЕН бака-акумулятора. Таким чином, об'єднане використання геліовітроустановок дозволяє автономно забезпечувати потребу у гарячій воді [27].

Таким чином, принцип роботи енергоустановок на основі ВДЕ полягає у перетворенні вітрового та сонячного потоку енергії за допомогою технічних засобів в електроенергію для задоволення потреб домогосподарства.

### **3.1. Ефективність роботи енергогенеруючих установок**

Важливим фактором, який впливає на кінцевий результат роботи сонячних установок є величина енергії сонячної радіації, яка значною мірою залежить від астрономічних і метеорологічних факторів - висоти сонця над обрієм, хмарності, вологості, тривалості дня та прозорості атмосфери. Сонячне випромінювання, що надходить на поверхню складається з прямої, розсіяної радіації та випромінювання, що відбивається від поверхні землі і різних предметів, розташованих поблизу цієї поверхні [2].

Параметром, що характеризує потужність сонячної енергії є густина потоку випромінювання, яка відображає кількість енергії, що протікає за одиницю часу через одиницю площі, орієнтовану перпендикулярно до випромінювання в атмосфері і вимірюється у Вт/м<sup>2</sup> [34].

Надходження сумарної сонячної радіації на територію визначається наступними географічними чинниками: географічною широтою, часом доби, хмарністю та особливостями підстилаючої поверхні [10].

Щоб отримати максимальну кількість енергії, кут падіння сонячних променів на поверхню панелі має бути максимально можливим, тобто вона повинна мати південну експозицію [53].

Для отримання максимальної потужності сонячної енергії кут нахилу поверхні геліоустановки необхідно змінювати протягом року. Для України влітку оптимальний кут нахилу складає 22°-39°, а взимку - 58°-75°, в

залежності від місцевості. У випадку, коли сонячна установка має нерухому поверхню, її орієнтують у південному напрямку під певним кутом до горизонту [34].

Можна виділити кілька чинників, що призводять до зміни ККД сонячних батарей:

1. Запиленість - чим сильніше забруднена поверхня батареї, тим менше сонячних променів надходить на поверхню напівпровідника.
2. Затіненість - потрапляння тіні на поверхню сонячної батареї призводить до зниження генерації струму.
3. Температура панелі - при нагріванні поверхні сонячної батареї її продуктивність значно скорочується.
4. Орієнтація - максимальна ефективність генерації досягається за умови, що сонячні промені падають строго перпендикулярно до поверхні сонячної батареї [50].

Найбільш перспективною для розвитку вітроенергетики може бути територія південних і південно-західних областей України [11].

Проблемою є необхідність в установці систем охолодження панелей, оскільки під час нагрівання їх ефективність падає. Для усунення цього фактору під сонячними батареями монтують баки з водою, яка вбирає зайве тепло і може використовуватися для опалення приміщення або централізованого постачання гарячої води [18].

При виборі типу сонячних панелей потрібно враховувати:

- 1) значення номінальної напруги панелей;
- 2) геометричні розміри сонячних панелей;
- 3) тип фотоелементів.

Найчастіше надається перевага панелям з напругою 24 В. Якщо говорити про вибір матеріалу, то необхідно враховувати, що у монокристалічних панелей за розсіяного освітлення вироблення електричного струму різко зменшується, а ККД полікристалічної батареї на

15-20 % менший за ККД монокристалічної, але за недостатнього освітлення її продуктивність незначно знижується. Батарея з аморфного кремнію дешевша полікристалічної, але термін її експлуатації в 2-3 рази менший [21].

Завдяки модульності системи вона добре піддається масштабуванню. Це означає, що якщо з часом збільшується витрата електроенергії в силу установки нового обладнання, то продуктивність системи можна підвищити простою установкою додаткових елементів [12].

Серед способів підвищення ефективності роботи сонячних установок є максимізація використання сонячного потоку із застосуванням систем стеження, які дають можливість постійно змінювати просторову орієнтацію фотоелементів сонячної установки. При цьому, вплив, застосування механізмів просторової орієнтації сонячних установок на ефективність роботи цих установок з урахуванням часових, географічних і кліматичних факторів досліджено недостатньо [45].

Незважаючи на поширену хибну думку, насправді фотоелементи виробляють більше енергії при низьких температурах. Це пояснюється тим, що фотоелементи - це електронні пристрої й виробляють енергію від світла, а не від тепла, тобто працюють ефективніше в холоді, ніж при високих температурах. А взимку вони виробляють менше енергії лише за рахунок скорочення світлового дня, а також тому що кут падіння сонячного світла у цей період менший, а хмарність більша [44].

На Землі один квадратний метр, що є усередненим значенням, може збирати близько 4 кВт/год сонячної енергії кожного дня [35].

Будь-який генератор, який використовує первинну енергію для виробництва електроенергії, має коефіцієнт корисної дії -  $\eta$ , для сонячних батарей він знаходиться у проміжку 0,2-0,3. Якщо взяти мінімальне значення 0,2, то середня величина потужності електроенергії, яку можна отримати з 1 м<sup>2</sup>, дорівнює 30 Вт, рік містить 8760 годин, тому з 1 м<sup>2</sup> можна отримати 263 кВт/год [23].

Проаналізувавши, вартість електроенергії за різні роки, можна зазначити, що на відміну від традиційних джерел енергії вартість 1 кВт/год сонячної енергії знизилася з 20 у. о. у 1975 році до 0,4-0,7 у 2008 році [32].

Висока вартість сонячних фотоелементів є однією з головних перешкод на шляху до масового використання цього виду енергії, але в останні роки спостерігається суттєве зниження цін на панелі та роботи з їх установа [18].

Вартість невеликої сонячної електростанції потужністю 1 кВт становить 1200 доларів [52].

Для кожного вітродвигуна існують свої межі робочих швидкостей вітру:

$V_{min}$  - слабкий вітер, за якого вітроколесо не обертається;

$V_{min}-V_{max}$  - робочі швидкості вітру;

$V_{max}$  - сильний вітер, при якому двигун вимикають для попередження аварій [10].

Енергія вітрового потоку залежить від швидкості вітру та щільності повітря, яка визначається фізичним станом та складом повітря - температурою, тиском, вологістю [10].

Для домогосподарств, розташованих у районах зі сприятливими для використання енергії вітру умовами актуальним є впровадження вітроелектричних установок малої потужності.

Вітер характеризується не тільки багаторічною і сезонною мінливістю, але також змінює свою активність протягом доби і за дуже короткі проміжки часу (пориви вітру). Однак, сучасні досягнення в галузі вітроенергетики забезпечують ефективне використання енергії вітру [2].

Тому під час прийняття рішення щодо впровадження у роботу вітрової установки для побутових потреб варто враховувати технічні характеристики та можливості установки у конкретних географічних умовах, а також особливості ландшафту, які впливають на кінцевий результат.

Що вище над поверхнею знаходиться вітроколесо, і чим більший його діаметр, тим більше стабільної електроенергії виробляє. Потужність вітроустановки у 5 кВт характерна для агрегату з діаметром колеса до 3 м і періодом обертання 0,1 секунди [13].

Для оптимальної роботи вітроелектричної установки важливо звертати увагу на якість матеріалів та конструкторські характеристики агрегату.

Лопаті вітряка - найдорожча частина всієї установки. За кордоном їх виготовленням займаються авіаційні, аерокосмічні та суднобудівельні підприємства. Це пояснюється високими вимогами до цієї частини ВЕУ, а саме: висока міцність на розривання і вигинання, відносно невисока маса, здатність працювати в широкому діапазоні температур (від  $-50^{\circ}$  до  $+60^{\circ}$  °C), стійкість до обмерзання, точність форми профілю лопаті, низька шорсткість поверхні. Вказаним вимогам відповідають лопаті, виготовлені з композитних матеріалів, склопластиків, пресованого алюмінію [34].

Кут встановлення лопатей для невеликих вітроелектричних установок змінний, що забезпечує захист від перевищення максимальної частоти обертання та регулювання потужності [10].

Закони фізики стверджують, що обсяг електроенергії, виробленої ВЕУ протягом одиниці часу, прямо пропорційний площі захопленої поверхні вітроколеса (або квадрату діаметра вітроколеса) і кубу швидкості вітру. Тому значні зусилля розробники ВЕУ докладають до збільшення довжини лопатей і збільшення висоти осі ротора. Внаслідок останнього збільшується швидкість вітрового потоку через зменшення його тертя об землю [2].

Таким чином, на ефективність роботи вітрової установки в конкретному домогосподарстві впливають чисельні зовнішні фактори. Сюди відносять швидкість та поривчастість вітру, висоту місцевості, наявність поряд забудов, насаджень тощо.

Для вибору конкретного типу енергогенеруючої установки важливо проаналізувати усі чинники, які знижують або підвищують продуктивність

установки, врахувати наявні умови розташування та потреби в електроенергії у конкретному домогосподарстві.

Потужність вітрового потоку зростає пропорційно кубу швидкості. Тому вибір майданчика з точки зору максимальної швидкості вітру має критичне значення для подальшої ефективної роботи ВЕС. Існують сучасні засоби обліку ефективності застосування ВЕУ для конкретного майданчика. Наприклад, англійська програма WindFarm, розроблена компанією ReSoft і пакет програмного забезпечення WASP датської лабораторії. Програми дозволяють розрахувати параметри вітрового потоку і ефективність роботи ВЕУ для конкретного місця на земній поверхні, скориставшись інформацією про швидкість і напрям вітру в регіоні і даними про місцевий рельєф [44].

У цих програм є ряд недоліків. По-перше, точність розрахунків за лежить від достовірності і точності введених даних. По-друге, дані щодо швидкості вітру та його напрямку повинні містити інформацію, яка збирається протягом мінімум п'яти років.

Так, наприклад, досвід показав, що дані про середньорічну швидкість вітру, отримані метеостанціями України, непридатні для прогнозу виробництва електроенергії за допомогою ВЕС, через те, що їх похибка часто складає 40-70 % [44].

Отже, ефективність роботи енергогенеруючої установки визначається факторами навколишнього природного середовища, в якій вона розташовується, а також технічними характеристиками обраної енергоустановки.

### **3.3 Доцільність впровадження теплових насосів в комунальному господарстві**

Для дослідження доцільності використання вітрової та сонячної енергоустановок у приватному домогосподарстві для забезпечення потреб в електроенергії було обрано домогосподарство, розташоване на півдні

України.

На території господарства розміщено будинок, господарські споруди, сад, огорода. Поряд є забудови - сусіднє домогосподарство.

Загальна площа домогосподарства - 0,55 га.

Площа під обслуговування житлового будинку - 0,25 га.

Площа особистого підсобного господарства - 0,3 га.

I. Обчислення загальної площі домогосподарства:

$$1. (25-80) : 2 = 1000 \text{ м}^2$$

$$2. 41-80 = 3280 \text{ м}^2$$

$$3. 26-43 = 1118 \text{ м}^2$$

$$4. (6-43) : 2 = 129 \text{ м}^2$$

$$5. S_1 = 5527 \text{ м}^2.$$

II. Обчислення площі, зайнятої двором та будівлями:

$$1. 14-18 = 252 \text{ м}^2$$

$$2. 20-43 = 860 \text{ м}^2$$

$$3. (6-43) * 2 = 129 \text{ м}^2$$

$$4. S_2 = 1241 \text{ м}^2.$$

III. Обчислення площі, зайнятої багаторічними насадженнями:

$$1. \text{Сад: } 18-29 = 522 \text{ м}^2.$$

IV. Обчислення площі, зайнятої ріллею:

$$5527 - 1241 - 522 = 3764 \text{ м}^2.$$

Проаналізуємо потенційну можливість автономного забезпечення домогосподарства електроенергією.

Для цього на основі вихідних даних про щомісячне споживання електроенергії розрахуємо середньорічну та максимальну кількість енергії, спожитої домогосподарством протягом року.

Під час розрахунків необхідно враховувати нерівномірність споживання електроенергії за календарний місяць, що залежить від пори року. Взимку показники споживання електроенергії - найбільші, але

необхідно враховувати, що літній період - найдовший (з травня по вересень включно), що пов'язано з обслуговування господарства. Отже, визначимо середньорічну кількість електроенергії, яку витрачає домогосподарство:

$$1400-3,5+900-6+1100-1,5+1100-2 = 14\ 150 \text{ кВт/рік.}$$

Максимальна кількість електроенергії, яку споживає приватне домогосподарство дорівнює:

$$1500-3,5+1000-6+1200-1,5+1200-1,5 = 14\ 850 \text{ кВт/рік.}$$

Відомо, що  $1\text{ м}^2$  сонячної фото панелі виробляє 263 кВтгод електроенергії за рік. Визначимо площу поверхні фотоприймачів потужністю 263 кВт необхідної для забезпечення потреб домогосподарства в електроенергії протягом року:

$$\begin{aligned} 1 \text{ м}^2 &= 263 \text{ кВт} \\ x (\text{м}^2) &= 14\ 850 \text{ кВт.} \\ x &= 14\ 850 : 263 = 56,5 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

Середня площа фотопанелі потужністю 30 Вт/год дорівнює  $1,6 \text{ м}^2$ . Отже, можна розрахувати, скільки панелей необхідно встановити на даху домогосподарства для покриття максимальної кількості електроенергії, яка споживається протягом року:

$$56,5 : 1,6 = 35 \text{ фотопанелей.}$$

Визначимо скільки електроенергії виробляє поверхня ФП потужністю  $1\text{ м}^2$  - 263 кВтгод/рік, загальною кількістю 35 ФП та площею фотоприймачів  $56,5 \text{ м}^2$ :

$$56,5^{263} = 14\,860 \text{ кВтгод/рік.}$$

Таким чином, для забезпечення автономного електроспоживання домогосподарством необхідно встановити 35 фотопанелей потужністю 30 Вт/год на південно-західному схилі даху площею 65 м<sup>2</sup>, що забезпечить максимально можливий кут падіння сонячних променів і позитивно впливатиме на ефективність роботи фотоприймачів.

У якості альтернативного джерела електропостачання можна розглянути вітрову електроустановку для приватного домогосподарства. Для цього розрахуємо кількість електроенергії, яку виробляє вітроустановка ВЕУ - 0,8 потужністю 2,4 кВт протягом року:

$$Q_s = (0,25:0,3)^{8760} \cdot 2,4 = 17\,520 \text{ кВт/рік.}$$

Максимальна кількість електроенергії, яка витрачається домогосподарством протягом року, становить 14 850 кВт/год (Додаток В). Різниця між спожитою електроенергією і виробленою вітроустановкою становить:

$$17\,520 - 14\,850 = 2\,670 \text{ кВт/год.}$$

З 01.01.2023 р. відповідно до постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг № 1961 «Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію, вироблену генеруючими установками приватних домогосподарств» «зелений» тариф на електроенергію в Україні, вироблену з енергії вітру генеруючими установками приватних домогосподарств, потужність яких не перевищує 30 кВт та які введені в експлуатацію з 1 січня 2020 р. по 31 грудня 2024 року дорівнює 403,59 коп/кВтгод (без ПДВ) [57].

Розрахуємо можливий річний дохід (без урахування ПДВ) власника домогосподарства у разі встановлення вітрової установки потужністю 2,4 кВт:

$$2\,670 - 403,59 = 1077585 \text{ коп} = 10\,775 \text{ грн/рік,}$$

що відповідає 897 грн за місяць при умові ефективної роботи вітрової установки (таблиця 3.1).

### **Результати дослідження автономного забезпечення електроенергією приватного домогосподарства**

Таблиця 3.1.

Кількість електроенергії кВтгод/рік			Необхідна кількість ФП (шт.)
Витраченої (макс.)	Виробленої ВЕУ	Виробленої СЕС	35
14 850	17 520	14 860	

Таким чином, можна зробити висновок, що вітрова установка малої потужності здатна забезпечити автономне електроспоживання у приватному домогосподарстві та щомісячний дохід від продажу надлишкової електроенергії за сприятливих умов розташування.

Зазначимо, що у разі розташування вітрової енергоустановки на території досліджуваного домогосподарства ефективність роботи агрегату буде нижчою за очікувану. Наявність забудови та насаджень поблизу установки негативно впливатиме на кількість виробленої ВЕУ електроенергії, яка залежить від вітрового потоку, який давить на лопатей вітрової установки.

Тому у даному домогосподарстві рекомендовано використання сонячної електростанції. Фотопанелі повинні мати південну експозицію (у нашому випадку - південно-західну) для забезпечення максимального кута падіння сонячних променів на поверхню фотоприймачів та вироблення максимально можливої кількості електроенергії, що у свою чергу дозволить автономно та незалежно від центральної мережі електропостачання забезпечити потреби домогосподарства у електроенергії протягом наступних кількох десятиліть.

Враховуючи середній термін окупності невеликих СЕС (5-7 років), використання сонячної електростанції є доцільним у приватних домогосподарствах, які прагнуть енергетичної незалежності.

## ВИСНОВКИ

За результатами дослідження ми дійшли висновків:

1. Проблема використання альтернативних джерел енергії для побутових потреб приватних домогосподарств активно досліджується як в Україні, так і в світі. Вітрові та сонячні енергогенеруючі установки різної потужності успішно впроваджуються для забезпечення потреб в електроенергії приватного сектора.

2. Доцільність використання альтернативних джерел енергії для приватних домогосподарств обумовлена енергетичною незалежністю від централізованої мережі електропостачання. Враховуючи нестабільність постачання електроенергії населенню в Україні, використання сонячних та вітрових електроустановок для побутових потреб вирішує питання автономного енергозабезпечення приватних домогосподарств.

3. Можливість впровадження альтернативних джерел енергії для приватних домогосподарств визначається природним енергетичним потенціалом місцевості, потребами в електроенергії конкретного домогосподарства та потужністю обраної установки.

4. Сонячні електростанції, а також вітрові установки малої потужності вигідно розміщувати на території приватного домогосподарства.

5. Енергогенеруючі установки, які працюють за рахунок енергії сонця та вітру, здатні задовольнити потреби домогосподарства в електроенергії та забезпечити безперебійне електропостачання для споживачів, що сприяє утворенню енергетичної незалежності окремих приватних господарств та держави в цілому.

Автор рекомендує впроваджувати автономну систему енергопостачання до приватних домогосподарств, оскільки це позбавить їх власників залежності від централізованого енергопостачання та може надати стабільний економічний прибуток.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ І ЛІТЕРАТУРИ**

1. Адаменко Я., Архипова Л., Москальчук Н. Методика екологічної оцінки використання відновлюваних джерел енергії / Я. Адаменко, Л. Архипова, Н. Москальчук // *Екологічна безпека*. - 2015. - № 2 (20). - С. 37-42.
2. Барило А., Бенменні М., Бурдюк В. Відновлювані джерела енергії / С. Кудря. - К. : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. - 392 с.
3. Бабина О. Світовий досвід розвитку альтернативних джерел енергії / О. Бабина // *Держава та регіони*. - 2019. - № 6 (111). - С. 15-19.
4. Беляєва С. «Зелена» економіка в контексті впровадження енергоощадних та ресурсозберіжних технологій / С. Беляєва // *Економічні інновації*. - 2012. - № 48. - С. 28-38.
5. Біла С. Інституційна підтримка міжнародного економічного співробітництва в сфері відновлюваної енергетики / С. Біла // *Міжнародна економіка*. - 2018. - № 37/1. - С. 267-275.
6. Бодак О. Місце альтернативних джерел енергії в системі об'єктів екологічного права України / О. Бодак // *Підприємництво, господарство і право*. - 2017. - № 7. - С. 57-61.
7. Бодунов В. Забезпечення допустимих рівнів напруги в низьковольтних мережах при проектуванні сонячних електростанцій приватних домогосподарств / В. Бодунов // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. - 2021. - № 1 (2). - С. 23-27.
8. Боровик Ю., Єлагін Ю. Проблеми та перспективи розвитку альтернативної енергетики в Україні / Ю. Боровик, Ю. Єлагін // *Вісник економіки транспорту і промисловості*. - 2019. - № 65. - С. 68-75.
9. Бортюк Т. Відновлювана енергетика України / Т. Бортюк // *Економічний аналіз*. - 2013. - Ч. 1. - № 12. - С. 51-54.
10. Величко С. Енергетика навколишнього середовища України (з

електронними картами) / І. Черваньов - Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. - 2003. - 52 с.

11. Геліч Н., Панасюк Ю., Оніщук В. Альтернативна енергетика в Україні: стан та перспективи розвитку / Н. Геліч, Ю. Панасюк, В. Оніщук // *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. - 2020. - № 2. - С. 143-151.

12. Голик О., Жесан Р., Волков І., Чеканов О., Березюк І. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії / О. Голик, Р. Жесан, І. Волков. - Ч. 1. - Кропивницький : Лисенко В.Ф., 2020. - 192 с.

13. Дядькович В., Комар В., Кравчук С. Відновлювана енергетика для журналістів / В. Дядькович, В. Комар, С. Кравчук. - Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2021. - 80 с.

14. Єлісеєва О., Хазан П. Деякі аспекти оцінювання перспектив модернізації світової енергетики / О. Єлісеєва, П. Хазан // *Бізнесінформ*. - 2017. - № 3. - С. 66-71.

15. Загарій В., Ковальчук Т. Відновлювана енергетика: тенденції розвитку у світі та Україні / В. Загарій, Т. Ковальчук // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. - 2021. - № 36. - С. 70-75.

16. Захаров В. Зарубіжний досвід та механізми фінансування розвитку енергетики / В. Захаров // *Економічна наука*. - 2017. - № 3. - С. 93-96.

17. Каневська І., Уманець С. Проблеми і перспективи фінансування проектів відновлюваної енергетики в Україні / І. Каневська, С. Уманець // *Фінанси, грошовий обіг, кредит*. - 2019. - № 42. - С. 150-157.

18. Касич А., Литвиненко Я. Чинники розвитку альтернативної енергетики у сучасних умовах / А. Касич, Я. Литвиненко // *Економіка і суспільство*. - 2017. - № 12. - С. 93-99.

19. Ковальов І. Альтернативні джерела енергії України / І. Ковальов,

О. Ратушний. - Суми : Вид-во СумДУ, 2015. - 201 с.

20. Когут У., Романишин С., Садовник С. Альтернативна енергетика в Україні: стан, фінансово-інституційне забезпечення та перспективи розвитку / У. Когут, С. Романишин, С. Садовник // *Науковий вісник НЛТУ України*. - 2017. - №27 (2). - С. 11-16.

21. Колонтаєвський Ю. Фотоенергетика / Ю. Колонтаєвський, Д. Тугай, С. Котелевець. - Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. - 160 с.

22. Колеватова А. Використання альтернативних джерел енергії в аграрному секторі економіки / А. Колеватова // *Економіка природокористування та охорони навколишнього середовища*. - 2017. - № 16. - С. 558-563.

23. Кудін Т., Саяпін С. Стратегія розвитку відновлюваної енергетики з позицій суспільного добробуту / Т. Кудін, С. Саяпін // *Бізнесінформ*. - 2020. - № 4. - С. 163-171.

24. Кудря С. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні / С. Кудря // *Вісник НАН України*. - 2015. - № 12. - С. 19-26.

25. Кузнєцова Г. Перспективи використання відновлюваних джерел енергії в системі раціонального природокористування в регіоні / Г. Кузнєцова // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. - 2018. - № 20. - Ч. 1. - С. 182-188.

26. Кучерява І., Сорокіна Н. Відновлювана енергетика в світі та Україні станом на 2019 р. - початок 2020 р. / І. Кучерява, Н. Сорокіна // *Гідроенергетика України*. - 2020. - № 1-2. - С. 38-44.

27. Мальований М., Боголюбов В., Шаніна Т., Шмандій В., Сафранов Т. Техноекологія / М. Мальований. - Львів : Національний університет «Львівська політехніка», 2013. - 424 с.

28. Малярєнко В. Енергетика і навколишнє середовище / В. Малярєнко. - Харків : «САГА», 2008. - 364 с.

29. Малярєнко В. Енергетичні установки. Загальний курс / В.

Маляренко. - 2-е видання. - Харків : «САГА», 2008. - 320 с.

30. Матвійчук Н. Фінансове стимулювання енергозбереження в Україні / Н. Матвійчук // *Науковий вісник НЛТУ України*. - 2015. - № 25 (7). - С. 94-100.

31. Мельничук М. Альтернативна енергетика / М. Мельничук, В. Дубровін, В. Мироненко, І. Григорюк, В. Поліщук, Г. Голуб, В. Таргоня, С. Драгнєв, І. Свистунова, С. Кухарець. - К : «Аграр Медіа Груп», 2012. - 244 с.

32. Могилко О. Аналіз перспектив розвитку сонячної енергетики та інших альтернативних джерел енергії України / О. Могилко // *Вісник економіки транспорту і промисловості*. - 2010. - № 30. - С. 51-53.

33. Монастирський Г. Енергетична політика ЄС в контексті забезпечення енергоефективності суб'єктів господарювання / Г. Монастирський // *Економіка: реалії часу*. - 2016. - № 5 (27). - С. 11-16.

34. Немикіна О. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії / О. Немикіна - Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. - 188 с.

35. Олійник Ю. Використання сонячних батарей у сучасних умовах / Ю. Олійник // *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського*. - 2018. - Т. 29 (68). - № 2. - С. 220-224.

36. Півняк Г. Альтернативна енергетика в Україні / Г. Півняк, Ф. Шкрабець - Д. : НГУ, 2013. - 109 с.

37. Повханіч А. Вітроенергетика як ключовий елемент енергетичної стратегії / А. Повханіч // *Науковий вісник Ужгородського національного університету*. - 2017. - № 13 (2). - С. 81-86.

38. Полянський О., Дьяконов О., Скрипник О., Фесенко Г., Дьяконов В., Харченко Ю., Торосов А., Волощенко В. Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення / В. Дьяконов. - Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. - 136 с.

39. Рощина Н., Борданова Л. Аналіз процесу впровадження систем виробництва сонячної енергії для приватних домогосподарств України / Н. Рощина, Л. Борданова // *Економічна наука*. - 2018. - № 19. - С. 24-27.
40. Рудик Н., Рудик А., Моклиця Н. Використання міжнародних фінансових інструментів стимулювання розвитку відновлюваної енергетики в Україні / Н. Рудик, А. Рудик, Н. Моклиця // *Економічний часопис Східноєвропейського національного університету імені Лесі Українки*. - 2019. - № 2. - С. 108-114.
41. Рязанова Н. Організаційно-економічне забезпечення інноваційного розвитку відновлюваної енергетики / Н. Рязанова // *Бізнесінформ*. - 2017. - № 8. - С. 95-100.
42. Семенова Д. Перспективи використання альтернативних джерел у світовій енергетиці / Д. Семенова // *Бізнесінформ*. - 2015. - № 5. - С. 141-145.
43. Семенюк В., Оксенюк Р., Крупенко Д. Перспективи застосування відновлюваних джерел енергії / В. Семенюк, Р. Оксенюк, Д. Крупенко // *Вісник НУБГП*. - 2019. - № 2 (86). - С. 195-202.
44. Сінчук І., Бойко С., Лосіна К., Луценко І., Ткаченко Г. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / О. Сінчук. - Кременчук : Вид-во «ПП Щербатих О. В.», 2013. - 192 с.
45. Тонюк М. Застосування комплексних сонячних установок для енергозабезпечення підприємств агропромислового комплексу України / Х. Замула // *Економіка*. - 2020. - № 2. - С. 50-59.
46. Черницька Т., Новосад Ю. Альтернативна енергетика Сполучених Штатів Америки в умовах глобальних викликів / Т. Черницька, Ю. Новосад // *Міжнародна економічна політика*. - 2018. - № 2 (29). - С. 75-108.
47. Чернюк А., Кирисов І., Черевик Ю. Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні / А. Чернюк, І. Кирисов, Ю. Черевик // *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського*. - 2021. - Т. 32 (71). - № 3. - С. 239-246.

48. Шафаренко Ю. «Зелена енергія»: сонце, вітер, біомаса. Законодавчі ініціативи й стан розвитку на початку 2019 року / Ю. Шафаренко // *Екобізнес*. - 2019. - № 2 (79). - С. 18-25.
49. Андрищенко К. Міжнародний досвід застосування державних програм щодо підтримки розвитку відновлюваних джерел енергії / К. Андрищенко // *Державне управління : удосконалення та розвиток*. - 2018. - № 6. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://www.dy.nauka.com.ua/>
50. Болдирев А., Комар В. Доцільність використання сонячних панелей переваги та недоліки / А. Болдирев, В. Комар. - 2020. [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://ir.lib.vntu.edu.ua/>
51. Ільченко В., Заєць А. Енергоефективність - важлива конкурентна перевага для України / В. Ільченко, А. Заєць // *Університет митної справи та фінансів*. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://conf.ztu.edu.ua/>
52. Панова І. Відновлювальна енергетика як чинник збереження екології / І. Панова. - С. 178-179. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://oldena.lpnu.ua/>
53. Патрушева Л., Венгер Н. Оцінка можливості розташування мініелектростанцій на дахах багатоповерхових будинків спального району м. Миколаєва / Л. Патрушева, Н. Венгер // *Екологічні науки*. - Т. 1. - № 2 (29). - С. 113-116. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.1.18/>
54. Сівіцька С. Стратегічні напрями інвестування альтернативної енергетики в контексті розвитку національної економіки / С. Сівіцька. - 2014. - № 1 (1). - С. 76-80. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/med\\_2014\\_1\(1\)-17/](http://nbuv.gov.ua/UJRN/med_2014_1(1)-17/)
55. Сотник І. Організаційно-економічні проблеми і перспективи розвитку відновлювальної енергетики у приватних домогосподарствах України / І. Сотник. - С. 47-56. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://irbis-nbuv.gov.ua>

56. Щур І., Галайко Т., Дзьоба Т. Економічна ефективність сонячної електростанції в індивідуальному домогосподарстві за різних сценаріїв динаміки «зеленого» тарифу / І. Щур, Т. Галайко, Т. Дзьоба // *Електроенергетичні та електромеханічні системи*. - 2021. - № 1 (4). - С. 87-102. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу :  
<http://doi.org/10.23939/sepes2021.01.087/>
57. Зелені тарифи з 1 січня 2023 року - Прикарпат Енерго Трейд. - [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://pret.com.ua>