

Міністерство освіти і науки України  
Національний університет водного господарства  
та природокористування  
Кафедра будівельних, дорожніх, меліоративних,  
сільськогосподарських машин і обладнання

**02-01-539М**

### **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання практичних робіт з освітньої компоненти  
**«Відновлювальні джерела енергії в АПК»**  
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня  
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»  
спеціальності 208 «Агроінженерія»  
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною  
радою з якості ННМІ  
Протокол № 4 від 27 грудня 2022 р.

Рівне – 2023

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з освітньої компоненти «Відновлювальні джерела енергії в АПК» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» за спеціальності 208 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Голотюк М. В., Ігнатюк Р. М., Ювчик Н. О. – Рівне : НУВГП, 2023. – 35 с.

Укладачі:

Голотюк М. В. – к.т.н., доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання;

Ігнатюк Р. М. – к.т.н., доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства;

Ювчик Н. О. – аспірантка.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., в. о. завідувача кафедри агроінженерії.

Керівник групи забезпечення спеціальності  
208 «Агроінженерія»

Налобіна О. О.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання  
Протокол № 6 від 19 грудня 2022 року.

Схвалено науково-методичною радою з якості ННМІ  
Протокол № 4 від 27 грудня 2022 року.

© М. В. Голотюк,  
Р. М. Ігнатюк,  
Н. О. Ювчик, 2023  
© НУВГП, 2023

## ЗМІСТ

<i>Практична робота № 1. Оцінка енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України .....</i>	4
<i>Практична робота № 2. Геотермальна енергія Землі. Розрахунок параметрів теплових насосів.....</i>	10
<i>Практична робота № 3. Розрахунок параметрів сонячних батарей.....</i>	15
<i>Практична робота № 4. Розрахунок океанічних ТЕС .....</i>	18
<i>Практична робота № 5. Розрахунок вітроенергетичної установки.....</i>	21
<i>Практична робота № 6 Геліотермальна енергетика. Розрахунок сонячних колекторів .....</i>	22
<i>Практична робота № 7 Розрахунок гідроелектростанції .....</i>	25
<i>Додатки .....</i>	28
<i>Список рекомендованої літератури .....</i>	35

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

### Тема: Оцінка енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України

#### *Теоретичні відомості.*

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

У результаті обробки статистичних метеорологічних даних по швидкості та повторюваності швидкості вітру проведено районування території України по швидкостях вітру і визначено питомий енергетичний потенціал вітру на різній висоті відповідно до зон районування.

У умовах України за допомогою вітроустановок можливим є використання 15-19% річного об'єму енергії вітру, що проходить крізь перетин поверхні вітроколеса. Очікувані обсяги виробництва електроенергії з 1 м<sup>2</sup> перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800-1000 кВт·год/м<sup>2</sup> за рік. Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру більша 5 м/с: на Азово-Чорноморському узбережжі, в Одеській, Херсонській, Запорізькій, Донецькій, Луганській, Миколаївській областях, АР Крим та в районі Карпат.

Експлуатація тихохідних багатолопатевих вітроустановок з підвищеним обертаючим моментом для виконання механічної роботи є ефективною практично на всій території України.

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

**Сонячна енергія.** У результаті обробки статистичних метеорологічних даних з надходження сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає

на  $1 \text{ м}^2$  поверхні, на території України знаходиться в межах: від  $1070 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$  в північній частині України до  $1400 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$  і вище в АР Крим.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Термін ефективної експлуатації геліоенергетичного обладнання в південних областях України – 7 місяців (з квітня по жовтень), в північних областях 5 місяців (з травня по вересень). Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися впродовж всього року.

У кліматометеорологічних умовах України для сонячного теплопостачання ефективним є застосування плоских сонячних колекторів, які використовують як пряму, так і розсіяну сонячну радіацію. Концентруючи сонячні колектори можуть бути достатньо ефективними тільки в південних регіонах України.

**Енергетичний потенціал малих рік.** Україна має потужні ресурси гідроенергії малих рік. Загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить біля 12,5 млрд. кВт·год, що складає біля 28% загального гідропотенціалу всіх рік України.

Головною перевагою малої гідроенергетики є дешевизна електроенергії, генерованої на гідроелектростанціях; відсутність паливної складової в процесі отримання електроенергії при впровадженні малих гідроелектростанцій дає позитивний економічний та екологічний ефект.

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

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

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

**Енергетичний потенціал біомаси.** В Україні існує достатній енергетичний потенціал практично всіх видів біомаси і необхідна науково-технічна та промислова база для розвитку даної галузі енергетики. Показники енергетичного потенціалу біомаси відрізняються від потенціалу інших відновлюваних джерел енергії тим, що, окрім кліматометорологічних умів, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

Енергетичний потенціал біомаси представлено такими її складовими – енергетичним потенціалом тваринницької і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів деревини.

Основними технологіями переробки біомаси, які можна рекомендувати до широкого впровадження в даний час є: пряме спалювання, піроліз, газифікація, анаеробна ферментація з утворенням бігазу, виробництво спиртів та масел для одержання моторного палива.

При обґрунтуванні впровадження біоенергетичних технологій забезпечення охорони навколишнього середовища знезараженням відходів біомаси часто посідає перше місце; у процесі переробки тваринницьких відходів та міських стічних вод, окрім знешкодження небезпечної мікрофлори, гельмінтів та насіння бур'янів, які попадають в ґрунти, в поверхневі та підземні води, усувається забруднення повітря в зонах їх накопичення.

Економічна ефективність біоенергетичного обладнання в більшості випадків забезпечується правильним вибором технології переробки біомаси та розташуванням обладнання в місцях постійного її накопичення; важливим є також ефективне і, по можливості, комплексне використання всіх отриманих в процесі переробки продуктів.

**Потенціал геотермальної енергії.** Україна має значні ресурси геотермальної енергії, загальний потенціал яких в програмі державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- та теплоенергетики оцінюється величиною  $438 \cdot 10^6$  кВт·год на рік, що еквівалентно запасам палива в обсязі  $50 \cdot 10^6$  т у.п.

Геотермальні ресурси України представляють собою перш за все термальні води і тепло нагрітих сухих гірських порід. Крім цього, до

перспективних для використання в промислових масштабах можна віднести ресурси нагрітих підземних вод, які виводяться з нафтою та газом діючими свердловинами нафтогазових родовищ.

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

Найбільш поширеним і придатним в даний час до технічного використання джерелом геотермальної енергії в Україні є геотермальні води. Одним із перспективних напрямів розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, що містяться в геотермальних теплоносіях.

Новітні технології дозволяють звести негативний вплив, що виникає при експлуатації геотермальних джерел енергії, до мінімуму. Оцінки, зроблені рядом організацій, показали, що розвиток систем геотермального теплопостачання може дозволити не тільки економити органічне паливо, але й спростувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умів життя і праці населення.

**Низькопотенційні джерела енергії.** *Енергетичний потенціал теплової енергії стічних вод.* Основними джерелами низькопотенційної скидної теплоти техногенного походження є вентиляційні викиди та охолоджуюча вода технологічного та енергетичного обладнання підприємств, промислові та комунально-побутові стоки. Досвід провідних країн свідчить, що найбільш ефективним є використання теплової енергії стічних вод за допомогою теплових насосів. В Україні каналізаційні системи централізованого відведення комунально-побутових стоків функціонують в 427 містах, 515 селах міського типу, 856 селах. Питомий обсяг комунально-побутових стоків становить 0,15- 0,4 м<sup>3</sup> на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умів в окремих регіонах.

В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м<sup>3</sup>. Температура стоків становить 12-20°C в залежності від сезону.

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

Для розрахунку ресурсів низькопотенційної теплової енергії стічних вод прийнято, що температура стоків в літній період становить  $20^{\circ}\text{C}$ , а в зимовий період  $12^{\circ}\text{C}$ . В ідеальному випадку в тепловому насосі стічної води можна охолодити до  $0^{\circ}\text{C}$ , але в реальних умовах досягається охолодження до  $0,5^{\circ}\text{C}$ .

Економічно-доцільні обсяги використання низькопотенційної теплової енергії стічних вод розраховуються, виходячи з половини обсягу очищених стоків від міських поселень відповідної області (враховуються обмеження, пов'язані з нерівномірністю надходження стоків).

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

*Енергетичний потенціал теплоти ґрунту та ґрунтових вод в Україні.* Температура ґрунту та гірських порід біля поверхні Землі визначається балансом теплової енергії, що надходить від Сонця та тепловим випромінюванням земної поверхні. Теплова енергія, що надійшла від Сонця, акумулюється в шарі ґрунту осадових та гірських порід на глибинах до ізотермічної поверхні. Шар ґрунту між глибиною промерзання та ізотермічною поверхнею може розглядатися як природний сезонний акумулятор теплової енергії, причому енергія, відведена в зимовий період буде відновлюватись в теплий період року. Це стосується і ґрунтових вод, що насичують вищевказані шари ґрунту та осадових порід.

Теплова енергія ґрунту та ґрунтових вод може використовуватися для обігріву та вентиляції приміщень. Відбір теплової енергії від ґрунту може здійснюватися за допомогою ґрунтових теплообмінників різних типів. Температура теплоносія в ґрунтовому теплообміннику становить від мінус  $5-7$  до плюс  $10-12^{\circ}\text{C}$  і є придатною для виробництва теплоносія з температурою  $40-70^{\circ}\text{C}$  за допомогою теплових насосів.

Для оцінки енергетичного потенціалу енергії відновлюваних та нетрадиційних джерел і для встановлення можливих обсягів його



практичного використання та обсягів заміщення традиційних паливно-енергетичнихресурсів проведено розподіл на три різновиди – загальний, технічний і доцільно-економічний. Загальний потенціал – це уся кількість енергії, якою характеризується кожне з розглянутих джерел енергії. Технічний потенціал – це частка енергії загального потенціалу, яку можна реалізувати за допомогою сучасних технічних засобів; доцільно-економічний потенціал – кількість енергії, яку доцільно використовувати, враховуючи при цьому наступні фактори: економічні, екологічні, технічно-технологічні, соціальні та політичні.

### *Практична частина*

На основі теоретичної частини роботи дати характеристику енергетичному потенціалу певного альтернативного джерела енергії на території України. На основі таблиць і карт (додаток 1) на контурній карті України необхідно відобразити розподіл економічно-обґрунтованого потенціалу певного виду енергії. Зробити відповідні висновки. Оформлення графічної частини здійснюється відповідно до призначеного кожному студентові варіанту завдання.

1. Охарактеризувати потенціал сонячної енергії України.
2. Охарактеризувати енергетичний потенціал торфу в Україні.
3. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенційної теплотигрунту і ґрунтових вод в областях України.
4. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенційної теплової енергії стічних вод в областях України.
5. Охарактеризувати потенціал геотермальної енергії в Україні.
6. Охарактеризувати потенціал енергії тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні.
7. Охарактеризувати потенціал енергії рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні.
8. Охарактеризувати енергетичний потенціал відходів лісу в Україні.
9. Охарактеризувати енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні.
10. Охарактеризувати гідроенергетичний потенціал малих річок України.

Відповідно до варіанту завдання кожен студент повинен зробити висновки про закономірність розподілу того або іншого параметру по території України і обґрунтувати причини цього розподілу.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

### Тема: Геотермальна енергія Землі. Розрахунок параметрів теплових насосів.

#### *Теоретичні відомості.*

Час дешевого викопного палива, як головного рушія цивілізації, наближається до кінця. Обмежені запаси викопного палива та їх висока ціна дають можливість для впровадження нових технологій у комерційне застосування. Зміни, що відбулися в енергетичних системах планети, торкнулися не лише типу джерел енергії, а й централізованих енергетичних систем, у яких споживач є лише останньою ланкою. Тепер можна виробляти енергію там, де вона потрібна, і таким чином уникнути дорогої передачі. Цей варіант змінює не тільки структуру енергетичної системи, але й соціальну структуру суспільства, від колективної до індивідуальної.

Теплові насоси – це системи, які характеризуються високим співвідношенням продуктивність/вхід. Середня вхідна енергія дорівнює  $\frac{1}{4}$  вихідної енергії. Це означає, що для 1 Вт електричної енергії тепловий насос передає від землі додаткові 3 Вт геотермальної енергії, і якщо ми нехтуємо втратами, дорівнює 4 Вт теплової енергії. Теплові насоси в якості основного джерела енергії використовують теплову енергію з повітря, ґрунту або ґрунтових вод. Найнадійнішим джерелом є ґрунт і підземні води через їхню (приблизно) постійну температуру протягом року [1].

Енергія землі використовується влітку для охолодження, а взимку для обігріву. Термодинамічний принцип роботи теплового насоса описується круговим процесом Карно. Для обігріву тепла енергія ґрунту збирається у водно-антифризному розчині, який потім подається в теплообмінник (випарник), в якому він передає тепло робочому середовищу.

Робоче середовище є різновидом холодильного газу. В минулому використовувався газ фреон, але оскільки він вступає в реакцію з озonom, він більше не використовується і замінюється гідрофторвуглецями, такими як HFC-134a. Теплонасосні системи працюють виключно на основі різниці температур. При високій різниці температур передача енергії відбувається швидше.

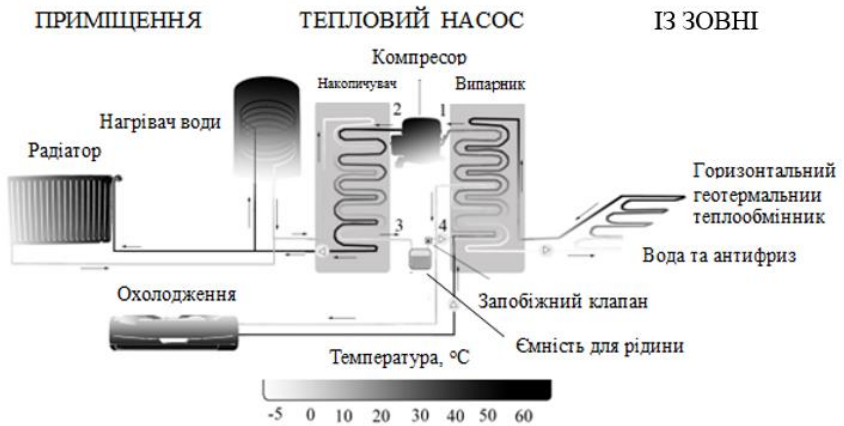


Рис. 2.1 Схема роботи теплового насоса

У пункті 2.1 (рис. 2.1.) робоче тіло виходить з випарника, в якому воно бере енергію з землі, його температура близько  $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Цієї температури недостатньо для обігріву приміщення, тому доводиться стиснути робоче тіло в компресорі, щоб підняти його температуру до  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У пункті 2 робоче середовище залишає компресор і тепер гаряча рідина йде в конденсатор. У конденсаторі робоче тіло нагріває воду, яка використовується для опалення приміщення. Підігріту воду можна використовувати для підігріву підлоги ( $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), радіаторного опалення ( $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) або з додатковим нагріванням в котлі як гарячу воду або пару. Після того, як робоча рідина віддала своє тепло середовищу, вона виходить з конденсатора (пункт 3) і надходить у ємність з рідиною. Ця ємність призначена для балансування тиску та об'єму середовища у всій лінійці теплових насосів. Після рідинного контейнера робоча рідина, яка все ще знаходиться під високим тиском, проходить через запобіжний (терморозширювальний) клапан, де його тиск і температура знижуються до 1 бар і  $-6\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]. Після цього робоче середовище готове відбирати тепло від ґрунту у випарнику і таким чином продовжує кругообіг.

Існує дві основні системи теплових насосів. У замкнутій системі використовується захований теплообмінник, тому робоча рідина ніколи не контактує з землею. Відкрита система використовує геотермальну рідину як робочу рідину (ґрунтову воду) з видобувної свердловини і після процесу повертає її до нагнітальної свердловини [3].

Горизонтальна система замкнутого контуру використовується в місцях, де є достатній простір і придатний ґрунт для будівельних робіт. Пучок труб витягується паралельно ґрунту на глибину, що перевищує глибину промерзання (близько 2 м). Недоліком цієї системи є великі коливання температури ґрунту на невеликих глибинах.

### Порядок виконання розрахунків

Розрахунок здійснювати згідно з порядковим номером в списку групи за вихідними даними додатка 2. Одиниця площі, яка потребує 1 кВт теплової потужності розраховується за наступним співвідношенням:

$$\alpha = \frac{A}{P}, \text{ м}^2/\text{кВт} \quad (2.1)$$

де  $A$  – площа поверхні приміщення,  $\text{м}^2$ ;  $P$  – необхідна теплова потужність, кВт.

Розрахунок потужності накопичувача (конденсатора) зводиться до визначення необхідної теплової потужності для заданої площі об'єкта:

$$Q_{\text{нак}} = \frac{A}{\alpha}, \text{ кВт} \quad (2.2)$$

За допомогою значення номограми визначити необхідні параметри для теплової потужності  $Q_{\text{нак}}$ .

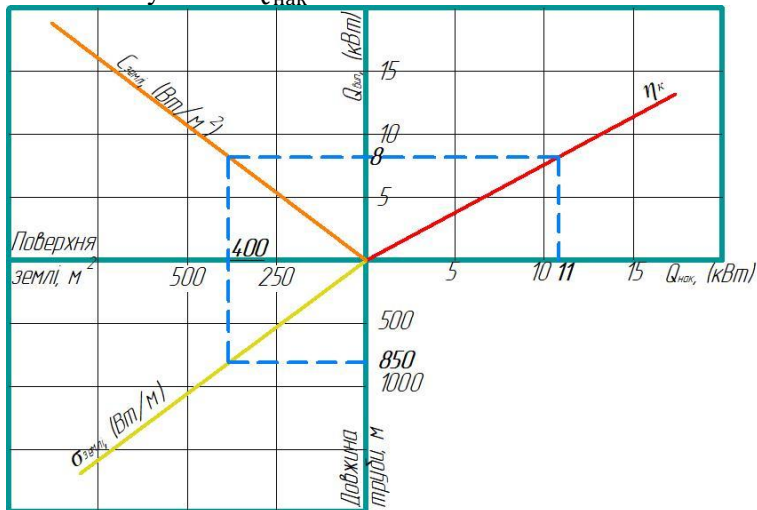


Рис. 2.2. Номограма для визначення розмірів геотермального

## теплообмінника

Робота з монограмою виконується в декілька етапів:

- Як вихідний параметр у номограмі приймається теплова потужність накопичувача (на монограмі для прикладу показано  $Q_{нак}=11$  кВт);
- Далі проводиться лінія ККД компресора (червона) (згідно варіанту в додатку) ( на монограмі для прикладу показано  $\eta_k = 3,5$  ), лінія значення тепла, що відходить від Землі (помаранчева), приймаємо  $C_{землі}=20$  Вт/м<sup>2</sup> для ґрунту середньої електропровідності та жовту лінію  $\sigma_{землі}=10$  Вт/м, яка відповідає значенню середньої електропровідності ґрунту;
- Проектуємо значення теплової потужності накопичувача  $Q_{нак}$  на лінію ККД компресора  $\eta_k$  (червона) та з точки перетину проводимо горизонтальну лінію, яка на перетині осі ординат вкаже на необхідне значення теплової потужності випарника (на монограмі для прикладу показано  $Q_{вип}=8$  кВт);
- Опустивши лінію з точкою перетину  $C_{землі}$  вертикально вниз на перетині осі абсцис отримаємо площу розміщення геотермального теплообмінника (для прикладу показано 400 м<sup>2</sup>);
- Після перетину лінії з жовтою прямою, проводимо горизонтальну пряму на вісь ординат, яка вказує на значення необхідної довжини трубчастого теплообмінника (на монограмі для прикладу показано  $l=850$  м)

Таблиця 2.1

Параметри для вибору довжини теплообмінника

Параметри	Значення
Теплова потужність накопичувача, $Q_{нак}$ , кВт	
ККД компресора, $\eta_k$	
Тепло, що відходить від Землі, $C_{землі}$ , Вт/м <sup>2</sup>	
Теплова потужність випарника, $Q_{вип}$ , кВт	
Середня електропровідність ґрунту, $\sigma_{землі}$ , Вт/м	
Довжина трубчастого теплообмінника, $l$ , м	

Для перевірки правильності параметрів монограми буде використуватися наступна рівність:

$$Q_{\text{вип}} + P_{\text{ком}} = Q_{\text{нак}}, \text{ кВт} \quad (2.3)$$

де  $P_{\text{ком}}$  – потужність компресора, кВт.

Потужність компресора розраховуємо за співвідношенням:

$$P_{\text{ком}} = \frac{Q_{\text{нак}}}{\eta_{\text{к}}}, \text{ кВт} \quad (2.4)$$

*Розрахунок циклу теплового насоса.*

З розраховуємо об'єм об'єкта:

$$V = A \cdot h, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

де  $h$  – висота приміщення, м.

Тоді коефіцієнт нагріву :

$$f = \frac{P}{V} \cdot h, \text{ м}^3 \quad (2.6)$$

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

### Тема: Розрахунок параметрів сонячних батарей.

#### *Теоретичні відомості.*

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) є основним параметром сонячної батареї, фактично це параметри кожної комірки, що входить до складу батареї. Як відомо сумарна потужність модуля це сумарна потужність панелей, з яких він складається.

Вольт-амперна характеристика – це залежність струму від напруги, що протікає в електричному колі. Для сонячної батареї ця характеристика розглядається при наявності додаткових умов, які є стандартизовані. Стандарти ВАХ сонячних елементів визначається при потужності випромінювання сонця рівної  $1000 \text{ Вт/м}^2$ , при температурі елементів  $+25^\circ\text{C}$ , вимірювання проводяться при потраплянні сонячного проміння під кутом  $\text{min } 45^\circ$ .

#### *Порядок виконання розрахунків*

Розрахунок здійснювати згідно з порядковим номером в списку групи за вихідними даними додатка 3.

Рівняння для сили струму виглядає наступним чином:

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (3.1)$$

де  $I_L$  – світловий струм, А;  $I_0$  – струм темного насичення, А;  $n$  – коефіцієнт ідеальності;  $T$  – температура, К;  $k$  – стала Больцмана,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К;  $e$  – значення електронного заряду  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Член - 1 у наведеному вище рівнянні зазвичай можна знехтувати. Експоненціальний член зазвичай більший за 1, за винятком напруги нижче 100 мВ. Крім того, при низькій напрузі струм  $I_L$ , що генерується світлом, домінує над членом  $I_0$ , тому член - 1 не потрібен під час освітлення.

$$I = I_L - I_0 \left[ \exp\left(\frac{eV}{nkT}\right) \right] \quad (3.2)$$

Побудова наведеного вище рівняння дає наведену нижче ВАХ з відповідними точками на кривій, позначеними та більш детально обговореними на наступних сторінках. Крива потужності має максимум, позначений як  $P_{\text{max}}$ , де сонячна батарея повинна працювати, щоб отримати

максимальну вихідну потужність. Він також позначається як  $P_{max}$  або точка максимальної потужності і виникає при напрузі  $V_{max}$  і струмі  $I_{max}$ .



Рис. 3.1. Вольт-амперна характеристика сонячної батареї

Щоб отримати максимальну вихідну потужність сонячної батареї, вона повинна працювати на максимальній потужності.

Напряга холостого ходу,  $V_{xx}$ , це максимальна напруга, доступна сонячній батареї при нульовому струмі.

Рівняння для  $V_{xx}$  буде мати наступний вигляд:

$$V_{xx} = \frac{nkT}{e} \ln\left(\frac{I_L}{I_0} + 1\right) \quad (3.3)$$

Випадкова перевірка наведеного вище рівняння може вказати, що  $V_{xx}$  зростає лінійно з температурою. Однак це не так, оскільки  $I_0$  швидко зростає з температурою в основному через зміни концентрації власних носіїв  $n_i$ . Вплив температури є складним і залежить від технології клітин.  $V_{xx}$  зменшується з температурою. Якщо температура змінюється,  $I_0$  також змінюється.

Коефіцієнт заповнення, більш відомий під аббревіатурою « $FF$ », – це параметр, який у поєднанні з  $V_{xx}$  та  $I$  визначає максимальну потужність сонячної батареї.

Коефіцієнт заповнення визначається за наступним співвідношенням:

$$FF = \frac{V'_{xx} - \ln(V'_{xx} + 0.72)}{V'_{xx} + 1} \quad (3.4)$$



де  $V'_{xx}$  - корегована напруга холостого ходу, В.

$$V'_{xx} = \frac{e}{nkT} V_{xx} \quad (3.5)$$

Наведене вище рівняння також демонструє важливість коефіцієнта ідеальності, відомого як «n-фактор» сонячної батареї. Коефіцієнт ідеальності є мірою якості переходу та типу рекомбінації в сонячному елементі. Для простих механізмів рекомбінації, n-фактор має значення 1. Однак для деяких механізмів рекомбінації, особливо для великих, значення n-фактору матиме значення 2. Високе значення  $n$  не тільки погіршує «FF», але оскільки він також зазвичай сигналізує про високу рекомбінацію, він дає низькі напруги холостого ходу.

#### *Ефективність сонячних батарей*

Ефективність є найбільш часто використовуваним параметром для порівняння продуктивності однієї сонячної батареї з іншою. Ефективність визначається як відношення енергії, що виходить від сонячної батареї, до енергії, що надходить від сонця. Окрім відображення продуктивності самого сонячного елемента, ефективність залежить від спектру, інтенсивності падаючого сонячного світла та температури сонячного елемента. Тому умови, за яких вимірюється ефективність, повинні ретельно контролюватися, щоб порівняти продуктивність одного пристрою з іншим. Земні сонячні батареї вимірюються в 13 год 30 хв і при температурі 25°C. Сонячні елементи, призначені для використання в космосі, вимірюються 24 год 00 хв.

Ефективність сонячної батареї визначається як частка падаючої потужності, яка перетворюється на електрику, і визначається як:

$$P_{max} = V_{xx} \cdot I \cdot FF \quad (3.6)$$

ККД сонячної батареї визначається за наступним співвідношенням:

$$\eta = \frac{V_{xx} \cdot I \cdot FF}{P_{вх}} \quad (3.7)$$

$P_{вх}$  – вхідна потужність, Вт.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

### Тема: Розрахунок океанічних ТЕС.

#### *Теоретичні відомості.*

Перетворення теплової енергії океану (ОТЕС) використовує температурний градієнт океану між холоднішими глибокими та теплішими мілководними або поверхневими морськими водами для запуску теплового двигуна та виробництва корисної роботи, як правило, у формі електрики. ОТЕС може працювати з дуже високим коефіцієнтом потужності, тому може працювати в режимі базового навантаження.

Більш щільні холодні водні маси, утворені взаємодією поверхневих вод океану з холодною атмосферою в досить специфічних районах Північної Атлантики та Південного океану, занурюються в глибоководні басейни і поширюються по всьому глибоководному океану за допомогою термохалінної циркуляції. Стікання холодної води з глибин океану поповнюється стіканням холодної поверхневої морської води.

Серед океанських джерел енергії ОТЕС є одним із постійно доступних відновлюваних джерел енергії, який може сприяти забезпеченню електроенергією базового навантаження. Ресурсний потенціал для ОТЕС вважається набагато більшим, ніж для інших форм енергії океану. ОТЕС може виробляти до 88 000 ТВт-год електроенергії без впливу на теплову структуру океану.

Системи можуть мати замкнутий або відкритий цикл. ОТЕС із замкнутим циклом використовує робочі рідини, які зазвичай вважаються холодоагентами. Ці рідини мають низьку температуру кипіння, тому придатні для живлення генератора системи для виробництва електроенергії. Найпоширенішим тепловим циклом для ОТЕС на сьогоднішній день є цикл Ренкіна з використанням турбіни низького тиску. У двигунах відкритого циклу в якості робочої рідини використовується пара з самої морської води.

ОТЕС також може постачати холодну воду як побічний продукт. Це можна використовувати для кондиціонування повітря та охолодження, а багата поживними речовинами глибоководна вода океану може живити біологічні технології. Іншим побічним продуктом є прісна вода, дистильована з моря.

Теорія ОТЕС була вперше розроблена в 1880-х роках, а перша демонстраційна модель стендового розміру була створена в 1926 році.

Зараз діючі пілотні заводи ОТЕС розташовані в Японії, під наглядом Університету Сага, і в Макаї на Гавайях.

#### *Порядок виконання розрахунків*

Розрахунок здійснювати згідно з порядковим номером в списку групи за вихідними даними додатка 4.

Рахується, що дійсний ККД океанічної ТЕС, який враховує температурний перепад поверхневих та глибинних вод  $(T_1 - T_2) = \Delta T$  та працює за циклом Ренкіна, вдвічі менший за термічний ККД установки, що працює за циклом Карно.

Різниця температур поверхневих та глибинних вод визначається за формулою:

$$\Delta T = T_1 - T_2, K \quad (4.1)$$

де  $T_1$  - температура води на поверхні океану,  $K$ ;  $T_2$  - температура води на глибині,  $K$ .

Термічний ККД установки, що працює за циклом Карно розраховується за формулою:

$$\eta_k = \frac{\Delta T}{T_1}, \quad (4.2)$$

В ідеальному теоретичному циклі Карно механічна потужність визначається за допомогою рівняння:

$$N_0 = \eta_t^k \cdot Q_0, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де  $\eta_t^k$  - термічний ККД установки, що працює за циклом Карно;  $Q_0$  - тепла потужність, Вт.

Реальний ККД установки, що працює за циклом Ренкіна, визначається із виразу:

$$\eta_d = 0,5 \cdot \eta_t^k, \quad (4.4)$$

Механічна потужність  $N$  (Вт) установки, що працює за циклом Ренкіна розраховується за формулою:

$$N = \eta_d \cdot Q_0, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

Теплова потужність, що отримується від теплої води, визначається за допомогою рівняння:

$$Q_0 = \frac{N}{\eta_d}, \text{ Вт} \quad (4.6)$$

Витрата теплої води, яка необхідна для океанічної ТЕС, щоб підтримати задану потужність розраховується за формулою:

$$V = \frac{Q_0}{\rho \cdot C_p \cdot \Delta T}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (4.7)$$

де  $\rho$  - густина води,  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_p$  - теплоємність,  $C_p = 4,2 \cdot 10^3$  Дж/(кг·К).

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

### Тема: Розрахунок вітроенергетичної установки

#### *Теоретичні відомості.*

Енергія вітру – це перетворення вітрової енергії у корисний вид енергії за допомогою вітряних турбін, вітрових насосів чи парусів.

Причиною виникнення вітрів є поглинання земною атмосферою сонячного випромінювання, що призводить до розширення повітря і появи конвекційних течій. У глобальному масштабі на ці термічні явища накладається ефект обертання Землі, що спричиняє появу напрямків вітру.

Вітрогенератори краще встановлювати на відкритому просторі, без перешкод для вітру, на відстані від житлового будинку не менше 25-40 метрів. Чим більша відстань, тим краще, бо вітрогенератори дуже гудуть під час роботи. Висота розташування центру ротора вітряка повинна бути не менш ніж на 3-5 метрів вище найближчих будівель.

#### *Порядок виконання розрахунків*

Розрахунок здійснювати згідно з порядковим номером в списку групи за вихідними даними додатка 5.

Знаходимо скільки енергії можна буде отримати на своїй ділянці. За наведеною формулою розраховуємо енергію, нашої ділянки:

$$P = V^3 \cdot \rho \cdot S \quad (5.1)$$

де  $V$  – швидкість вітру, м/с;  $\rho$  – густина повітря,  $\rho = 1,29$  кг/м<sup>3</sup>;  $S$  – площа, на яку дія повітряний тиск, м<sup>2</sup>.

Враховуючи, що потенційна енергія від установки надходитиме в межах коефіцієнта використання енергії вітру  $\xi$ , рівняння матиме наступний вигляд:

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0.5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_p \cdot \eta_r \quad (5.2)$$

де  $R$  – радіус ротора, м;  $\xi$  - коефіцієнт використання енергії вітру;  $\eta_p$  – ККД редуктора;  $\eta_r$  – ККД генератора.

## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

### Тема: Геліотермальна енергетика. Розрахунок сонячних колекторів.

#### *Теоретичні відомості*

В наш час найчастіше застосовують два способи отримання електроенергії і тепла із сонячного випромінювання.

Геліотермальна енергетика – нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені із подальшим розподілом і використанням тепла.

Термальна енергія сонця широко використовується як для нагрівання води, так і для виробництва електроенергії. Сонячні колектори виготовляються з доступних матеріалів: сталь, мідь, алюміній, тобто без застосування дефіцитного і дорогого кремнію. Це дозволяє значно скоротити вартість устаткування отриманої на ньому енергії.

Сонячні теплові колектори поділяються на низько-, середньо-, і високотемпературні колектори. Низькотемпературні колектори є плоскими плитами і зазвичай використовуються для підігріву плавальних басейнів. Середньотемпературні колектори також, як правило, плоскі плити, але використовуються для підігріву води для житлового та комерційного використання. Високотемпературні колектори концентрують сонячні промені за допомогою дзеркал і лінз і, як правило, використовуються для виробництва електроенергії.

Найпростіша схема термального колектора представлена на рис. 6.1. Даний колектор складається з нижньої мідної абсорбуючої плити (бажано покрити темним кольором) та скляної поверхні. Колектор має бути повністю герметичним, з метою запобігання втрат теплової енергії. Інфрачервоні промені проникаючи всередину такого колектора створюють парниковий ефект та сприяють нагріву абсорбуючої плити та поздовжніх мідних трубок. На вході у колектор вода має температуру 25<sup>0</sup>С, а пройшовши через нагріті мідні трубки вода досягає температури 60...80<sup>0</sup>С

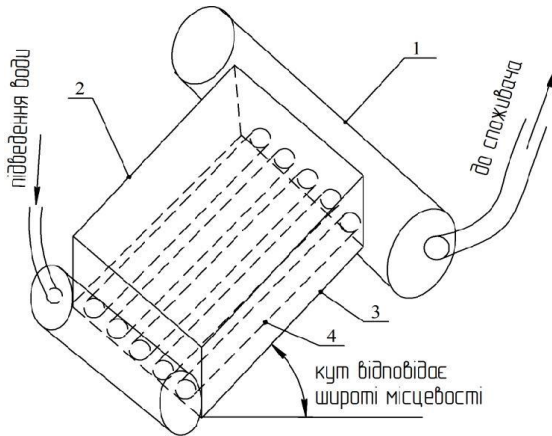


Рис. 6.1. Схема термального колектора:  
 1 – резервуар для збору нагрітої води; 2 – скляна поверхня;  
 3 – нижня абсорбуюча плита; 4 – мідні трубки

### Порядок виконання розрахунків

Розрахунок здійснювати згідно з порядковим номером в списку групи за вихідними даними додатка 6.

*Завдання 1.* Для опалення приміщення протягом доби потрібно  $Q$  теплоти. При застосуванні для цієї цілі сонячної енергії тепла енергія може бути накопичена у водному акумуляторі. Визначити об'єм баку акумулятора.

Застосуємо наступну формулу:

$$Q = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2), \text{ ГДж} \quad (6.1)$$

де  $\rho$  – густина води,  $\rho=1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $V$  – об'єм баку акумулятора,  $\text{м}^3$ ;  $t_1$  – температура нагрітої води,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_2$  – температура охолодженої води,  $^\circ\text{C}$ ;  $C_p$  – теплоємність,  $C_p=4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$

Тоді:

$$V = \frac{Q}{\rho \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2)}, \text{ м}^3 \quad (6.2)$$

*Завдання 2.* Визначити площу поверхні приймача  $F$  та теплові втрати в ньому, які викликані випромінюванням та конвекцією.

Енергія, що отримується приймачем від сонця через геліостати (Вт), визначається за наступним рівнянням:

$$E = R_{\Gamma} \cdot A_{\text{пр}} \cdot F_{\Gamma} \cdot H_{\Gamma} \cdot n, \text{ Вт} \quad (6.3)$$

де  $R_{\Gamma}$  – коефіцієнт відбиття геліостату;  $A_{\text{пр}}$  – коефіцієнт поглинання приймача;  $F_{\Gamma}$  – площа поверхні геліостату,  $\text{м}^2$ ;  $H_{\Gamma}$  – опромінення дзеркала геліостату  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $n$  – кількість геліостатів.

$$F = \frac{E}{H_{\text{пр}}}, \text{ м}^2 \quad (6.4)$$

де  $H_{\text{пр}}$  – максимальна енергетична освітленість приймача,  $\text{МВт}/\text{м}^2$ .

Втрати тепла за рахунок випромінювання у теплоприймачі визначають за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{\text{в}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot \left( \frac{t+273}{100} \right)^4, \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (6.5)$$

де  $T$  – абсолютна температура теплоносія, К;  $\varepsilon_{\text{пр}}$  – ступінь чорноти приймача;  $C_0$  – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла,  $C_0=5.67$ .

Теплові втрати, що викликані випромінюванням та конвекцією розраховуються за формулою:

$$q_n = q_{\text{в}} + \frac{q_{\text{к}}}{2}, \text{ Вт}/\text{м}^2 \quad (6.6)$$

Теплові втрати на поверхні приймача визначаються за формулою:

$$Q_n = q_n \cdot F, \text{ Вт} \quad (6.7)$$

Сформулюйте висновок, де зазначте необхідну площу поверхні приймача та теплові втрати.



## ПРАКТИЧНА РОБОТА № 7

### Тема: Розрахунок гідроелектростанцій

#### *Теоретичні відомості.*

Гідроенергетика є одним із найбільш поширених джерел відновлювальної енергетики. На сьогоднішній день кількість електроенергії, яка виробляється гідротурбінами у світі становить 20%, причому цей відсоток постійно зростає.

Розрізняють такі гідроенергетичні ресурси: потенціальні, технічно можливі для використання на даному рівні розвитку науки і техніки, а також економічно доцільні для використання.

Вибір турбіни, як правило, залежить від величини  $h$  і значно менше від  $Q$ . На рис. 7.1 представлено графіки діапазонів роботи різних типів гідротурбін.



Рис. 7.1. Діапазони роботи турбін

#### *Порядок виконання розрахунків*

Користуючись вихідними даними (додаток 7) виконати розрахунок основних параметрів гідроелектростанцій.

Енергетична потужність гідроенергетичної установки розраховується за формулою:

$$N = K \cdot \eta_T \cdot \eta_G \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot Q, \text{ Вт} \quad (7.1)$$

де  $K$  – коефіцієнт втрат напору в гідроканалі;  $\eta_T$  – ККД гідротурбіни;  $\eta_G$  – ККД гідрогенератора;  $\rho$  – густина води  $1000 \text{ кг/м}^3$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  $H$  – напір, різниця рівнів верхнього і нижнього б'єфів;  $Q$  – витрата води,  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Потужність ГЕС визначають за наступним рівнянням:

$$N = 9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta, \text{ Вт} \quad (7.2)$$

Втрати у гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах та генераторах рахувати постійними.

Зміна потужності малої ГЕС, якщо напір  $H$  у посушливий період зменшиться у  $n$  рази, а витрата води  $Q$  зменшиться на  $m$  розраховується за формулою:

$$\frac{N}{N_n} = \frac{9.81 \cdot Q \cdot H \cdot \eta}{9.81 \cdot mQ \cdot H_n \cdot \eta'} \quad (7.3)$$

Визначимо середню кількість електроенергії, яку виробляє гідротурбіна. Враховуючи, що:

$$\eta_0 = \eta_T \cdot \eta_G, \quad (7.4)$$

Враховуючи випаровування, отримаємо:

$$Q = Q_d - Q_v = q \cdot S \cdot O, \quad (7.5)$$

де  $S$  - площа водозабору,  $\text{км}^2$ ;  $O$  - щорічні опади,  $\text{см}$ ;  $q$  - втрати на випаровування, %.

*Примітка:* у році 31557600 сек.

Враховуючи, що

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q, \quad (7.6)$$

де  $P$  – потужність (Вт);  $h$  – різниця висот водної поверхні.

Річне виробництво електроенергії буде дорівнювати:

$$P_p = P \cdot 8766, \text{ MВт} \cdot \text{год/рік} \quad (7.7)$$

Примітка: рік має 8766 годин.

1. Розрахувати потужність малої ГЕС та визначити зміну потужності, якщо напір  $H$  у посушливий період зменшиться у  $n$  рази, а витрата води  $Q$  зменшиться на  $m$  %.

2. Визначити середнє вироблення електроенергії, річне виробництво електроенергії та тип турбіни згідно рис.7.1.

## ДОДАТКИ

Додаток 1

№	$n_1$ , шт.	$n_2$ , шт.	$n_3$ , шт.	$l$ , км	$v_1$ , л	$v_2$ , л	$v_3$ , л
1.	300	200	100	110	0,1	0,25	0,35
2.	310	210	110	120	0,11	0,26	0,36
3.	320	220	120	130	0,12	0,27	0,37
4.	330	230	130	140	0,13	0,28	0,38
5.	340	240	140	150	0,14	0,29	0,39
6.	350	250	150	160	0,15	0,3	0,4
7.	360	260	160	170	0,16	0,31	0,41
8.	370	270	170	180	0,17	0,32	0,42
9.	380	280	180	190	0,18	0,33	0,43
10.	390	290	190	200	0,19	0,34	0,44
11.	400	300	200	210	0,2	0,35	0,45
12.	410	310	210	220	0,21	0,36	0,46
13.	420	320	220	230	0,22	0,37	0,47
14.	430	330	230	240	0,23	0,38	0,78
15.	440	340	240	250	0,24	0,39	0,49
16.	450	350	250	260	0,1	0,25	0,5
17.	460	360	260	270	0,11	0,26	0,35
18.	470	370	270	280	0,12	0,27	0,36
19.	480	380	280	290	0,13	0,28	0,37
20.	490	390	290	300	0,14	0,29	0,38
21.	500	400	300	310	0,15	0,3	0,39
22.	510	410	310	320	0,16	0,31	0,4
23.	520	420	320	330	0,17	0,32	0,41
24.	530	430	330	340	0,18	0,33	0,42
25.	540	440	340	350	0,19	0,34	0,43
26.	550	450	350	360	0,2	0,35	0,44
27.	560	460	360	370	0,21	0,36	0,45
28.	570	470	370	380	0,22	0,37	0,46
29.	580	480	380	390	0,23	0,38	0,47
30.	590	490	390	400	0,24	0,39	0,78

№	$A$ м <sup>2</sup>	$P$ кВт	$\eta_k$	$h$ , м
1.	150	10,5	2,0	2,6
2.	155	10,6	2,1	2,7
3.	160	10,7	2,2	2,8
4.	165	10,8	2,3	2,9
5.	170	10,9	2,4	3,0
6.	175	11,0	2,5	3,1
7.	180	11,1	2,6	3,2
8.	185	11,2	2,7	3,3
9.	190	11,3	2,8	3,4
10.	195	11,4	2,9	3,5
11.	200	11,5	3,0	3,6
12.	205	10,5	3,1	3,7
13.	210	10,6	3,2	3,8
14.	215	10,7	3,3	3,9
15.	220	10,8	3,4	4,0
16.	225	10,9	3,5	4,1
17.	230	11,0	3,6	4,2
18.	235	11,1	3,7	4,3
19.	240	11,2	2,9	4,4
20.	245	11,3	3,0	4,5
21.	250	11,4	3,1	4,6
22.	170	11,5	3,2	4,7
23.	175	10,6	3,3	4,8
24.	180	10,7	3,4	4,9
25.	185	10,8	3,5	3,7
26.	190	10,9	3,6	3,8
27.	195	11,0	3,7	3,9
28.	200	11,1	3,6	4,0
29.	205	11,2	3,5	4,1
30.	210	11,3	3,4	2,9

№	$I_0, \cdot 10^{-10} \text{A}$	$I_L, \text{A}$	$T, \text{K}$	$n$	$V, \text{B}$	$P_{\text{вх}}, \text{Bm}$
1.	0,7	0,9	290	1	0,4	5
2.	0,71	0,91	291	1.1	0,41	6
3.	0,72	0,92	292	1.2	0,42	7
4.	0,73	0,93	293	1.3	0,43	8
5.	0,74	0,94	294	1.4	0,44	9
6.	0,75	0,95	295	1.5	0,45	10
7.	0,76	0,96	296	1.6	0,46	11
8.	0,77	0,9	297	1.7	0,47	12
9.	0,78	0,91	298	1.8	0,48	13
10.	0,79	0,92	299	1.9	0,49	14
11.	0,8	0,93	300	2.0	0,5	15
12.	0,81	0,94	301	1	0,51	16
13.	0,82	0,95	302	1.1	0,52	17
14.	0,83	0,96	303	1.2	0,53	18
15.	0,84	0,9	304	1.3	0,54	19
16.	0,85	0,91	305	1.4	0,55	20
17.	0,86	0,92	306	1.5	0,56	5
18.	0,87	0,93	307	1.6	0,57	6
19.	0,88	0,94	308	1.7	0,58	7
20.	0,7	0,95	309	1.8	0,59	8
21.	0,71	0,9	310	1.9	0,6	9
22.	0,72	0,91	311	2.0	0,61	10
23.	0,73	0,92	312	1	0,62	11
24.	0,74	0,93	313	1.1	0,63	12
25.	0,75	0,94	314	1.2	0,64	13
26.	0,76	0,95	315	1.3	0,65	14
27.	0,77	0,96	316	1.4	0,66	15
28.	0,78	0,9	317	1.5	0,67	16
29.	0,79	0,91	318	1.6	0,68	17
30.	0,8	0,92	319	1.7	0,69	18

№	$t_1,$ $^{\circ}C$	$t_2,$ $^{\circ}C$	$N,$ $MBm$
1.	20	2	7.1
2.	21	3	7.2
3.	22	4	7.3
4.	23	5	7.4
5.	24	6	7.5
6.	25	7	7.6
7.	26	8	7.7
8.	27	9	7.8
9.	28	8	7.9
10.	29	7	8.0
11.	30	6	8.1
12.	31	5	8.2
13.	32	4	8.3
14.	33	3	8.4
15.	20	2	8.5
16.	21	1	8.6
17.	22	2	8.7
18.	23	3	8.5
19.	24	4	8.6
20.	25	5	8.7
21.	26	6	7.8
22.	27	7	7.9
23.	28	8	7.0
24.	29	7	7.1
25.	30	6	7.2
26.	31	5	7.3
27.	32	4	8.4
28.	33	3	6.5
29.	25	2	6.2
30.	26	1	7.3

№ варіанту	$\eta_p$ , %	$\eta_r$ , %	$\xi$	$V$ м/с	$R$ , м	$S$ , м <sup>2</sup>
1.	0,7	0,79	0,2	3,1	3,1	8,0
2.	0,71	0,8	0,21	3,2	3,2	8,1
3.	0,72	0,81	0,22	3,3	3,4	8,2
4.	0,73	0,82	0,23	3,4	3,5	8,3
5.	0,74	0,83	0,24	3,5	3,3	8,4
6.	0,75	0,84	0,25	3,6	3,6	8,5
7.	0,76	0,85	0,26	3,7	3,7	8,6
8.	0,77	0,86	0,27	3,8	3,8	8,7
9.	0,78	0,87	0,28	3,9	3,9	8,8
10.	0,79	0,88	0,29	4,0	4,0	8,9
11.	0,8	0,89	0,30	4,1	4,1	9,0
12.	0,81	0,9	0,31	4,2	4,2	9,1
13.	0,82	0,79	0,32	4,3	4,3	9,2
14.	0,83	0,8	0,33	4,4	4,4	9,3
15.	0,84	0,81	0,34	4,5	4,5	9,4
16.	0,85	0,82	0,35	4,6	4,6	9,5
17.	0,7	0,83	0,36	4,7	4,7	9,6
18.	0,71	0,84	0,37	4,8	4,8	9,7
19.	0,72	0,85	0,38	4,9	4,9	9,8
20.	0,73	0,86	0,39	5,1	5,0	9,9
21.	0,74	0,87	0,4	3,1	3,3	10,0
22.	0,75	0,88	0,41	3,2	3,6	10,1
23.	0,76	0,89	0,42	3,3	3,7	10,2
24.	0,77	0,9	0,43	3,4	3,8	10,3
25.	0,78	0,79	0,45	3,5	3,9	10,4
26.	0,79	0,8	0,46	3,6	4,0	10,5
27.	0,8	0,81	0,47	3,7	4,1	10,6
28.	0,81	0,82	0,48	3,8	4,2	10,7
29.	0,82	0,83	0,49	3,9	4,3	10,8
30.	0,83	0,84	0,5	4,0	4,4	10,9



№	$Q$ , ГДж	$t_l$ , °C	$t_i$ , °C	$R_r$	$A_{np}$	$F_r$ , м <sup>2</sup>	$H_z$ , Вм/м <sup>2</sup>	$n$	$H_{np}$ , МВм/м <sup>2</sup>	$\varepsilon_{np}$	$t$ , °C
31.	0,35	50	21	0,9	0,9	50	550	250	2,5	0,91	610
32.	0,36	51	29	0,89	0,91	55	560	251	2,3	0,92	615
33.	0,37	52	25	0,88	0,92	60	565	252	2,2	0,93	620
34.	0,38	53	27	0,87	0,93	65	555	253	2,5	0,94	625
35.	0,39	55	31	0,86	0,94	70	570	254	2,6	0,95	630
36.	0,4	59	35	0,85	0,95	75	580	255	2,1	0,96	635
37.	0,41	58	33	0,84	0,96	80	575	256	2,0	0,97	640
38.	0,42	56	36	0,83	0,97	85	585	263	2,5	0,98	645
39.	0,43	53	31	0,82	0,9	52	590	255	2,4	0,91	650
40.	0,44	57	28	0,81	0,91	53	595	273	2,6	0,92	660
41.	0,45	52	26	0,8	0,92	55	600	284	2,5	0,93	665
42.	0,46	58	28	0,79	0,93	59	610	264	2,3	0,94	670
43.	0,47	61	36	0,78	0,94	58	605	268	2,2	0,95	675
44.	0,48	63	21	0,77	0,95	56	625	234	2,5	0,96	680
45.	0,49	58	22	0,76	0,96	53	630	257	2,6	0,97	625
46.	0,5	52	29	0,75	0,97	57	560	284	2,1	0,98	630
47.	0,51	21	27	0,9	0,9	52	565	264	2,0	0,91	635
48.	0,52	50	25	0,89	0,91	58	555	216	2,5	0,92	640
49.	0,53	53	26	0,88	0,92	61	570	286	2,4	0,93	645
50.	0,54	58	22	0,87	0,93	63	580	225	2,6	0,94	650
51.	0,55	52	23	0,86	0,94	55	575	235	2,5	0,95	660
52.	0,56	55	32	0,85	0,95	59	585	284	2,3	0,96	665
53.	0,57	56	33	0,84	0,96	58	590	264	2,2	0,97	670
54.	0,58	58	38	0,83	0,97	56	595	287	2,5	0,98	635
55.	0,59	53	24	0,82	0,94	53	600	295	2,6	0,91	640
56.	0,6	52	26	0,81	0,95	57	610	294	2,1	0,92	645
57.	0,61	54	28	0,8	0,96	55	605	256	2,0	0,93	650
58.	0,62	53	34	0,79	0,97	59	555	241	2,5	0,94	650
59.	0,63	56	35	0,78	0,92	58	560	251	2,4	0,95	680
60.	0,64	60	36	0,77	0,93	56	570	266	2,6	0,96	660

№ варіанту	$\eta_T$ , %	$\eta_{T_0}$ , %	$n$	$m$	$h$ , м	$S$ , км <sup>2</sup>	$O$ , см	$q$
1.	0,7	0,9	1.1	0,9	100	250	110	0,7
2.	0,71	0,91	1.2	0,89	105	255	115	0,71
3.	0,72	0,92	1.3	0,88	110	260	120	0,72
4.	0,73	0,93	1.4	0,87	115	265	125	0,73
5.	0,74	0,94	1.5	0,86	120	270	130	0,74
6.	0,75	0,95	1.6	0,85	125	275	135	0,75
7.	0,76	0,96	1.7	0,84	130	280	140	0,76
8.	0,77	0,9	1.8	0,83	135	285	145	0,77
9.	0,78	0,91	1.9	0,82	140	290	150	0,78
10.	0,79	0,92	2.0	0,81	145	295	155	0,79
11.	0,8	0,93	2.1	0,8	150	300	160	0,8
12.	0,81	0,94	2.2	0,79	155	305	110	0,81
13.	0,82	0,95	2.3	0,78	160	310	115	0,82
14.	0,83	0,96	2.4	0,77	165	315	120	0,83
15.	0,84	0,9	2.5	0,76	170	320	125	0,84
16.	0,85	0,91	2.6	0,75	175	325	130	0,85
17.	0,86	0,92	2.7	0,9	180	330	135	0,86
18.	0,87	0,93	1.5	0,89	185	335	140	0,87
19.	0,88	0,94	1.6	0,88	190	340	145	0,88
20.	0,7	0,95	1.7	0,87	195	345	150	0,89
21.	0,71	0,9	1.8	0,86	200	350	155	0,9
22.	0,72	0,91	1.9	0,85	130	355	160	0,91
23.	0,73	0,92	2.0	0,84	135	310	115	0,77
24.	0,74	0,93	2.1	0,83	140	315	120	0,78
25.	0,75	0,94	2.2	0,82	145	320	125	0,79
26.	0,76	0,95	2.3	0,81	150	325	130	0,8
27.	0,77	0,96	2.4	0,8	155	330	135	0,81
28.	0,78	0,9	2.5	0,79	160	335	140	0,82
29.	0,79	0,91	1.2	0,78	165	340	145	0,83
30.	0,8	0,92	1.3	0,77	170	320	150	0,84

## Список рекомендованої літератури

1. D.Sljivic, Z. Simic. Renewable energy sources in respect to energy efficiency, Croatian Chamber of Engineers, 2008
2. Calculation and Design of the Heat Pumps / J. Perko, V. Dugec, D. Topic, D. Sljivic, Z. Kovac. 3 *International Youth Conference on Energetics* 2011. 7 July, 2011, Leiria, Portugal.
3. Виробнича експлуатація і ремонт машин та обладнання : навч. посібник / Романюк В. І., Гавриш В. С., Хітров І. О., Кононов Ю. А., Голотюк М. В. Рівне : НУВГП, 2016. 290 с.
4. Відновлювальні джерела енергії : монографія / С. Р. Боблях, М. М. Мельничук, В. С. Мельник, Р. М. Ігнатюк. Луцьк : Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. 227 с.
5. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С. О. Кудрі. Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. 392 с.
6. European Thematic Network on Wave Energy (ETNWE), Results from the Work of the European Thematic Network on Wave Energy, ERK5-CT-1999-20001, 2000-2003. [www.wave-energy.net](http://www.wave-energy.net)
7. Альтернативна енергетика з використанням сонячних елементів : навч. вид. / В. Ю. Єрохов; Нац. ун-т "Львів. політехніка"., 2015. 116 с. Бібліогр.: С. 113–116.
8. Екологічний моніторинг: альтернативні джерела енергії : навч. посіб. / В. Г. Сліпченко, О. В. Коваль, Л. Г. Полягушко та ін. Київ : КПІ ім. І. Сікорського : Політехніка, 2019. 368 с.
9. Нетрадиційні джерела енергії: теорія і практика : монографія / Й. С. Мисак, І. М. Озарків, М. Г. Адамовський та ін. ; за ред. Й. С. Мисака, І. М. Озарківа ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Нац. ун-т "Львів. політехніка", Нац. лісотехн. ун-т України. Л. : НВФ "Укр. технології", 2013. 356 с. : іл., табл. Бібліогр.: С. 353–354 (25 назв). ISBN 978-966-345-267-8
10. Сонячна енергетика: теорія та практика : монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. 340 с. : іл. Бібліогр.: С. 323–337 (176 назв). ISBN 978-617-607-597-4
11. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Відновлювальні джерела енергії» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] / Ігнатюк Р. М. Рівне : НУВГП, 2023. 32 с.