

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

**Джерела розосередженої генерації енергії**

**методичні рекомендації до виконання практичних робіт  
здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю G3 Електрична інженерія  
ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

Кропивницький  
2026

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

**Джерела розосередженої генерації енергії**

**методичні рекомендації до виконання практичних робіт  
здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня  
за спеціальністю G3 Електрична інженерія  
ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка**

*Затверджено на засіданні  
кафедри електротехнічних  
систем та енергетичного  
менеджменту Протокол №  
11 від 08.01.2026 р.*

Кропивницький  
2026

**Джерела розосередженої генерації енергії:** метод. рекомендації до виконання практичних робіт здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю G3 Електрична інженерія ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / [уклад.: А. Ю. Орлович, О. В. Співак], Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2026 –53 с.

Укладачі: А.Ю. Орлович – проф., к.т.н. кафедри ЕТС та ЕМ, О. В. Співак – асистент каф.ЕТС та ЕМ.

Рецензент: О.К. Дідик – доцент, к.т.н., завідувач кафедри АВП ЦНТУ

© Орлович А.Ю., Співак О.В. 2026  
© Центральноукраїнський  
національний технічний  
університет, 2026

## ЗМІСТ

	Стор.
<b>Вступ</b> .....	<b>5</b>
<b>Практична робота 1.</b> Оцінка енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.	<b>6</b>
<b>Практична робота 2.</b> Будова і функціонування геліосистем. Розрахунок геліосистем.	<b>13</b>
<b>Практична робота 3.</b> Розрахунок геліосистем для обігріву басейнів і житлових будинків	<b>20</b>
<b>Практична робота 4.</b> Розрахунок вітрогенератору.	<b>23</b>
<b>Практична робота 5.</b> Приливні електростанції, малі ГЕС: принцип роботи і розрахунок.	<b>29</b>
<b>Практична робота 6.</b> Геотермальна енергія. Розрахунок геотермальних енергетичних установок. Використання теплової енергії океанів.	<b>33</b>
<b>Практична робота 7.</b> Розрахунок біоенергетичних установок.	<b>39</b>
<b>ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	<b>40</b>
<b>ДОДАТОК 1</b>	<b>41</b>
<b>ДОДАТОК 2</b>	<b>52</b>
<b>ДОДАТОК 3</b>	<b>53</b>

## ВСТУП

Сучасний розвиток електроенергетики характеризується активним впровадженням відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії, що сприяють підвищенню енергетичної безпеки держави, зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище та забезпеченню сталого розвитку суспільства.

Практичні роботи є невід'ємною складовою освітнього процесу та спрямовані на закріплення теоретичних знань, отриманих під час лекційних занять, розвиток навичок інженерних розрахунків і набуття досвіду аналізу технічних характеристик енергетичних установок на основі відновлюваних джерел енергії. У процесі виконання практичних завдань здобувачі вищої освіти ознайомлюються з методиками визначення енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України, вивчають принципи роботи та конструктивні особливості сонячних, вітрових, гідравлічних, геотермальних і біоенергетичних установок, а також виконують розрахунки їх основних параметрів.

## МЕТА ТА ЗАВДАННЯ ОСВІТНЬОЇ КОМПОНЕНТИ

**Мета** викладання курсу «Джерела розосередженої генерації енергії» є здобуття вмій та навичок у здобувачів вищої освіти теоретичних знань і практичних навичок щодо принципів роботи, особливостей проектування, розрахунку та експлуатації установок розосередженої генерації на основі відновлюваних і нетрадиційних джерел енергії, а також підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані задачі та практичні проблеми у галузі електроенергетики, електротехніки та електромеханіки в умовах комплексності та невизначеності сучасних енергетичних систем.

**Завдання вивчення дисципліни є**

- вивчення сучасного стану та перспектив розвитку відновлюваної енергетики в Україні та світі;
- набуття знань щодо енергетичного потенціалу сонячної, вітрової, гідравлічної, геотермальної та біоенергетичної енергії;
- ознайомлення з конструкцією, принципами роботи та особливостями функціонування установок розосередженої генерації;
- оволодіння методами оцінювання технічної, економічної та екологічної ефективності використання відновлюваних джерел енергії;
- розвиток здатності до самостійного пошуку, аналізу та використання науково-технічної інформації щодо новітніх технологій у сфері відновлюваної енергетики.

## Практичне заняття № 1

### ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

*Мета: Вивчити і дати оцінку енергетичному потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.*

*Тривалість заняття - 2 години*

#### *Хід роботи :*

1. На підставі теоретичної частини роботи дати характеристику енергетичному потенціалу того або іншого джерела енергії на території України.
2. Оформити графічну частину роботи відповідно до Додатка 1.
3. Зробити висновки по графічній частині.

#### ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

*Вітроенергетика. Україна має потужні ресурси вітрової енергії: річний технічний вітроенергетичний потенціал дорівнює 30 млрд. кВт(рік).*

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(рік/м<sup>2</sup> за рік).

Застосування вітроустановок для виробництва електроенергії в промислових масштабах найбільш ефективно в регіонах України, де середньорічна швидкість вітру > 5 м/з: 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 (помелу зерна, підняття та перекачування води і т.п.) 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. У останній годину розвитку вітроенергетичного сектора сприяє державна підтримка, що забезпечує реалізацію ініціатив по удосконаленню законодавства, структури керування, створенню вигідних умов для внутрішніх і зовнішніх інвесторів.

### ***Сонячна енергія***

У результаті обробки статистичних метеорологічних даних по надходженню сонячної радіації визначено питомі енергетичні показники з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України.

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м<sup>2</sup> поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт(рік/кв.м в північній частині України до 1400 кВт(рік/м<sup>2</sup> 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 на протязі всього року.

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

### ***Енергетичний потенціал малих рік України***

Україна має потужні ресурси гідроенергії малих рік. Загальний гідроенергетичний потенціал малих рік України становить біля 12,5 млрд. кВт(рік., що складає біля 28% загального гідро потенціал у 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 з гідропотенціал малих річок; верхня межа потужності гідроенергетичного обладнання становить 30 МВт. Згідно міжнародної класифікації за нормативом ООН, до малих гідроелектростанцій (МГЕС) відносять гідроелектростанції потужністю від 1 до 30 МВт, до мініГЕС - від 100 до 1000 кВт, до мікроГЕС - не більше 100 кВт.

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 в економічній, екологічній та соціальній сферах життєдіяльності та господарювання в сільській місцевості, в тому числі і районних центрів.

Малі ГЕС, міні - та мікроГЕС можуть стати потужною основою енергозабезпечення для всіх регіонів Західної України, а для деяких районів

Закарпатської та Чернівецької областей - джерелом повного самоенергозабезпечення.

### ***Енергетичний потенціал біомаси в Україні***

Енергетична ефективність біоенергетики достатньо висока для того, щоб виділити її в окремий напрям енергетичного господарства. У 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 кліматометеорологічних умів, енергетичний потенціал біомаси в країні в значній мірі залежить від багатьох інших факторів, в першу чергу від рівня господарської діяльності.

Енергетичний потенціал біомаси представлене такими її складовими - енергетичним потенціалом тваринницької сільськогосподарської і рослинної сільськогосподарської біомаси та енергетичним потенціалом відходів лісу.

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 оточуючого середовища знезараження 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 ґрунт, 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 в Україні***

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(10 кВт(рік на рік, що еквівалентно запасам палива в обсязі 50(106 т у.п.

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

Досить перспективним напрямком енергозберігаючої технологічної політики, що дозволяє забезпечити значну економію традиційного палива, є

використання геотермальної енергії для опалення, водопостачання і кондиціонування повітря в житлових та громадських будинках і спорудах в містах і сільській місцевості, а також технологічне використання глибинного тепло Землі в різних галузях промисловості і сільського господарства.

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

Подальша стратегія розвитку геотермальної енергетики в Україні полягає в першочерговому розвитку найбільш підготовлених до практичної реалізації технологій геотермального теплопостачання населених пунктів і сільськогосподарських підприємств та в частковому переорієнтуванні науково-технічної бази існуючих геологорозвідувальних та нафтодобувних організацій, завантаження яких знижено внаслідок виснаження в Україні запасів нафти та газу. Одним із перспективних напрямів розвитку геотермальної енергетики є створення комбінованих енерготехнологічних вузлів для отримання електроенергії, теплоти та цінних компонентів, що містяться в геотермальних теплоносіях.

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

### ***Енергетичний потенціал торфу в Україні***

Торф - це своєрідне, відносно молоде геологічне утворення, що відноситься до палих корисних копалин і створюється в результаті природного відмирання та неповного розпаду болотної рослинності в умовах надлишкової вологості і недостатньому доступі повітря.

Торфові родовища зустрічаються майже по всій території України, за виключенням приморських і південних - областей (Кримська, Луганська, Одеська, Чернівецька).

Нерівномірність територіального розподілу торфових ресурсів в Україні обумовлена неоднорідністю кліматичних, геологічних та інших факторів, що визначають процеси торфоутворення і торфонагромадження.

За основу геолого- економічної оцінки ресурсів торфу в Україні покладений Державний облік запасів торфу, геологічна вивченість родовищ торфу і потреба в торфі народного господарства.

За даними Держкомгеології на території України виявлено і розвідано 3118 торфових родовищ з геологічними запасами біля 2,2 млрд. т. Загальна площа родовищ становить біля 3 млн.га, в промислових межах - біля 600 тис.га, балансові запаси торфу становлять біля 735 млн. т. Запаси торфу на відведених під промислову розробку родовищах становлять 22,6 млн. т., а підготовлені промислові потужності по його видобуванню - 2100 тис. т (по виробництву торфобрикетів - 700 тис. т).

Загальний енергетичний потенціал промислових запасів торфу в Україні, що являє собою енергетичний потенціал всіх його геологічних запасів, в перерахунку на умовне паливо становить 836,5 млн. т у.п.; доцільно - економічний потенціал або енергетичний потенціал балансових родовищ - біля 362 млн. т у.п.

### ***Низькопотенціальні джерела енергії***

#### *Енергетичний потенціал теплової енергії стічних вод в Україні*

Основними джерелами низько потенціальної скидної теплоти техногенного походження з 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. У 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 куб. м на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально - економічних умів в окремих регіонах.

У Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м<sup>3</sup>. Температура стоків становить 12 - 20 °С від сезону покладу.

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

Для розрахунку ресурсів низькопотенціальної теплової енергії стічних вод прийнято, що температура стоків в літній період становить 20 °С, а в зимовий період 12 °С. В ідеальному випадку в тепловому насосі стічні води можна охолодити до 0 °С, але в реальних умовах досягається охолодження до 0,5 °С.

Економічно - доцільні обсяги використання низькопотенціальної 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 теплопостачання міст; при використанні теплових насосів з приводом від двигунів внутрішнього згорання, паро- або газотурбінних установок значно збільшуються можливі обсяги виробництва товарної теплової енергії, а ефективність теплонасосних станцій зростає майже у два рази.

#### *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 вищевказаний куля 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°С і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40-70°С за допомогою теплових насосів. Досвід провідних країн свідчить, що енергію ґрунту найчастіше використовують в теплонасосних установках потужністю до 70-100 кВт, які обслуговують окремі невеликі будинки, головним чином садибні житлові будинки. У умовах України це можуть бути садибні будинки міст та сіл.

У Україні експлуатується 9,3 млн. садибних будинків із загальною площею 515,8 млн. м<sup>2</sup>. Для їх теплопостачання можна влаштувати ґрунтові теплообмінники з теоретичним запасом теплової енергії 525855 тис. МВт.год. на рік. Це і є теоретичні ресурси теплової енергії ґрунту та ґрунтових вод, що значно перевищують споживи енергії для опалення садибних житлових будинків.

Для оцінки енергетичного потенціалу енергії відновлюваних та нетрадиційних джерел і для встановлення можливих обсягів його практичного використання та обсягів заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів 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, якої можна реалізувати за допомогою сучасних технічних засобів; доцільно - економічний потенціал - кількість енергії, якої доцільно використовувати, враховуючи при цьому наступні фактори : економічний, екологічний, технічно - технологічні, соціальні та політичні.

## ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

На підставі цих таблиць і карт (Додаток 1) на контурній карті України необхідно відбити розподіл економічно обґрунтованого потенціалу того або іншого виду енергії, розбити територію України на 3 зони, відносно цього потенціалу і обґрунтувати закономірність розподілу того або іншого параметра на території України. Оформлення графічної частини здійснюється відповідно до призначеного кожному студентіві варіантом завдання.

### **Варіанти завдань :**

1. Охарактеризувати потенціал сонячної енергії України.
2. Охарактеризувати енергетичний потенціал торфу в Україні.
3. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту і ґрунтових вод в областях України.
4. Охарактеризувати енергетичний потенціал низькопотенціальної 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.

### **ОФОРМЛЕННЯ ВИСНОВКІВ**

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

**ЛІТЕРАТУРА:** 1,2

## Практичне заняття № 2

### БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ

**Мета:** ознайомитися з особливостями будови і функціонування різних видів геліосистем; навчитися виробляти розрахунок вакуумних трубчастих і плоских сонячних колекторів.

**Тривалість заняття - 2 години**

#### **Хід роботи :**

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомитися і законспектувати особливості будови і функціонування різних видів геліосистем
2. Вирішити прикладні завдання, згідно свого варіанту.

#### **1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:**

**Геліосистема-** це система використання сонячної енергії для нагріву води, яка складається з наступних основних компонентів:

- а) колектор (встановлюється на покрівлі);
- б) бак накопичувач (акумулятор тепла об'ємом 150-600 л.);
- в) рама для кріплення колектора.

Існує безліч різних сонячних колекторів, призначених для нагрівання води. Усе різноманіття сонячних колекторів можна підрозділити на наступні типи: плоскі сонячні колектори і вакуумні трубчасті колектори.

#### ***Плоский сонячний колектор***



Простим і найбільш дешевим способом використання сонячної енергії є нагрів побутової води в так званих плоских сонячних колекторах.

Плоский сонячний колектор є теплоізольованим з тильного боку і боків ящиком, усередині якого поміщена тепловосприймаюча металева або пластикова панель, забарвлена в темний колір (чи покрита спеціальним оптичним селективним покриттям, що добре поглинає сонячне випромінювання і мало випромінює в інфрачервоній області). Абсорбер закритий згори світлопрозорим обгороджуванням (один або два шари скла або прозорого, стійкого під впливом ультрафіолету пластика). Панель є теплообмінником, по каналах якого прокачується вода, що нагрівається. Вода прямує в теплоізольований бак, гідравлічно сполучений з сонячним колектором.

### ***Вакуумний трубчастий колектор***



Як і плоскі сонячні колектори, вакуумні трубчасті колектори перетворюють сонячну енергію, що падає, на тепло.

Сонячне випромінювання потрапляє всередину вакуумної скляної трубки, тут і відбувається перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову енергію. Фактично, втрат тепла в довкілля не відбувається, так вакуум - найгірший провідник тепла. Вакуум підтримується між зовнішнім покриттям із скла і теплопоглинальним шаром. Завдяки вакууму мінімізуються теплові втрати, і різко знижується залежність ККД колектора від різниці температур (між температурою колектора і температурою зовнішнього повітря).

Геліосистеми можуть бути одноконтурні або двоконтурні з природною або з примусовою циркуляцією теплоносія (вода або спеціальна незамерзаюча рідина).

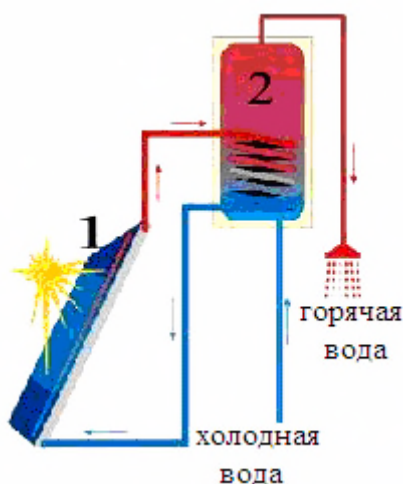
#### *Одноконтурні і двоконтурні системи*

У одноконтурних системах в сонячні колектори поступає і нагрівається саме та вода, яка витрачається з бака-акумулятора.

У двоконтурних системах в контурі сонячних колекторів знаходиться спеціальний теплоносій (зазвичай незамерзаюча нетоксична рідина з антикорозійними і антивспениваючими присадками або підготовлена вода), при цьому теплова енергія від теплоносія передається воді за допомогою теплообмінника (спіральна труба в баку - "змійовик", зовнішній теплообмінний апарат або "бак в баку").

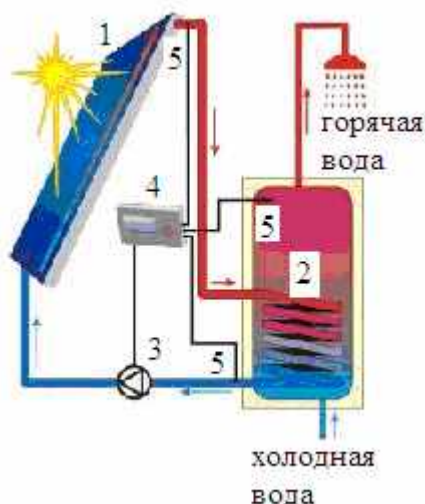
#### *Системи з природною або з примусовою циркуляцією теплоносія*

Принцип роботи систем з природною циркуляцією теплоносія : Розігрітий теплоносій (маючи нижчу щільність) спрямовується у верхню частину колектора, внаслідок чого виникає різниця гідростатичних тисків; якщо колектор підключити до бака, який знаходиться вище за нього, то виникне мимовільна циркуляція теплоносія, швидкість якої залежить від конструкції колектора, інтенсивності сонячного випромінювання і швидкості охолодження в теплообміннику.



1. - Колектор;
2. - Бак-акумулятор (бак-бойлер);

У системах з *примусовою* циркуляцією в контур колекторного круга включається малопотужний циркуляційний насос, який примушує циркулювати теплоносії. Його роботою управляє спеціальний контроллер. Споживана потужність насоса, незрівняно мала з тепловою енергією, яка виробляється системою.



1. - Колектор;
2. - Бак-акумулятор (бак-бойлер);
3. - Циркуляційний насос;
4. - Контроллер (блок управління);
5. - Датчики температури.

Ключовими чинниками при виборі системи є: можлива температура повітря в найхолодніший період року і кількість ясних сонячних днів. Системи з природною циркуляцією набули поширення в країнах з теплим кліматом.

### Переваги геліосистем

- Сонячна енергія безкоштовна.
- Тривалий термін експлуатації - 25 років.
- Автономність (для літніх сонячних систем без використання електроенергії).
- Низька собівартість отриманої теплової енергії.
- Використовується екологічно чиста невичерпна енергія сонця.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

**2.1. Виконати розрахунок кількості плоских сонячних колекторів, згідно зі своїм варіантом завдання, використовуючи розрахункову схему (Додаток 2)**

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>1</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Кількість людей в сім'ї, люд.</i>	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Місто проживання	Київ	Донецьк	Чернігів	Симферополь	Ялта	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно
Добова потреба у воді, люд/доба	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
Необхідна міра заміщення традиційної енергетики, %	45	60	70	45	60	70	45	60	70	45
Орієнтація колектора	в/з	юв/ю	юг	в/з	юв/ю	юг	в/з	юв/ю	юг	в/з
Кут нахилу колектора, °	30/45	60	60	30/45	30/45	60	60	30/45	30/45	60

## 2.2. Вирішити прикладні завдання

### **Завдання 1.** Розрахувати кількість трубок для вакуумного сонячного колектора *Ataba*, виходячи з таких даних.

Необхідно забезпечити гарячою водою сім'ю з  $n$  чоловік, що проживають в  $N$ -ске, при середньодобовій потребі кожного з них  $V$  л. Середня температура води, що входить, складає  $t_n$  °С, необхідна кінцева температура -  $t_k$  °С; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором *Ataba* складає  $Y$  %, площа поглинання -  $S_{тр}$  м<sup>2</sup>.

Розрахунок виробляється по наступному алгоритму:

1. Визначуваний об'єм нагрівача місткості :

$$V_H = (X \cdot V_x) \cdot 1,5,$$

де  $V_H$  - об'єм колектора місткості, м<sup>3</sup>

$X$  - кількість людей в сім'ї, люд.

$V_x$  - середньодобова потреба у воді кожного члена сім'ї, м<sup>3</sup>/чел

2. Визначуваний температурний перепад:

$$T_T = T_K - T_H,$$

де  $T_K$  - кінцева температура води, °С;

$T_H$  - початкова температура води, °С.

3. Розраховуємо кількість енергії, необхідної для нагрівання потрібної кількості води з урахуванням того, що для нагріву одного літра води на один градус потрібно витратити енергію рівну 1 Ккал.

$$G = V_H \cdot T_T$$

Для переведення цієї енергії в Квт\*ч скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8$$

((1кВт\*ч = 859,8 Ккал)

4. Визначимося з кількістю енергії, яка може поглинатися і перетворюватися в тепло сонячними колекторами Атаба.

Визначаємо середньомісячне значення сонячної радіації ( $G_x$ ) для вказаного міста (Додаток 3)

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора по формулі, :

$$G_{mp} = G_x \cdot Y \cdot S_{mp},$$

де  $Y$  - кількість сонячної енергії, здатна поглинатися цією маркою колектора, %

$S_{tr}$  - площа поглинання вакуумної трубки цього колектора,  $m^2$

5. Визначаємо необхідне число трубок.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Кількість людей в сім'ї, люд.</i>	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
<i>Місто проживання</i>	Київ	Донецьк	Чернігів	Симферополь	Ялта	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно
<i>Добова потреба у воді, люд/доба</i>	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
$t_{н}, ^\circ C$	12	14	16	11	13	15	12	14	16	13
$t_{к}, ^\circ C$	55	60	57	59	62	65	64	63	58	60
$Y, \%$	80	79,5	79,3	80,2	81	78,9	79,2	80,5	80,8	82
$S_{mp}, m^2$	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

**Завдання 2.** На сонячній електростанції типу вежі встановлено  $n$  геліостатів, кожен з яких має поверхню  $F_g m^2$ . Геліостати відбивають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість  $N_{пр} = 2,5$  МВт/міліграма. Коефіцієнт віддзеркалення геліостата  $R_g = 0,8$ . коефіцієнт поглинання приймача  $A_{пр} = 0,95$ . Максимальна опроміненість дзеркала геліостата  $H_g = 600$  Вт/міліграма .

Визначити площу поверхні приймача  $F_{пр}$  і теплові втрати в ній, викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає  $t$  °С. Міра чорноти приймача  $\epsilon_{пр} = 0,95$ . Конвективні втрати удвічі менше втрат від випромінювання.

Завдання 2 присвячена використанню сонячної енергії на електростанції типу вежі з використанням геліостатів, що відправляють сонячні промені на приймач, в якому, кінець кінцем, отримують перегріту водяну пару для роботи в паровій турбіні.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт), може бути визначена по рівнянню:

$$Q = R_{\Gamma} \cdot A_{\text{пр}} \cdot F_{\Gamma} \cdot N_{\Gamma} \cdot n$$

де  $N_{\Gamma}$  - опроміненість дзеркала геліостата у Вт/м<sup>2</sup> (для типових умов  $N_{\Gamma} = 600$  Вт/м<sup>2</sup>);

$F_{\Gamma}$  - площа поверхні геліостата, м<sup>2</sup> ;

$n$  - кількість геліостатів;

$R_{\Gamma}$  - коефіцієнт віддзеркалення дзеркала концентратора,  $R_{\Gamma} = 0,7 \div 0,8$ ;

$A_{\text{пр}}$  - коефіцієнт поглинання приймача,  $A_{\text{пр}} < 1$ .

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ній  $N_{\text{пр}}$  Вт/міліграма,

$$F_{\text{пр}} = Q / N_{\text{пр}}$$

У загальному випадку температура на поверхні приймача може досягати  $t_{\text{пов}} = 1160$ , що дозволяє нагрівати теплоносії до 700 °С. Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі можна вичислити за законом Стефана-Больцмана:

$$q_{\text{луч}} = \varepsilon_{\text{пр}} \cdot C_0 \cdot (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2$$

де  $T$  - абсолютна температура теплоносія, До;

$\varepsilon_{\text{пр}}$  - міра чорноти сірого тіла приймача;

$C_0$  - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного чола, Вт / (м<sup>2</sup>·К<sup>4</sup>)

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	243	253	263	273	283	293	303	313	323	333
$F_{\Gamma}, \text{ м}^2$	64	61	58	55	52	49	46	43	40	37
$t, ^\circ \text{C}$	700	680	660	640	620	580	560	540	520	600

**Завдання 3.** Визначити теплоту, що підводиться геліостатами до встановленого на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції, якщо кількість геліостатів  $n$ , площа дзеркал одного геліостата  $F$ , інтенсивність сонячного випромінювання  $I$ , коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання  $\eta$ . Визначити також термічний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки СЭС, що працює по циклу Ренкіна, якщо параметри гострої пари  $p_1, t_1$ , тиск в конденсаторі  $p_2 = 10$ кПа, ККД парогенератора  $\eta_{\text{пг}} = 0,85$ . Як зміниться потужність СЭС, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД  $\eta_{\text{фэ}} = 0,15$ , що займають ту ж площу, що і дзеркала геліостатів?

У паротурбінних сонячних енергетичних установках теплота сонячного випромінювання від дзеркал геліостатів концентрується на парогенераторі, встановленому на вежі. Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_i n F I, \text{ Вт},$$

де  $\eta_i$  - коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35..0,5)

$n$  - кількість геліостатів

$F$  - площа дзеркал одного геліостата, м<sup>2</sup>

$I$  - інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Робота кілограма пари паротурбінної установки в циклі Ренкіна рівна

$$l = h_1 - h_2, \text{ кДж/кг}$$

термічний ККД

$$\eta_t = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_k)},$$

Де  $h_1$  - ентальпія гострої пари,  $h_2$  - ентальпія пари (визначається по  $h - s$  діаграмі водяної пари), що відпрацювала в турбіні,  $h_k$  - ентальпія конденсату (визначається по таблицях термодинамічних властивостей води і водяної пари).

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе

$$N_{\text{тт}} = \eta_t \eta_g Q, \text{ Вт}$$

Де  $\eta_g$  - ККД електрогенератора (в межах 0,92... 0,96)

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням

$$N_{\text{фэ}} = \eta_{\text{фэ}} F_{\text{фэ}} I, \text{ Вт},$$

Де  $\eta_{\text{фэ}}$  - ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в межах 0,13...0,18),  $F_{\text{фэ}}$  - їх загальна площа, м<sup>2</sup>.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$n, \text{шт}$	1000	3000	5000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
$F_r, \text{м}^2$	10	12	14	13	12	11	12	13	14	12
$I, \text{Вт/м}^2$	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
$\eta_{\text{т}}, \%$	50	48	46	47	49	50	51	50	49	51
$p_1, \text{Мпа}$	12	11	10	9	8	9	10	11	12	10
$t, ^\circ\text{C}$	450	440	430	420	410	400	410	420	430	440

### Практичне заняття № 3

## РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ОБІГРІВУ БАСЕЙНІВ І ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

*Мета:* ознайомитися з методикою розрахунку геліосистем для обігріву басейнів різного типу, виробити розрахунок по заданих параметрах.

*Тривалість заняття - 2 години*

#### *Хід роботи :*

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомитися і законспектувати особливості теплоспоживання басейнів і шляху рішення задачі за розрахунком геліосистем для їх обігріву.
2. Відповідно до індивідуального завдання виробити розрахунок геліосистеми для опалювання басейну, об'єм витрат власника на обігрів басейну, а також об'єму бака акумулятора при обігріві житлового будинку

#### 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА:

Теплоспоживання басейну залежить від його типу (критий або відкритий), способу укриття і положення. На теплоспоживання відкритих плавальних басейнів впливають коливання температури атмосферного повітря, зміни хмарності, теплоізоляція плавального басейну і необхідна температура води басейну. Для підтримки температури води відкритого басейну, залежно від типу вимагається енергія еквівалентна 0,5-0,6 КВт /м<sup>2</sup>.

Для критих басейнів теплоспоживання визначається вентиляцією, вологістю і температурою повітря і необхідною температурою води басейну. Для підтримки температури води закритого басейну вимагається енергія еквівалентна 0,1-0,3 КВт /м<sup>2</sup>.

*Існує декілька шляхів рішення задачі за розрахунком геліосистем для обігріву басейну :*

- сонячні колектори передають свою теплову енергію безпосередньо теплообміннику басейну. Теплопередача відбувається при сонячному часі доби. У разі недоліку тепла, що виробляється, сонячними колекторами підключається дублер-нагрівач (газовий, електричний або твердопаливний котел).

- встановлюється подвійний, в порівнянні з першим варіантом, масив сонячних колекторів. Тепло сонячного колектора надлишкове у світлий час доби запасається в бак акумулятор. Надалі за допомогою теплообмінника бак-акумулятор віддає своє тепло воді басейну.

Обидва варіанти мають право на життя. В кожному випадку потрібно розглядати ситуацію індивідуально.

#### 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

*2.1. Розрахунок сонячного колектора для обігріву басейну, об'єму витрат власника на обігрів басейну, а також об'єму бака акумулятора при обігріві житлового будинку*

**Завдання 1.** Необхідно розрахувати геліосистему для опалювання закритого (відкритого) басейну площею  $S$  м<sup>2</sup>, що знаходиться в  $N$  -ске за умови, що кількість енергії, що витрачається в годину на підтримку температури  $1$  м<sup>2</sup> поверхні, рівна  $E$  кВт\*ч/м<sup>2</sup>. Здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Атаба складає  $Y$  %, площа поглинання -  $S_{тр}$  м<sup>2</sup>.

Розрахуйте витрати, які б поніс власник цього басейну на його обігрів, при використанні електроенергії.

Розрахунок сонячного колектора, необхідного для обігріву басейну, виробляється по наступному алгоритму:

1. Кількість енергії, необхідне щогодинне для підтримки заданої температури басейну розраховується по формулі:

$$U = E \cdot S$$

де  $E$  - кількість енергії, що витрачається в годину на підтримку температури  $1$  м<sup>2</sup> поверхні; кВт\*ч/м<sup>2</sup>;

$S$  - площа "дзеркала" води, м<sup>2</sup>.

2.Расчитываем кількість енергії, необхідна для підтримки заданої температури басейну протягом доби (світлого часу доби) по формулі, :

$$U_c = U \cdot 24(8)$$

Якщо ми хочемо використовувати енергію сонячних колекторів тільки у світлий час доби, то ми повинні набрати масив колекторів, який забезпечить нас теплом сонячної радіації в течії світлового дня, тобто протягом 8 годин.

3. Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора по формулі, :

$$G_{mp} = G_x \cdot Y \cdot S_{mp},$$

де  $G_x$  - середньомісячне значення сонячної радіації (для вказаного міста (додаток 3);

$Y$  - кількість сонячної енергії, здатна поглинатися цією маркою колектора, %

$S_{тр}$  - площа поглинання вакуумної трубки цього колектора, м<sup>2</sup>.

4. Прораховуємо необхідну кількість трубок.

5. Розраховуємо витрати на електроенергію в рік для підтримки заданої температури в басейні, за умови, що при перевищенні ліміту 600кВт\*ч в місяць діє тариф 1кВт\*ч = 1,0122 грн.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
<i>Місто проживання</i>	Київ	Донецьк	Чернігів	Симферополь	Ялта	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Тип басейну	відкритий	закритий	відкритий	закритий	відкритий	закритий	відкритий	закритий	відкритий	закритий
S, м2	13	12,6	14,2	15,1	15,3	13,4	12,8	13,8	14,3	15,3
E кВт*ч/м2	0,29	0,3	0,27	0,28	0,31	0,33	0,32	0,26	0,29	0,3
Y, %	80	79,5	79,3	80,2	81	78,9	79,2	80,5	80,8	82
Smp, м2	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

**Завдання 2:** Для опалювання будинку протягом доби буде потрібно Q ГДж теплоти. При використанні для цієї мети сонячної енергії теплова енергія може бути запасена у водяному акумуляторі. Допустимо, що температура гарячої води  $t_1$  °С. Яка має бути місткість бака акумулятора V (м3), якщо теплова енергія може використовуватися в опалювальних цілях до тих пір, поки температура води не знизиться до  $t_2$  °С? Величини теплоємності і щільності води узяти з довідкової літератури.

Завдання 2 присвячена визначенню місткості водяного акумулятора теплової енергії, призначеного для опалювання, гарячого водопостачання і кондиціонування повітря в житловому будинку. Джерелом теплової енергії може бути, наприклад, сонячна енергія, що уловлюється сонячними панелями на даху будинку. Циркулююча в панелях вода після нагріву прямує в бак - акумулятор, а звідти насосом в опалювальні батареї і до водорозбірних кранів гарячого водопостачання. Можуть бути і складніші, комплексні системи акумуляції тепла з використанням засипки з гравію та ін.

Необхідний об'єм бака - акумулятора V (м3) для води можна визначити по відомому рівнянню для ізобарного процесу, якщо знати: добову потребу в тепловій енергії для будинку Q (ГДж); температуру гарячої води, що отримується в сонячних панелях  $t_1$  °С; найменшу температуру в баку  $t_2$  °С, при якій ще можлива дія опалювальної системи :

$$Q = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (t_1 - t_2)$$

де  $\rho$  - щільність морської води, кг/м3

$C_p$  - питома масова теплоємність води при  $p = \text{const}$  в Дж/(кг·К)

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Q, ГДж	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,56	0,64	0,62	0,60	0,58
$t_1$ , °С	52	50	54	50	52	54	52	50	52	50
$t_2$ , °С	31	30	29	28	27	31	30	29	28	27

## Практичне заняття № 4

### РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА

***Мета:** ознайомитися з основними параметрами ВЕУ і методикою розрахунку вітрогенераторів.*

***Тривалість заняття - 2 години***

#### ***Хід роботи :***

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомиться і законспектувати класифікацію і особливості будови вітрогенераторів і їх технічні характеристики.
2. Відповідно до індивідуального завдання виробити розрахунок вітрогенератору.

#### 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

*Вітрогенераторами називають двигуни, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу. По пристрою вітряка і положенню його в потоці вітру системи вітродвигунів розділяються на три класи:*

1. Крильчаті вітрогенератори мають вітроколесо з тим або іншим числом крил. Площина обертання вітроколеса у крильчатих вітродвигунів перпендикулярна напрямку вітру, отже, вісь обертання паралельна вітру (мал. 1, а). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів досягає  $\xi = 0,42$ .

2. Карусельні і роторні вітрогенератори мають вітроколесо (ротор) з лопатями, рухомими у напрямі вітру; вісь обертання вітроколеса займає вертикальне положення (мал. 1, б). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітродвигунів рівний від 10 до 18%.

3. Барабанні вітрогенератори мають таку ж схему вітроколеса, як і роторні, і відрізняються від них лише горизонтальним положенням ротора, тобто вісь обертання вітроколеса горизонтальна і розташована перпендикулярно потоку вітру (рис. 1, г). Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітряків від 6 до 8%.

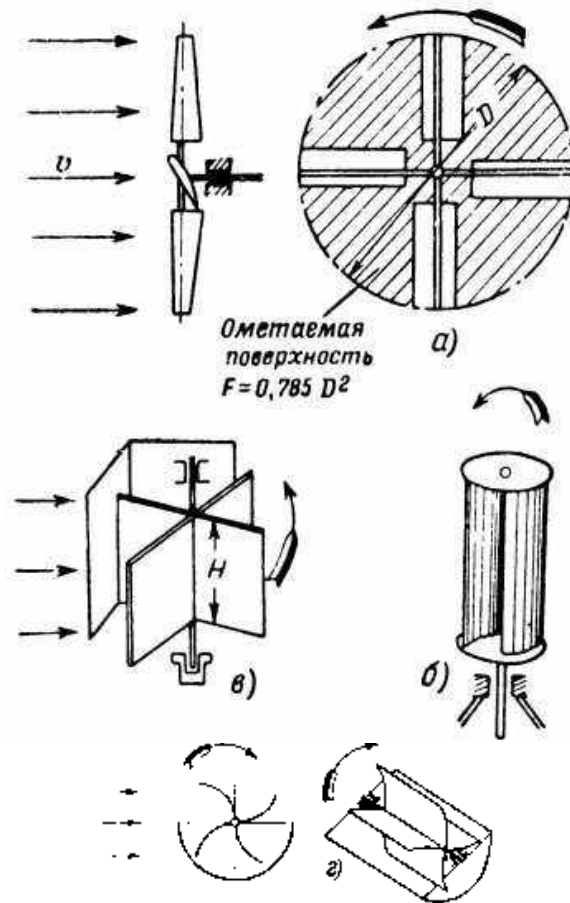


Рис. 1. Системи вітродвигунів : а - крильчаті вітродвигуни; б) - роторні вітрогенератори; в - карусельні вітрогенератори; г - барабанні вітрогенератори.

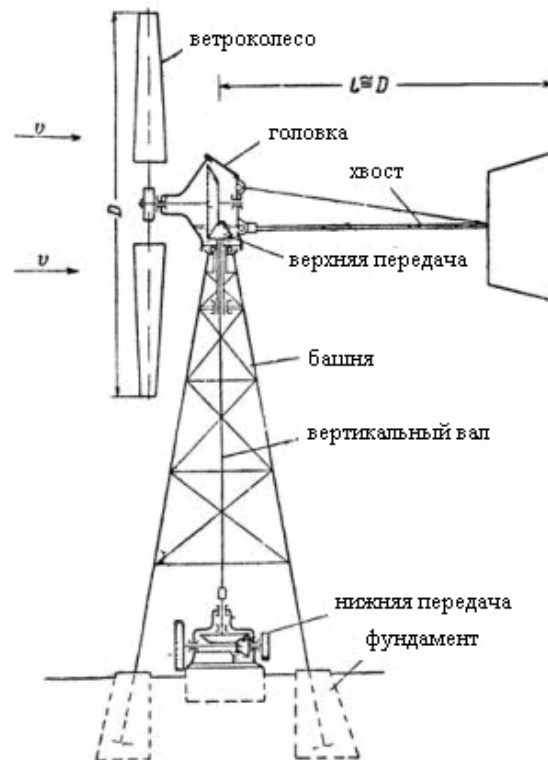


Рис. 2 - Вітродвигун і його основні елементи

Крильчатий вітродвигун складається з наступних елементів (рис. 2):

1. *Вітряк* може мати від 2 до 24 лопатей. Вітряки з числом лопатей від 2 до 4 називаються малолопатевими; якщо у ветроколеса більше 4 лопатей, то воно називається багатолопатеvim.

2. *Голівка* ветродвигателя представляє опору, на якій монтується вал ветроколеса і верхня передача (редуктор).

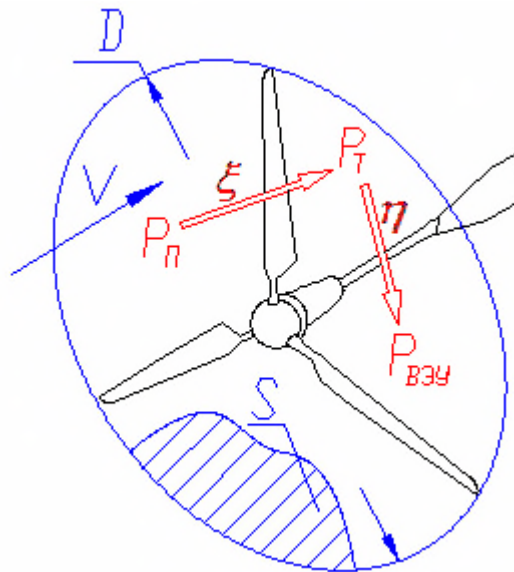
3. *Хвіст* кріпиться до голівки і повертає її біля вертикальної осі, встановлюючи ветроколесо на вітер.

4. Вежа ветродвигателя служить для винесення ветроколеса вище за перешкоди, що порушують течію повітряного потоку. Малопотужні ветродвигатели, що працюють на генератор, зазвичай монтуються на стовпі або трубі з розтяжками.

5. Біля основи вежі вертикальний вал трапляється до *нижньої передачі* (редуктору), яка передає рух робочим машинам.

6. Регулювання оборотів ветроколеса представляє пристосування або механізм, з що обмежує обороти ветроколеса із збільшенням швидкості вітру.

Параметри ветроустановки пов'язані між собою нескладними однозначними фізичними залежностями.



### Основні параметри ВЭУ :

*Номінальна потужність  $P_{ном}$  [Вт, кВт]* - потужність, що розвивається ветроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;

*Розрахункова швидкість вітру  $V_p$  [м/з]* - швидкість, яку приймають для розрахунку вітрового навантаження на споруди при проектуванні. Залежно від класу споруди враховується швидкість із заданою повторюваністю - 1 раз на рік, в 5, 10, 15, 20, 50 і 100 років;

Діаметр ветротурбіни  $D$  [м] - відрізок, що сполучає пару найбільш віддалених одна від однієї точок ветротурбіни, проходить через її центр.

Вироблення енергії  $W_M$  [кВт·Ч] - кількість енергії, що виробляється ветротурбіною за певний проміжок часу (місяць, рік), величина, залежна від середньої швидкості вітру;

Середня потужність  $P_{CP}$  [кВт] - потужність, при безперервній підтримці якої, вироблення енергії за місяць буде рівне реальному.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 2.1. Розрахунок вітрогенератора

**Завдання 1** Розрахувати потужність ветроустановки з радіусом ротора  $R$  м при стартовій швидкості вітру  $V$  м/з, коефіцієнтом використання вітру  $\xi$ , ККД редуктора -  $\eta_{ред}$ ; ККД генератора -  $\eta_{ген}$ .

**Завдання 2.** При якій швидкості вітру ветроустановка генеруватиме кількість енергії, достатню для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка при радіусі ротора  $R$  м, коефіцієнті використання вітру -  $\xi$ ; ККД редуктора -  $\eta_{ред}$ ; ККД генератора -  $\eta_{ген}$ .

Розрахунок ветрогенератора здійснюють по алгоритму:

1. Потужність ветроустановки рівна

$$P = \eta \cdot P_T,$$

де  $\eta$  - коефіцієнт корисної дії генератора і трансмісії (зазвичай рівний 0.8 - 0.9);

$P_T$  - потужність ветротурбіни.

2. Потужність турбіни складає

$$P_T = \xi \cdot P_{II},$$

де  $\xi$  - коефіцієнт ветроиспользования. Принципово відрізняється від ККД тим, що "недоотримана" потужність, в основному, не є втратами, а залишається в потоці. По різних теоріях максимальне значення коефіцієнта ветроиспользования ідеального пристрою складає 0.59 - 0.68. Це легко зрозуміти, представивши крайню ситуацію, коли у потоку відбирається 100% енергії. У такому разі потік повинен повністю зупинитися, що вже суперечить його наявності. Реальний коефіцієнт ветроиспользования добре спроектованої турбіни складає 0.4-0.55;

$P_{\Pi}$  - потужність вітрового потоку, що проходить через оmetaемую ветротурбиною площа.

4. Потужність потоку обчислюється за формулою

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot V^3}{2} S,$$

де  $\rho$  - щільність повітря (стандартне значення 1.225 кг/м<sup>3</sup>);

$V$  - швидкість необуреного вітрового потоку;

$S = \pi D^2/4$  - оmetaемая площа.

Точніший розрахунок можна провести по формулі:

$$P = \xi \cdot \pi \cdot R^2 \cdot 0,5 \cdot V^3 \cdot \rho \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{ген},$$

де,  $\xi$  - коефіцієнт використання енергії вітру (у номінальному режимі для швидкохідних вітряків досягає максимум  $\xi_{max} = 0,4 \div 0,5$ ), безмірна величина

$R$  - радіус ротора, м

$V$  - швидкість повітряного потоку, м/з

$\rho$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>

$\eta_{ред}$  - ККД редуктора, %

$\eta_{ген}$  - ККД генератора, %.

Для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка необхідно мати установку середньої потужності 3 кВт.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$R, м$	2,3	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2
$V, м/з$	4,7	4,9	5,2	6,4	6,3	5,5	5,8	5,0	4,9	4,7
$\xi$	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,49	0,5	0,53
$\eta_{ред} \%$	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\eta_{ген} \%$	0,88	0,89	0,9	0,87	0,86	0,85	0,9	0,87	0,88	0,89

**Завдання 3.** Визначити потужність вітрової електростанції, в однотипних ветроенергетических установок, що містить. Довжина лопости ветроколеса  $L$ , швидкість вітру  $w$ , ККД ветродвигателя  $\eta_v$ , електричний ККД установки (генератора і перетворювача)  $\eta_e$ , температура повітря  $t$ , атмосферний тиск  $p$ .

Вітровий потік, що проходить через площу  $F$ , оmetaемую лопатями ветродвигателя, має енергію

$$E = \frac{mw^2}{2}, \text{ Дж}$$

де  $w$  - швидкість вітру, м/с  
 $m$  - маса повітря.

За секунду через площу  $F$  протікає  $m = \rho w F$  кг/з, де  $\rho = p/RT$  - щільність повітря, кг/м<sup>3</sup>,  $p$  - атмосферний тиск, Па,  $R = 287$  Дж/кг·До - газова постійна,  $T$  - абсолютна температура, К. Площа  $F$  визначається через довжину лопаті  $L$  ветроколеса :  $F = \pi L^2$ . Відповідно електрична потужність  $N$ , ВЕУ, що розвивається, визначається формулою

$$N = \frac{\eta_e \eta_g \rho \pi L^2 w^3}{2}, \text{ Вт}$$

Де  $\eta_v$  - ККД ветродвигателя (змінюється в межах 0,25.0,35)  
 $\eta_e$  - електричний ККД ветрогенератора і перетворювача (в межах 0,70.0,85).

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b><i>I</i></b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<i>n, шт</i>	8	9	10	11	12	11	10	9	8	7
<i>L, м</i>	55	57	59	61	63	66	69	72	75	78
<i>w, м/з</i>	12	11	10	9	12	14	16	18	20	18
<i>η<sub>v</sub>, %</i>	31	32	33	34	33	32	33	34	33	34
<i>η<sub>e</sub>, %</i>	73	74	75	76	78	77	76	77	78	79
<i>t, 0C</i>	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
<i>p, кПа</i>	100	101	102	101	100	99	98	97	99	101

## Практичне заняття № 5

### ПРИЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, МАЛІ ГЕС: ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК

*Мета:* ознайомитися з принципом роботи приливних електростанцій і малих ГЕС, а також з методикою їх розрахунку.

*Тривалість заняття - 2 години*

#### *Хід роботи :*

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомиться і законспектувати принципи роботи приливних електростанцій і малих ГЕС.
2. Відповідно до індивідуального завдання вирішити практичні завдання.

#### 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

##### *Малі гідроелектростанції (МГЕС)*

Гідроелектростанції малої потужності - це устаткування, яке засноване на гідроенергетичних установках потужністю від 1 до 3000 кВт. Установки для малої гідроенергетики класифікують по потужності на:

- устаткування для міні гідроелектростанції потужністю до 100 кВт;
- устаткування для мікро гідроелектростанцій потужністю до 1000 кВт.

Конструкція малої ГЕС базується на гідроагрегаті, який включає енергоблок, водозабірний пристрій і елементи управління. Залежно від того, які гідроресурси використовуються малими гідроелектростанціями, їх ділять на декілька категорій:

- руслові або пригребельні станції з невеликими водосховищами;
- стаціонарні міні ГЕС, використовуючі енергію вільної течії річок;
- ГЕС, що використовують існуючі перепади рівнів води на різних об'єктах водного господарства;
- мобільні міні ГЕС в контейнерах, із застосуванням як напірний дериват пластикових труб або гнучких армованих рукавів.

Принцип роботи турбіни в усіх конструкціях практично ідентичний: вода під натиском поступає на лопаті турбіни, які починають обертатися. Енергія обертання передається на гідрогенератор, який відповідає за вироблення електроенергії. Турбіни для об'єктів підбираються відповідно до деяких технічних характеристик, серед яких головним залишається натиск води. Крім того, турбіни вибираються залежно від виду камери яка йде в комплекті - сталеву або залізобетонною.

Потужність ГЕС залежить від натиску і витрати води, а також від ККД використовуваних турбін і генераторів. Через те, що за природними законами рівень води постійно міняється, залежно від сезону, а також ще з ряду причин, як вираження потужності гідроелектричної станції прийнято брати

циклічну потужність. Приміром, розрізняють річний, місячний, тижневий або добовий цикли роботи.

### *Приливні електростанції*

Принцип роботи приливної електростанції (ПЕС) такий: в затоці будується гребля, що відділяє частину його від океану. Під час приливу і відливу по різні сторони греблі утворюється перепад рівнів води, вода спрямовується через греблю у бік нижнього рівня і приводить в рух реверсивні турбіни, що обертаються то в одну (під час приливу), то в інший бік (рис. 1).

В порівнянні із звичайною ГЕС приливна електростанція має ряд переваг :

1. Окрім відсутності необхідності створення водосховища виробітку ПЕС не залежить від водності року.
2. Приливи і відливи, змінюючи один одного, мають постійну для кожного місяця енергію.
3. Привабливі приливні електростанції і тим, що капітальні вкладення на їх будівництво не перевищують витрат на спорудження гідроелектростанцій.
4. При цьому собівартість будівництва електростанції на 1 МВт електроенергії, ПЕС, що виробляється, може обійтися у п'ятеро дешевше, ніж на ТЕС

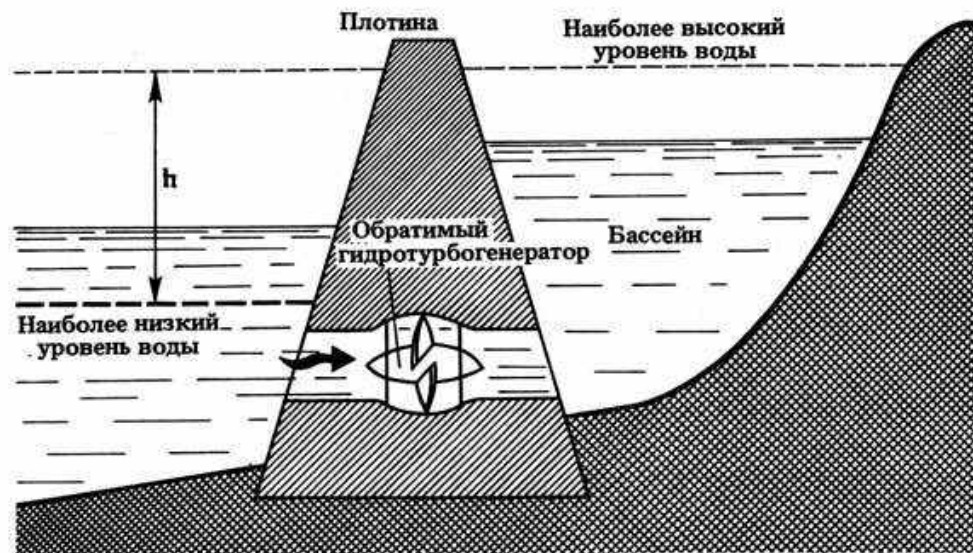


Рис. 1 - Принцип роботи приливної електростанції

Практика експлуатації підтвердила екологічну безпеку приливних електростанцій :

греблі ПЕС біологічно проникні: пропуск риби через ПЕС відбувається практично безперешкодно, основна кормова база рибного стада - планктон: на ПЕС гине 5-10 % планктону, а на ГЕС - 83-99 %;

зниження солоності води в басейні ПЕС, що визначає екологічний стан морської фауни і льоду складає 0,05-0,07 %, тобто практично невідчутно;

льодовий режим в басейні ПЕС лагідніє: в басейні зникають тороси і передумови до їх освіти, не спостерігається нажимного дії льоду на споруду, розмив дна і рух наносів повністю стабілізуються протягом перших двох років експлуатації

наплавний спосіб будівництва дає можливість не зводити в створах ПЕС тимчасові великі будбази, споруджувати перемички і інше, що сприяє збереженню довкілля в районі ПЕС;

виключений викид шкідливих газів, золи, радіоактивних і теплових відходів, здобич, транспортування, переробка, спалювання і поховання палива, запобігання спалюванню кисню повітря, затоплення територій, загроза хвилі прориву;

ПЕС не погрожує природі і людині, а зміни в районі її експлуатації мають лише локальний характер, причому, в основному, в позитивному напрямі.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

**Завдання 1. Як зміниться потужність малої ГЕС, якщо натиск водосховища  $H$  в посушливий період зменшиться в  $n$  разів, а витрата води  $V$  скоротиться на  $m$  % ? Втрати в гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах і генераторах вважати постійними.**

Завдання 1 присвячена оцінці зміни потужності малою ГЕС при коливаннях витрати води і натиску. Відомо, що потужність ГЕС (Вт) можна визначити по простому рівнянню:

$$N=9,81 \cdot V \cdot H \cdot \eta$$

де  $V$  - об'ємна витрата води в м<sup>3</sup>/з ;

$H$  - натиск ГЭС в м ;

$\eta$  - ККД ГЭС, що враховує втрати в гідравлічних спорудах водоводах, турбінах, генераторах. Для малих ГЭС  $\eta \approx 0,5$ .

ККД гідротурбін змінюється в межах 0,5 ÷ 0,9.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	3	2	1,2	1,5	3	2	1,2	1,5	3	2
$m$	30		20	30	50	30	10	20	40	20

**Завдання 2.** Визначити потужність малою ГЭС, якщо витрата води  $Q$ , натиск  $H$ . Коефіцієнт втрат натиску у відкритому гідроканалі  $L=0,85$ , ККД гідротурбіни  $\eta_T$ , ККД гідрогенератора  $\eta_G$ . Як зміниться потужність, якщо затвором зменшити витрату води до 70% від номінального? Буде вона більше або менше, ніж 70% від номінальної потужності?

Електрична потужність гідроенергетичної установки розраховується по формулі:

$$N = K \eta_T \eta_G \rho g H V, \text{ Вт}$$

Де  $K$  - коефіцієнт втрат натиску в гідроканалі

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I$	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$Q, \text{ м}^3/\text{з}$	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
$H, \text{ м}$	17	15	13	11	9	8	7	6	7	8
$\eta_T, \%$	76	78	79	80	81	82	83	84	85	84
$\eta_G, \%$	94	95	96	93	94	95	95	96	95	96

**Завдання 3** Використовуючи формулу Л. Б. Бернштейна, оцінити приливний потенціал басейну  $\mathcal{E}$  піт (кВт·ч), якщо його площа  $F$  км<sup>2</sup>, а середня величина приливу  $R_{\text{сп}}$  м

Завдання 3 присвячена оцінці енергетичного потенціалу  $\mathcal{E}_{\text{пот}}$  (кВт·ч) приливної енергії океанічного басейну, що має площу  $F$  км<sup>2</sup>, якщо відома середня величина приливної хвилі  $R_{\text{сп}}$  м. У науковій літературі існує декілька рівнянь, що дозволяють визначити приливний потенціал басейну. Одне з них запропоноване вітчизняним ученим Л. Б. Бернштейном :

$$\mathcal{E}_{\text{пот}} = 1,97 \cdot 10^6 \cdot R_{\text{сп}}^2 \cdot F$$

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$F, \text{ км}^2$	400	700	1000	1500	2000	2200	2500	3000	3500	4000
$R_{\text{сп}}, \text{ м}$	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	6,5	6,0	5,4	5,2	5,0

## Практичне заняття № 6

# ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ. РОЗРАХУНОК ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ОКЕАНІВ

**Мета:** ознайомитися з принципом роботи ГеоТЕС і технологіями перетворення теплової енергії океану (ПТЕО), а також з методикою їх розрахунку.

**Тривалість заняття - 2 години**

### **Хід роботи :**

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомитися з принципом роботи ГеоТЕС і технологіями перетворення теплової енергії океану (ПТЕО).
2. Відповідно до індивідуального завдання вирішити практичні завдання.

## 1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

### *Використання теплової енергії океану*

Технологія перетворення теплової енергії океану (ПТЕО) дозволяє створювати електрику за рахунок різниці температур між теплою і холодною океанською водою. Холодна вода перекачується через трубу з глибини більше 1000 метрів (з місця, куди сонячні промені ніколи не потрапляють). Система також використовує і теплу воду з області, близької до поверхні океану. Нагріта сонячними променями вода проходить через теплообмінник з хімічними речовинами з низькою температурою кипіння, наприклад аміаком, що створює хімічну пару, що приводить в рух турбіни електрогенераторів. Потім пара конденсується назад в рідку форму за допомогою охолодженої води з глибин океану. Тропічні регіони вважаються найбільш вдалим місцем для розміщення систем ПТЕО. Це обумовлено більшою різницею температур між водою на мілководді і на глибині.

На відміну від вітрових і сонячних ферм, океанічна ТЭС може виробляти екологічно чисту електроенергію цілодобово, 365 днів в році. Єдиним побічним продуктом таких енергоблоків є холодна вода, яка може використовуватися для охолодження і кондиціонування повітря в адміністративних і житлових будівлях поряд з енергогенеруючим об'єктом.

### *Використання геотермальної енергії*

Геотермальна енергія - це енергія, що отримується з природного тепла Землі. Досягти цього тепла можна за допомогою свердловин. Геотермічний градієнт у свердловині зростає на 1 °С кожні 36 метрів. Це тепло доставляється на поверхню у вигляді пари або гарячої води. Таке тепло може використовуватися як безпосередньо для обігріву будинків і будівель, так і для виробництва електроенергії.

За різними підрахунками, температура в центрі Землі складає, мінімум, 6650 °С. Швидкість охолодження Землі приблизно дорівнює 300-350 °С в мільярд років. Земля виділяє 42·10<sup>12</sup> Вт тепла, з яких 2% поглинається в корі і 98% - в мантії і ядрі. Сучасні технології не дозволяють досягти тепла, яке виділяється занадто глибоко, але і 840000000000 Вт (2%) доступної геотермальної енергії можуть забезпечити потреби людства на довгий час. Області навколо країв континентальних плит є найкращим місцем для будівництва геотермальних станцій, тому що кора в таких зонах набагато тонша.

Існує декілька способів отримання енергії на ГеоТЕС:

- Пряма схема: пара прямує по трубах в турбіни, сполучені з електрогенераторами;
- Непряма схема: аналогічна прямій схемі, але перед попаданням в труби пар очищають від газів, що викликають руйнування труб;
- Змішана схема: аналогічна прямій схемі, але після конденсації з води видаляють гази, що не розчинилися в ній.

## 2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

**Завдання 1.** Визначити початкову температуру  $t_2$  і кількість геотермальної енергії  $E_0$  (Дж) водоносного пласта завтовшки  $h$  км при глибині залягання  $z$  км, якщо задані характеристики породи пласта : щільність  $\rho_{гр} = 2700$  кг/м<sup>3</sup> ; пористість  $\alpha = 5$  %; питома теплоємність  $C_{гр} = 840$  Дж/(кг·К). Температурний градієнт  $(dT/dz)$  в °З/км вибрати по таблиці варіантів завдання.

Середню температуру поверхні  $t_0$  прийняти рівною 10 °С. Питома теплоємність води  $C_v = 4200$  Дж/(кг·К); щільність води  $\rho = 1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Розрахунок виробити по відношенню до площі поверхні  $F = 1$  км<sup>2</sup>. Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною  $t_1 = 40$  °С.

Визначити також постійну часу витягання теплової енергії  $t_0$ (років) при закачуванні води в пласт і витраті її  $V = 0,1$  м<sup>3</sup>/(з·км<sup>2</sup>). Яка буде теплова потужність, витягувана спочатку  $(dE/dz)_{\tau=0}$  і через 10 років  $(dE/dz)_{\tau=10}$ ?

Завдання 1 присвячена тепловому потенціалу геотермальної енергії, зосередженої в природних водоносних горизонтах на глибині  $z$  (км) від земної поверхні. Зазвичай товщина водоносного шару  $h$  (км) менше глибини його залягання. Шар має пористу структуру - скельні породи мають пори, заповнені водою (пористість оцінюється коефіцієнтом  $\alpha$ ). Середня щільність твердих порід земної кори  $\rho_{гр} = 2700$  кг/м<sup>3</sup>, а коефіцієнт теплопровідності  $\lambda_{гр} = 2$  Вт/(м·К). Зміна температури ґрунту у напрямку до земної поверхні характеризується температурним градієнтом  $(dT/dz)$ , вимірюваним в °З/км або До/км.

Найбільш поширені на земній кулі райони з нормальним температурним градієнтом (менше 40 °З/км) з щільністю витікаючих у напрямі поверхні теплових потоків  $\approx 0,06$  Вт/м<sup>2</sup>. Економічна доцільність витягання тепла з надр Землі тут маловірогідна.

У напівтермальних районах температурний градієнт дорівнює 40-80 °З/км. Тут доцільно використовувати тепло надр для опалювання, в теплицях, в бальнеології.

У гіпертермальних районах (поблизу меж платформ земної кори) градієнт більше 80 °З/км . Тут доцільно будувати ГеоТЭС.

При відомому температурному градієнті можна визначити температуру водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$T_r = T_0 + (dT/dz) \cdot z$$

де  $T_0$  - температура на поверхні Землі, К (° С ).

У розрахунковій практиці характеристики геотермальної енергетики зазвичай відносять до 1 км 2 поверхні F.

Теплоємність пласта  $C_{пл}$  (Дж/К) можна визначити по рівнянню

$$C_{пл} = [\alpha \cdot \rho_v \cdot C_v + (1 - \alpha) \cdot \rho_{гр} \cdot C_{гр}] \cdot h \cdot F,$$

де  $\rho_v$  і  $C_v$ - відповідно щільність і ізобарна питома теплоємність води;

$\rho_{гр}$  і  $C_{гр}$  - щільність і питома теплоємність ґрунту (порід пласта); зазвичай

$\rho_{гр} = 820-850$  Дж/(кг·К).

Якщо задати мінімально допустиму температуру, при якій можна використовувати теплову енергію пласта  $T_1$  (К), то можна оцінити його тепловий потенціал на початок експлуатації (Дж) :

$$E_0 = C_{пл} \cdot (T_2 - T_1)$$

Постійну часу пласта  $\tau_0$  (можливий час його використання, років) у разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою  $V$  (м<sup>3</sup>/с) можна визначити по рівнянню:

$$\tau_0 = C_{пл} / (V \cdot \rho_v \cdot C_v)$$

Вважають, що тепловий потенціал пласта під час його розробки змінюється за експоненціальним законом:

$$E = E_0 \cdot e^{-(\tau/\tau_0)}$$

де  $\tau$  - число років з початку експлуатації;

$e$  - основа натуральних логарифмів.

Теплова потужність геотермального пласта у момент часу  $\tau$  (років з початку розробки) у Вт (МВт) :

$$\left( \frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau} = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp\left( - \frac{\tau}{\tau_0} \right)$$

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$h, \text{ км}$	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5

$z, \text{ км}$	2,5	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4	3,5	3
$((dT/dz) \text{ } ^\circ\text{C}/\text{км})$	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30

**Завдання 2** Вважається, що дійсний ККД  $\eta$  океанічною ТЭС, що використовує температурний перепад поверхневих і глибинних вод ( $T_1 - T_2$ ) =  $\Delta T$  і що працює по циклу Ренкіна, удвічі менше термічного ККД установки, що працює по циклу Карно,  $\eta_{\text{тк}}$ . Оцінити можливу величину дійсного ККД ОТЭС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану  $t_1, ^\circ\text{З}$ , а температура води на глибині океану  $t_2, ^\circ\text{С}$ . Яка витрата теплої води  $V, \text{ м}^3/\text{ч}$  буде потрібно для ОТЭС потужністю  $N \text{ МВт}$  ?

Вважати, що щільність води  $\rho = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$ , а питома масова теплоємність  $C_p = 4,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ .

Завдання 2 присвячена перспективам використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану для отримання електроенергії на ОТЭС, що працює по відомому циклу Ренкіна. Як робоче тіло передбачається використання легкокипящих речовин (аміак, фреон). Внаслідок невеликих перепадів температур ( $\Delta T = 15 \div 26 \text{ } ^\circ\text{С}$ ) термічний ККД установки, що працює по циклу Карно, складає всього 5-9 %. Реальний ККД установки, що працює по циклу Ренкіна, буде удвічі менше. В результаті для отримання долі відносно невеликих потужностей на ОТЭС вимагаються великі витрати "теплої" і "холодної" води і, отже, величезні діаметри трубопроводів, що підводять і відводять.

Якщо вважати теплообмінники (випарник і конденсатор) ідеальними, то теплову потужність, отриману від теплої води  $Q_0 \text{ (Вт)}$  можна представити як

$$Q_0 = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot \Delta T,$$

де  $\rho$  - щільність морської води,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$C_p$  - масова теплоємність морської води,  $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ ;

$V$  - об'ємна витрата води,  $\text{м}^3/\text{з}$  ;

$\Delta T = T_1 - T_2$  - різниця температур поверхневих і глибинних вод ((температурний перепад циклу) в  $^\circ\text{З}$  або  $\text{К}$ ).

У ідеальному теоретичному циклі Карно механічна потужність  $N_0 \text{ (Вт)}$  може бути визначена як

$$N_0 = \eta_{\text{тк}} \cdot Q_0,$$

чи з обліком (1) і вирази для термічного ККД циклу Карно  $\eta_{\text{тк}}$ :

$$N_0 = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot (\Delta T)^2 / T_1.$$

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$N, MВт$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
$t1, °C$	30	30	28	28	26	26	24	23	21	20
$t2, °C$	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5

**Завдання 3** Двоконтурна пароводяна геотермальна електростанція з електричною потужністю  $N$  отримує теплоту від води з геотермальних свердловин з температурою  $t_{гс}$ . Суха насичена пара на виході з парогенератора має температуру на  $200C$  нижче, ніж  $t_{гс}$ . Пара розширюється в турбіні і поступає в конденсатор, де охолоджується водою з доквілля з температурою  $t_{хв}$ . Вода, що охолоджує, нагрівається в конденсаторі на  $120C$ . Конденсат має температуру на  $200C$  вище, ніж  $t_{хв}$ . Геотермальна вода виходить з парогенеруючої установки з температурою на  $150C$  вище, ніж конденсат. Відносний внутрішній коефіцієнт турбіни  $\eta_{oi}$ , електричний ККД турбогенератора  $\eta_{э}=0,96$ . Визначити термічний ККД циклу Ренкіна, витрата пари і питома витрата теплоти, витрати води з геотермальних свердловин і доквілля.

У одноконтурній паротурбінною ГеоТЭУ ентальпія сухої насиченої пари після сепарації визначається по температурі геотермальної води  $t_{гв}$ . З таблиць термодинамічних властивостей води і водяної пари або  $h - s$  діаграми. У разі двоконтурної ГеоТЭУ враховується перепад температур в парогенераторі  $\Delta t$ . У іншому розрахунок ведеться як і для сонячної паротурбінною ТЭС.

Витрата пари визначається із співвідношення

$$d = \left[ \frac{N}{(h_1 - h_2)\eta_t \eta_{oi} \eta_{э}} \right], \text{ кг/с}$$

де  $\eta_t$  - термічний ККД циклу

$\eta_{oi}$  - Відносний внутрішній ККД турбіни

$\eta_{э}$  - електрический ККД турбогенератора

$N$  - потужність ГеоТЭУ, кВт

Витрата гарячої води з геотермальних свердловин визначається з формули

$$G_{гс} = \frac{N}{\eta_t \eta_{oi} \eta_{пг} \eta_{э} c \Delta t_{пг}}, \text{ кг/с}$$

витрата холодної води з доквілля на конденсацію пари

$$G_{xg} = d \frac{(h_2 - h_k)}{c \Delta t_{xg}}, \text{ кг/с}$$

де  $c = 4,19 \text{ кДж/кг}\cdot\text{До}$  - теплоємність води

$\eta_{пг}$  - ККД парогенератора

$\Delta t_{пг}$  - перепад температур геотермальної води в парогенераторі,  $^{\circ}\text{C}$

$\Delta t_{хв}$  - перепад температур холодної води в конденсаторі,  $^{\circ}\text{C}$ .

Розрахунок ГеоТЭУ з низькокиплячими і сумішевими робочими тілами виробляється з використанням таблиць термодинамічних властивостей і  $h - s$  діаграм пари цих рідин.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N, МВт	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$t_{хв.}, ^{\circ}\text{C}$	190	200	210	220	230	240	245	255	235	240
$t_{хв.}, ^{\circ}\text{C}$	5	10	15	20	15	10	5	10	15	20
$\eta_{oi}, \%$	78	80	82	80	78	79	81	80	82	81

## Практичне заняття № 7

### РОЗРАХУНОК БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

**Мета:** ознайомитися з основними біоенергетичними установками для отримання біопалива; ознайомитися з методикою розрахунку біогазогенератора

**Тривалість заняття - 2 години**

#### **Хід роботи :**

1. На підставі теоретичної частини роботи ознайомитися з основними біоенергетичними установками для отримання біопалива.
2. Відповідно до індивідуального завдання вирішити практичне завдання.
3. Виконати тестові завдання, що дозволяють підсумувати знання про основні поняття курсу "Альтернативні джерела енергії".

#### **1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА**

Одній з найбільш перспективних тим в області розвитку альтернативних джерел енергії являється вивчення потенціалу біоенергетики, тобто отримання енергії з органічних матеріалів.

Головна перевага цього виду альтернативних джерел енергії - це велика різноманітність сировини і об'єктів його практичного застосування. Адже рослинний світ планети надзвичайно різноманітний і як паливо можна використовувати багато видів рослин. Крім того, існує можливість створення екологічно чистих видів пального. Розробка і виробництво біопалива також допоможе розв'язати проблему сміття, яке може приносити енергію, будучи сировиною.

*Биото́пливо* - це паливо з біологічної сировини, що отримується, як правило, в результаті переробки стебел цукрової тростини або насіння рапсу, кукурудзи, сої. Існують також проекти різної міри опрацьованості, спрямовані на отримання біопалива з целюлози і різного типу органічних відходів.

Існують різні класифікації біологічних палив. Найбільш загальною з них є класифікація за консистенцією, згідно якої біопаливо підрозділяється на:

- рідке (для двигунів внутрішнього згорання, наприклад, етанол, метанол, біодизель),
- тверде (дрова, солома),
- газоподібне (біогаз, водень).

#### **2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА**

***Рішення практичних завдань за розрахунком біогазогенератора.***

**Завдання 1.** Визначити об'єм біогазогенератора  $V_b$  і добовий вихід біогазу  $V_g$  в установці, що утилізувала гній від  $n$  корів, а також забезпечувану нею теплову потужність  $N$  (Вт). Час циклу зброджування  $\tau = 14$  сут при температурі  $t = 25^\circ \text{C}$ ; подача сухого зброджуваного матеріалу від однієї

тварини йде із швидкістю  $W = 2$  кг/сут; вихід біогазу з сухої маси  $v_{\Gamma} = 0,24$  м<sup>3</sup>/кг . Зміст метану в біогазі складає 70 %. ККД пристрою  $\eta$ . пального Щільність сухого матеріалу, розподіленого в масі біогазогенератора,  $\rho_{\text{сух}}$   $\approx 50$  кг/міліграма . Теплоота згорання метану за нормальних фізичних умов  $Q_{\text{нр}} = 28$  МДж/м<sup>3</sup>.

Завдання 1 присвячена проблемі використання біопалива для перетворення його енергії в теплову або електричну в сільськогосподарських підприємствах і на фермах. Одним з видів біопалива є відходи життєдіяльності тварин (гній), при переробці яких (зброджування) в біогазогенераторах можна отримувати біогаз, до складу якого (70 % за об'ємом) входить метан; теплоота згорання метану при НФУ  $Q_{\text{нр}} = 28$  МДж/м<sup>3</sup> . Час повного зброджування субстрату, що складається з води, гною і ферментів, залежно від температури змінюється від 8 до 30 сут. Щільність сухого матеріалу в субстраті складає  $\rho_{\text{сух}} \approx 50$  кг/м<sup>3</sup> . Вихід біогазу від 1 кг сухого матеріалу в добу складає приблизно  $v_{\Gamma} = 0,2 \div 0,4$  м<sup>3</sup>/кг. Швидкість подачі сухого зброджуваного матеріалу в біогазогенератор (метантенк)  $W$  залежить від виду тварин і їх кількості на фермі.

Якщо позначити через  $m_0$  (кг/сут) подачу сухого зброджуваного матеріалу, то добовий об'єм рідкої маси, що поступає в біогазогенератор (м<sup>3</sup>/сут) можна визначити по формулі, :

$$V_{\text{сут}} = m_0 / \rho_{\text{сух}}$$

Об'єм біогазогенератора, необхідного для ферми (м<sup>3</sup>), :

$$V_{\text{б}} = \tau \cdot V_{\text{сут}}$$

Добовий вихід біогазу :

$$V_{\Gamma} = m_0 \cdot v_{\Gamma}$$

Теплова потужність пристрою, що використовує біогаз (МДж/сут) або (Вт)

$$N = \eta \cdot Q_{\text{нр}} \cdot V_{\Gamma} \cdot f_{\text{м}}$$

де  $f_{\text{м}}$  - об'ємна доля метану в біогазі;

$\eta$  - ККД пристрою ( $\approx 60\%$ ) пального.

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	24	20	18	16	14	12	10	8	6	4
$\eta$	0,7	0,7	0,68	0,68	0,66	0,66	0,64	0,62	0,6	0,6

## 2.2. Тестові завдання видаються викладачем індивідуально. Приклади тестових завдань представлені нижче.

### Варіант 1

- При принудительной системе циркуляции теплоносителя в гелиосистеме бака-накопитель располагается:
  - выше гелиоколлектора;
  - ниже гелиоколлектора;
  - на одном уровне с гелиоколлектором.

## ПЕРЕЛІК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

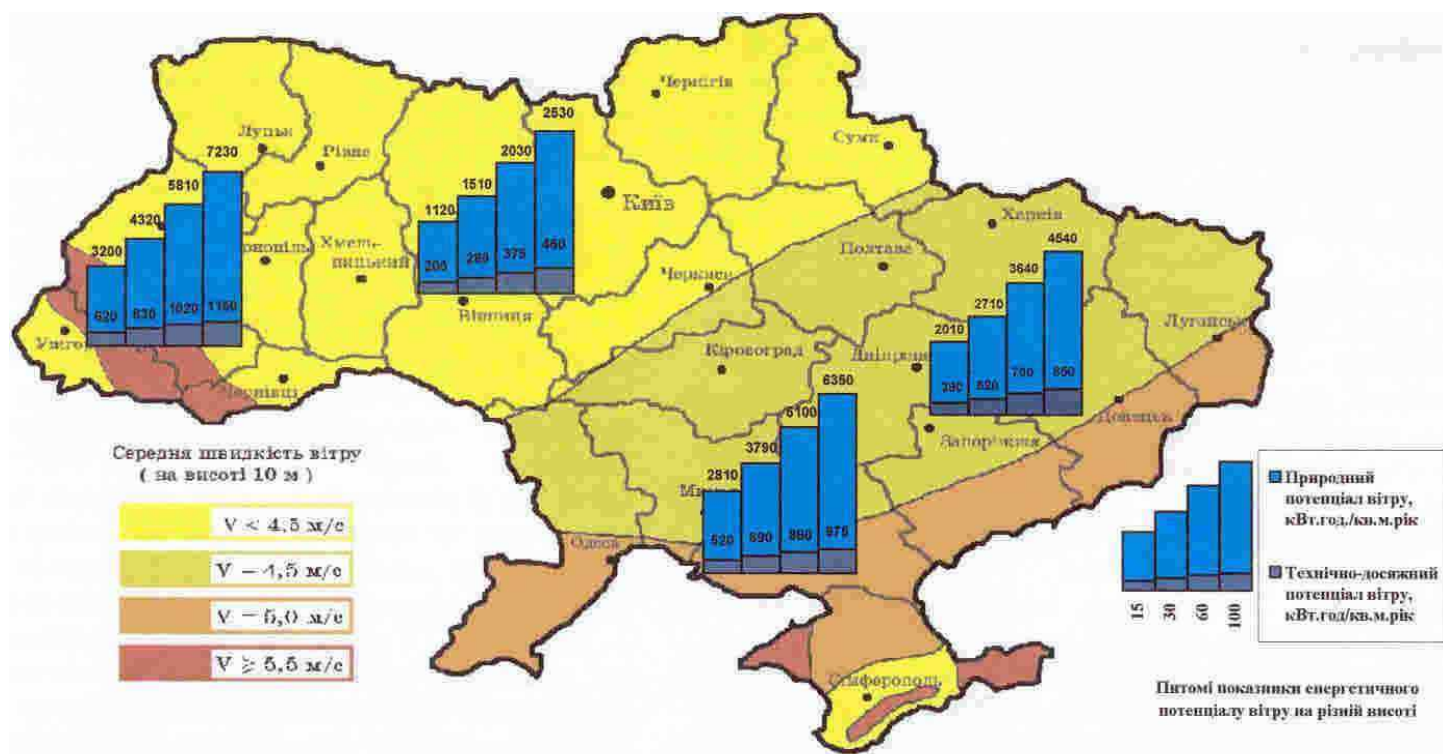
1. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / [Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В., Саченко А.І.]; за редакцією доктора технічних наук, професора Клименка В. В. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2023. – 268с.
2. Електричне обладнання підстанцій систем електропостачання / А.Ю. Орлович, П.Г. Плешков, О.А. Козловський та ін. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2020, 274 с.
3. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання : підручник / В. В. Клименко, В. П. Солдатенко, С. П. Плешков [та ін.] ; ред. В. В. Клименка. - Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2023. - 268 с.
4. Боблях С. Р., М. М. Мельничук, В.С. Мельник, Р. М. Ігнатюк /Відновлювальні джерела енергії. Монографія. – Луцьк: Волинський національний університет ім. Лесі Українки, 2012. - 227 с.
5. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України /Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П., Шинкаренко Л.Я., Довга В.Т., Васько П.Ф., Бриль А.О., Шурчков А.В., Забарний Г.М., Жовмір М.М., Віхарев Ю.А.// НАНУ: ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ. – Київ. – 2001. – 42 с.
6. Альтернативні енергоресурси. Вступ до спеціальності: навчальний посібник / С.В. Бойченко, А.В. Яковлева, О.О. Вовк, Казимир Лейда, С.Й. Шаманський; за заг. редакцією С.В. Бойченка. – К.: НАУ, 2021. – 397 с.
7. Арсеньев В.М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навчальний посібник / В.М. Арсеньев, С.С. Мелейчук. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 364 с.
8. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізничних підприємств (аналіз, перспективи, проекти). Монографія / Бойко С.М., Сінчук І.О., Караманиць Ф.І. [та ін.]; під ред. Сінчука О.М. – Кривий Ріг, 2017. – 152 с.
9. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков [та ін.]. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с.
10. Ковальов, І.О. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії України: навч. посіб. / І.О. Ковальов, О.В. Ратушний. – Суми: СумДУ, 2016. - 201 с.
12. Теплові насоси та їх використання: навч. посіб. / М.К. Безродний, І.І. Пуховий, Д.С. Кутра. – Київ.: НТУУ «КПІ», 2013. -312 с.

## Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України

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

## Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

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



Енергетичний потенціал вітру на території України

## Гідроенергетичний потенціал малих рік України

№ п/п	Області	Потенціал сонячної		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Дорцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	360	238	108
2	Волинська	115	76	35
3	Дніпропетровська	101	67	30
4	Донецька	189	125	57
5	Житомирська	336	222	101
6	Закарпатська	4532	2991	1357
7	Запорізька	51	33	15
8	Івано-Франківська	399	263	120
9	Київська	200	132	60
10	Кіровоградська	170	112	51
11	Луганська	436	288	131
12	Львівська	1814	1197	544
13	Миколаївська	157	104	47
14	Одеська	38	25	11
15	Полтавська	396	261	119
16	Рівненська	304	201	91
17	Сумська	298	197	89
18	Тернопільська	427	282	128
19	Харківська	268	177	80
20	Херсонська	2	2	1
21	Хмельницька	304	200	91
22	Черкаська	331	219	99
23	Чернівецька	884	583	265
24	Чернігівська	178	118	54
25	АР Крим	211	139	63
	Всього	12501	8252	3747

**Сумарний річний потенціал тваринницької сільськогосподарської біомаси в Україні**

№ п/п	Області	Кількість гною, млн. т/рік	Вихід біогазу, млн. м <sup>3</sup> /рік.	Заміщення орг. палива, т у.п./рік
1	Вінницька	17,9	891	713
2	Волинська	11,0	527	422
3	Дніпропетровська	20,8	110	880
4	Донецька	15,3	794	635
5	Житомирська	15,1	725	580
6	Закарпатська	4,7	243	194
7	Запорізька	15,4	771	617
8	Івано-Франківська	7,3	358	287
9	Київська	16,8	864	692
10	Кіровоградська	11,8	589	471
11	Луганська	11,4	557	454
12	Львівська	13,5	665	532
13	Миколаївська	10,5	518	414
14	Одеська	14,1	733	587
15	Полтавська	17,5	868	694
16	Рівненська	10,4	498	398
17	Сумська	13,0	640	512
18	Тернопільська	11,6	561	449
19	Харківська	18,1	906	725
20	Херсонська	12,7	627	501
21	Хмельницька	16,5	790	632
22	Черкаська	13,6	682	545
23	Чернівецька	6,1	304	243
24	Чернігівська	17,7	856	685
25	АР Крим	12,3	639	511
	Всього	335,1	16706	13373

## Потенціал рослинної сільськогосподарської біомаси в Україні

№ п/п	Області	Біомаса зерно-бобових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняшника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукурудзи, тис. МВт год/рік	Рослиння відходи овочів відкритого і закритого ґрунту, тис. МВт год/рік
1	Вінницька	2400	1197	2780	440
2	Волинська	200	0	170	200
3	Дніпропетровська	1040	6232	5940	820
4	Донецька	360	5244	3330	1060
5	Житомирська	470	3	320	300
6	Закарпатська	70	23	710	210
7	Запорізька	660	5720	3180	580
8	Івано-Франківська	150	0	360	190
9	Київська	1140	88	1530	910
10	Кіровоградська	950	4346	3580	310
11	Луганська	820	4320	2090	570
12	Львівська	270	0	270	310
13	Миколаївська	740	3598	1470	490
14	Одеська	1160	4484	3560	850
15	Полтавська	1830	2843	3660	500
16	Рівненська	200	0	310	230
17	Сумська	1120	488	1290	330
18	Тернопільська	1110	0	670	240
19	Харківська	1210	4466	2990	580
20	Херсонська	570	2260	2300	700
21	Хмельницька	1480	6	2490	330
22	Черкаська	1740	1466	3550	600
23	Чернівецька	290	7	1490	230
24	Чернігівська	700	71	950	360
25	АР Крим	130	1102	960	730
	Всього	21110	47964	49950	12070

## Енергетичний потенціал відходів лісу в Україні

№ п/п	Області	Осереднений об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м <sup>3</sup> /рік	Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис. т у.п./рік
1	Вінницька	36,4	7,1
2	Волинська	7,4	15,2
3	Дніпропетровська	0	0
4	Донецька	0	0
5	Житомирська	65,7	12,9
6	Закарпатська	0	0
7	Запорізька	0	0
8	Івано-Франківська	12,5	2,4
9	Київська	69,4	13,6
10	Кіровоградська	0	0
11	Луганська	0	0
12	Львівська	47,3	9,3
13	Миколаївська	0	0
14	Одеська	0	0
15	Полтавська	0	0
16	Рівненська	111	21,8
17	Сумська	30,5	6
18	Тернопільська	22,9	4,5
19	Харківська	0	0
20	Херсонська	0	0
21	Хмельницька	28,5	5,6
22	Черкаська	24,8	4,9
23	Чернівецька	20,8	2,1
24	Чернігівська	48,2	9,5
25	АР Крим	0	0
<b>ВСЬОГО</b>		<b>585,4</b>	<b>114,9</b>

## Потенціал геотермальної енергії в Україні

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

## Енергетичний потенціал торфу в областях України

№ п/п	Області	Загальний енергетичний потенціал торфу, млн. МВт*год	Доцільно-економічний потенціал, млн. МВт*год
1	Вінницька	136,4	34,6
2	Волинська	1378,1	761,8
3	Дніпропетровська	0,25	-
4	Донецька	2,4	-
5	Житомирська	290,5	159,2
6	Закарпатська	0,2	-
7	Запорізька	1,08	-
8	Івано-Франківська	45,2	17,19
9	Київська	716,5	146,5
10	Кіровоградська	8,7	-
11	Луганська	0,24	-
12	Львівська	690,6	244,1
13	Миколаївська	1,26	-
14	Одеська	-	-
15	Полтавська	364,3	143
16	Рівненська	1176,2	575,3
17	Сумська	331,0	575,3
18	Тернопільська	384,3	114,8
19	Харківська	15,7	-
20	Херсонська	11,3	7,96
21	Хмельницька	236,6	99,04
22	Черкаська	191,6	79,7
23	Чернівецька	-	-
24	Чернігівська	818,5	356
25	АР Крим	-	-
<b>ВСЬОГО</b>		<b>6801,0</b>	<b>2941</b>

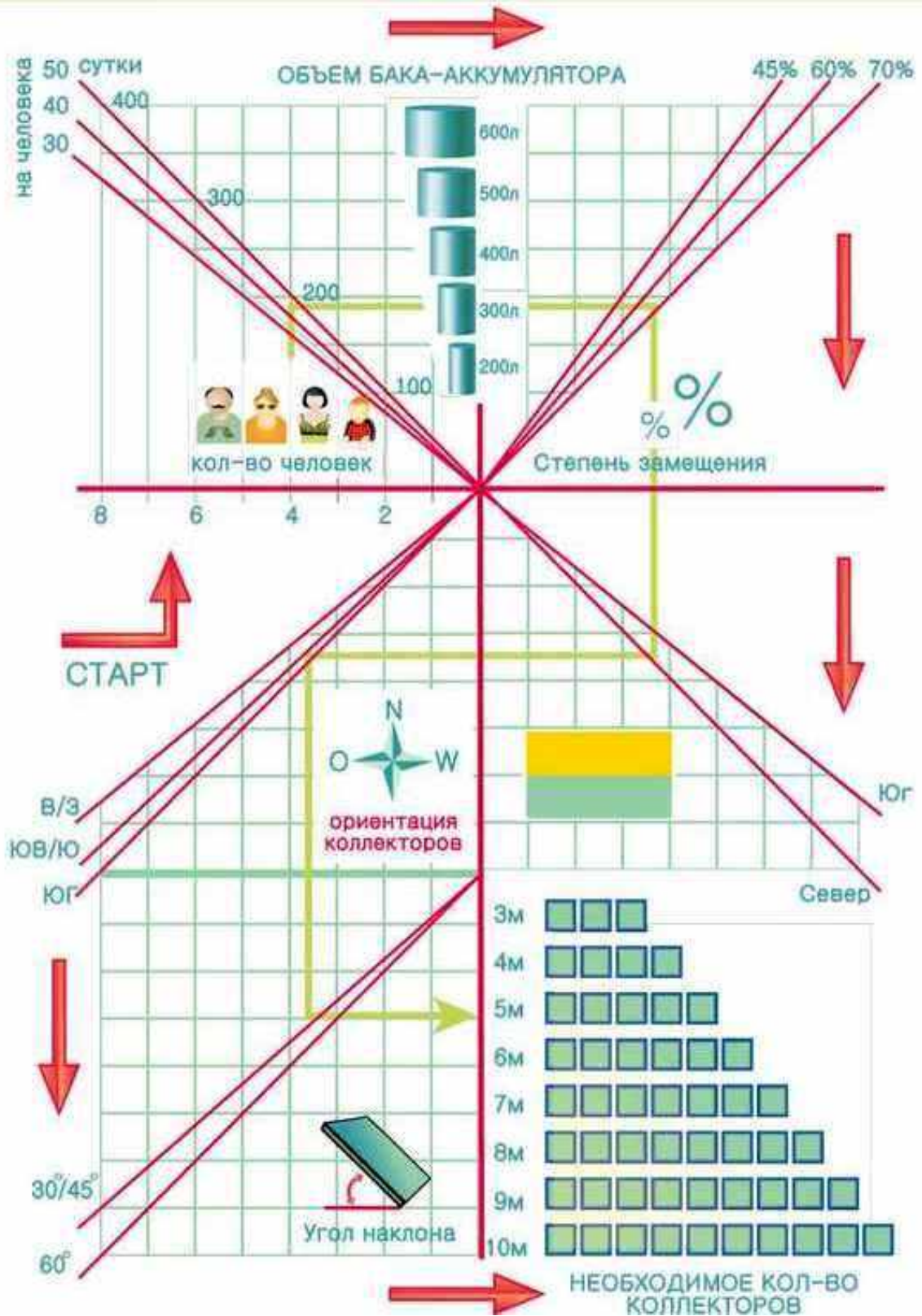
**Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплової енергії  
стічних вод в областях України**

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

**Енергетичний потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту  
та ґрунтових вод в областях України**

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт×год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
1	Вінницька	4731	3379	513
2	Волинська	3321	2372	290
3	Дніпропетровська	15438	11027	424
4	Донецька	15422	11015	2656
5	Житомирська	3374	2410	428
6	Закарпатська	5093	3638	79
7	Запорізька	3833	2738	355
8	Івано-Франківська	5532	3951	51
9	Київська	12966	9262	192
10	Кіровоградська	3720	2657	833
11	Луганська	10571	7551	1958
12	Львівська	11941	8529	203
13	Миколаївська	3441	2458	117
14	Одеська	4015	2868	195
15	Полтавська	9163	6545	162
16	Рівненська	3106	2219	225
17	Сумська	4492	3208	239
18	Тернопільська	3819	2728	194
19	Харківська	12125	8661	153
20	Херсонська	2597	1855	172
21	Хмельницька	4438	3170	171
22	Черкаська	4286	3061	476
23	Чернівецька	2149	1535	123
24	Чернігівська	3930	2807	149
25	АР Крим	4027	2877	206
ВСЬОГО		157530	112521	10564

Блок-схема розрахунку кількості сонячних колекторів для певних умов



**Середній місячний рівень сонячної радіації(сонячна постійна) в  
містах України (кВч/м<sup>2</sup>/день)**

**Середній показник за останні 22 року (За даними NASA)**

<b>Регіони / Місяці</b>	<b>січ</b>	<b>лют</b>	<b>берез</b>	<b>квіт</b>	<b>трав</b>	<b>черв</b>	<b>лип</b>	<b>серп</b>	<b>верес</b>	<b>жовт</b>	<b>лист</b>	<b>груд</b>	<b>Середн</b>
<b>Сімферополь</b>	1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	<b>3,58</b>
<b>Вінниця</b>	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	<b>3,11</b>
<b>Луцьк</b>	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	<b>2,99</b>
<b>Дніпропетровськ</b>	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	<b>3,36</b>
<b>Донецьк</b>	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	<b>3,34</b>
<b>Житомир</b>	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	<b>3,04</b>
<b>Ужгород</b>	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	<b>3,16</b>
<b>Запоріжжя</b>	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	<b>3,44</b>
<b>Івано-Франківськ</b>	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	<b>2,94</b>
<b>Київ</b>	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	<b>3,10</b>
<b>Кіровоград</b>	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	<b>3,30</b>
<b>Луганськ</b>	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	<b>3,34</b>
<b>Львів</b>	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	<b>2,92</b>
<b>Миколаїв</b>	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	<b>3,55</b>
<b>Одеса</b>	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	<b>3,55</b>
<b>Полтава</b>	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	<b>3,25</b>
<b>Рівно</b>	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	<b>3,01</b>
<b>Суми</b>	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	<b>3,16</b>
<b>Тернопіль</b>	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	<b>2,99</b>
<b>Харків</b>	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	<b>3,26</b>
<b>Херсон</b>	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	<b>3,55</b>
<b>Хмельницький</b>	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	<b>3,06</b>
<b>Черкаси</b>	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	<b>3,24</b>
<b>Чернігів</b>	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	<b>3,03</b>
<b>Чернівці</b>	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	<b>2,94</b>