

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Сьогодні головним джерелом енергії служить викопне паливо, спалювання якого забруднює навколишнє природне середовище і викликає зміни клімату. Понад 80% споживаної енергії виробляється з викопних видів палива, а саме з нафти, природного газу та вугілля. Інший об'єм енергоспоживання (20%) припадає на частку атомної енергії і гідроенергії, біопалива та інших відновлювальних джерел енергії.

У зв'язку із постійним погіршенням екологічної ситуації спеціалісти все активніше шукають реальні можливості використання відновлюваних екологічно чистих джерел енергії – вітру, сонця, морських і земних глибин, біогазу, біодизельного палива, біоетанолу тощо. Перспективність широкого застосування альтернативних джерел енергії підтверджується експлуатацією відповідних об'єктів і установок у ряді районів нашої країни та за кордоном. Вони є більш екологічно безпечними, що надзвичайно важливо для оздоровлення повітряного та водного басейнів і їх значення зростає в зв'язку з суттєвим подорожчанням традиційних паливних ресурсів – нафти, газу, вугілля.

Методичні рекомендації призначенні для формування у студентів-екологів практичних навичок застосування альтернативних джерел енергії для покращення стану об'єктів навколишнього середовища.

Методичні рекомендації включають 7 практичних робіт, тексти яких викладено за типовою структурною схемою – тема, мета роботи, стисле подання теоретичних положень за темою, опис методу, приклад розрахунку, контрольне завдання, питання для самоконтролю.

Послідовність проведення практичних робіт відповідає темам лекційних занять, що сприяє практичному закріпленню теоретичних знань з даної дисципліни.

В результаті виконання практичних робіт студенти повинні:

- ❖ опанувати методи оцінки енергетичного потенціалу альтернативних джерел енергії на території України;
- ❖ опанувати методики розрахунку параметрів геліосистем та вітрогенераторів залежно від напрямків їх використання;
- ❖ ознайомитися з методиками розрахунку параметрів припливних електростанцій та малих гідроелектростанцій (ГЕС);
- ❖ опанувати методики розрахунку геотермальних енергетичних установок, а також установок використання теплової енергії океанів;
- ❖ ознайомитися з принципами розрахунку параметрів біоенергетичних установок.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

Мета роботи: ознайомлення з принципами оцінки енергетичного потенціалу нетрадиційних джерел енергії на території України.

1.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

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 м² перетину площі вітроколеса в перспективних регіонах складають 800-1000 кВт·год/м² 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 з надходження сонячної енергії та розподіл енергетичного потенціалу сонячного випромінювання для кожної з областей України. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах: від 1070 кВт·год/м² в північній частині України до 1400 кВт·год/м² і вище в АР Крим.

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. Концентруючі 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 в економічній, 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 самоенергозабезпечення.

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 кліматометеорологічних умов, 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 кондиціювання 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 спрощувати вирішення екологічних проблем для створення сприятливих санітарних та житлових умов 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 м³ на одного жителя за добу. Цей показник значною мірою залежить від доступності води та соціально-економічних умов в окремих регіонах.

В Україні загальний річний об'єм комунально-побутових стоків становить близько 3740 млн. м³. 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 умовно чистих 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°C, а в зимовий період 12°C. В ідеальному випадку в тепловому насосі стічні води можна охолодити до 0°C, але в реальних умовах досягається охолодження до 0,5°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°C і є придатною для виробництва теплоносія з температурою 40-70°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-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, 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.

1.2. 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 теплоти ґрунту 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 висновок про закономірність розподілу того або іншого параметру по території України і обґрунтувати причини цього розподілу.

Питання для самоконтролю

1. Охарактеризуйте можливості застосування енергії вітру для виробництва електроенергії.
2. Охарактеризуйте напрямки використання сонячної енергії.
3. Розкрийте можливості використання енергетичного потенціалу малих річок.
4. Наведіть приклади використання органічних відходів для виробництва біопалива та біогазу.
5. Охарактеризуйте напрямки використання геотермальної енергії в промисловості та житлово-комунальному господарстві.
6. Розкрийте напрямки використання низькопотенційних джерел енергії.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ

Мета роботи: ознайомитися з особливостями будови і функціонування різних видів геліосистем; навчитися розраховувати вакуумні трубчасті та плоскі сонячні колектори.

2.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА.

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

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

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



Рис. 2.1 – Плaskий сонячний колектор

Плaskий сонячний колектор. Простим і найбільш дешевим способом використання сонячної енергії є нагрів побутової води в так званих плоских сонячних колекторах. Плaskий сонячний колектор (рис. 2.1) є теплоізовльованим з тильного боку і боків ящиком, всередині якого поміщена теплопоглинальна металева або пластикова панель, забарвлена в темний колір (або покрита спеціальним оптичним селективним покриттям, що добре поглинає сонячне випромінювання і мало випромінює в інфрачервоному спектрі).

Абсорбер закритий згори світлопрозорим обгороджуванням (один або два шари скла або прозорого, стійкого від впливу ультрафіолету пластика). Панель є теплообмінником, по каналах якого прокачується вода, що нагрівається. Вода прямує в тепло ізовльований бак, гідравлічно-сполучений з сонячним колектором.



Рис. 2.2 – Вакуумний трубчастий колектор

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 (рис. 2.2). Фактично, втрат тепла в довкілля не відбувається, так як 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 рідина).

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 антиспінувальними присадками або підготовлена вода), при цьому тепла енергія від теплоносія передається воді за допомогою теплообмінника (спіральна труба в баку – «змійовик», зовнішній теплообмінний апарат або «бак в баку»).

Системи з природною циркуляцією теплоносія.

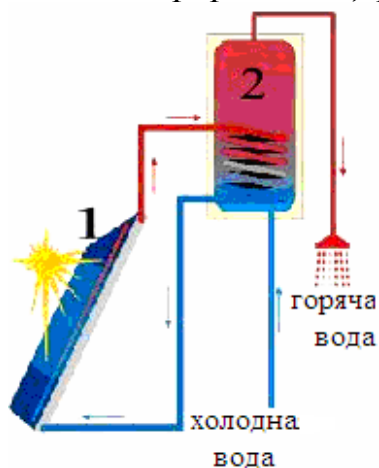


Рис. 2.3 – Системи з природною циркуляцією теплоносія:
1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер)

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 (рис. 2.3).

Системи з примусовою циркуляцією теплоносія.

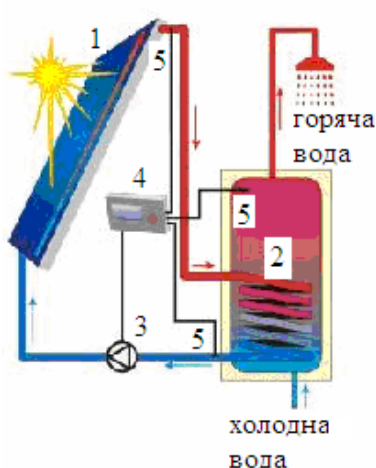


Рис. 2.4 – Системи з примусовою циркуляцією теплоносія:
1 – колектор; 2 – бак-акумулятор (бак-бойлер); 3 – циркуляційний насос;
4 – контролер (блок управління);
5 – датчики температури

У системах з *примусовою циркуляцією* в контур колекторного круга включається малопотужний циркуляційний насос, який примушує циркулювати теплоносій. Його роботою управляє спеціальний контролер. Споживана потужність насоса, незрівняно мала з тепловою енергією, яка виробляється системою (рис. 2.4).

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.

2.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

2.2.1. Розрахунок кількості плоских сонячних колекторів, згідно з варіантом завдання, використовуючи розрахункову схему наведену в додатку 2.

Значення вихідних величин наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні данні для розрахунку кількості плоских сонячних колекторів

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	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	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах	півд. сх./півд	півд.	сх/зах
Кут нахилу колектора, °	30/45	60	60	30/45	30/45	60	60	30/45	30/45	60

2.2.2. Розрахунок кількості трубок для вакуумного сонячного колектора Ataba.

Необхідно забезпечити гарячою водою сім'ю з n чоловік, що проживають в певному місті, при середньодобовій потребі кожного з них V_x , м³/люд. 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_{mp} , м².

Розрахунок проводиться за наступним алгоритмом:

- визначення об'єму ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) \quad (2.1)$$

де V_H – об'єм колектора ємності, м³

n – кількість людей в сім'ї, люд.

V_x – середньодобова потреба у воді кожного члена сім'ї, м³/люд
 - визначення температурного перепаду:

$$T_T = t_k - t_n \quad (2.2)$$

де t_k – кінцева температура води, °С;

t_n – початкова температура води, °С.

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.

$$G = V_H T_T \quad (2.3)$$

Для переведення цієї енергії в кВт·год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 \quad (2.4)$$

(1 кВт·год = 859,8 ккал)

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 за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} \quad (2.5)$$

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

S_{mp} – площа поглинання вакуумної трубки цього колектора, м².

- визначаємо необхідне число трубок.

$$N = GB / G_{mp} \quad (2.6)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Вихідні данні для розрахунку кількості трубок для вакуумного сонячного колектора

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кількість людей в сім'ї, люд.	2	3	4	5	4	3	2	5	6	4
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Харків	Львів	Одеса	Луцьк	Ужгород	Рівно
Добова потреба у воді, м ³ /люд	30	40	50	30	40	50	30	40	50	30
t_n , °С	12	14	16	11	13	15	12	14	16	13
t_k , °С	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} , м ²	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: сім'я складається з $n=5$ чоловік, що проживають в *Житомирі*, при середньодобовій потребі кожного з них $V_x=60$ л. Середня температура води, що входить, складає $t_n=10^\circ\text{C}$, необхідна кінцева температура – $t_k=60^\circ\text{C}$; здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Атаба складає $Y=80\%$, площа поглинання – $S_{mp}=0,08 \text{ м}^2$.

Визначаємо об'єм ємності нагрівача:

$$V_H = 1,5(nV_x) = 1,5(5 \cdot 60) = 450 \text{ м}^3$$

Визначаємо температурний перепад:

$$T_T = t_k - t_n = 60 - 10 = 50^\circ\text{C}$$

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.

$$G = V_H T_T = 450 \cdot 50 = 22500 \text{ ккал}$$

Для переведення цієї енергії в кВт-год скористаємося наступною формулою:

$$GB = G / 859,8 = 22500 / 859,8 \approx 28,2 \text{ кВт-год}$$

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

Середньомісячне значення сонячної радіації для Житомира згідно додатка 3 складає $G_x=3,04 \text{ кВт-год/м}^2/\text{день}$.

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} = 3,04 \cdot 0,8 \cdot 0,08 \approx 0,2 \text{ кВт-год/день}$$

Визначаємо необхідне число трубок.

$$N = GB / G_{mp} = 28,2 / 0,2 \approx 141$$

2.2.3. Розрахунок параметрів геліоелектростанції типу вежа.

На сонячній електростанції типу вежі встановлено n геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_z \text{ м}^2$. Геліостати відбивають сонячні промені на приймач, на поверхні якого зареєстрована максимальна енергетична освітленість $H_{np}=2,5 \text{ МВт/м}^2$. Коефіцієнт віддзеркалення геліостата $R_z=0,8$, коефіцієнт поглинання приймача $A_{np}=0,95$. Максимальна опроміненість дзеркала геліостата $H_z=600 \text{ Вт/м}^2$. Визначити площу поверхні приймача F_{np} і теплові втрати в приймачеві, викликані випромінюванням і конвекцією, якщо робоча температура теплоносія складає $t^\circ\text{C}$. Міра чорноти приймача $e_{np}=0,95$. Конвективні втрати удвічі менше втрат від випромінювання.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати (Вт), може бути визначена за рівнянням:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n \quad (2.7)$$

де H_z – опроміненість дзеркала геліостата у Вт/м^2 (для типових умов

$$H_z = 600 \text{ Вт/м}^2;$$

F_z – площа поверхні геліостата, м^2 ;

n – кількість геліостатів;

R_z – коефіцієнт віддзеркалення дзеркала концентратора, $R_z = 0,7 \div 0,8$;

A_{np} – коефіцієнт поглинання приймача, $A_{np} < 1$.

Площа поверхні приймача може бути визначена, якщо відома енергетична освітленість на ньому H_{np} Вт/м^2

$$F_{np} = Q / H_{np} \quad (2.8)$$

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

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4, \text{ Вт/м}^2 \quad (2.9)$$

де T – абсолютна температура теплоносія, К; (для переведення температури з шкали Цельсія в шкалу Кельвіна використовують вираз $T = t + 273,15$

ε_{np} – міра чорноти сірого тіла приймача;

C_o – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла, дорівнює $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К}^4)$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Вихідні данні для розрахунку параметрів геліоелектростанції

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

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: на сонячній електростанції типу вежі встановлено 300 геліостатів, кожен з яких має поверхню $F_z = 50 \text{ м}^2$, а робоча температура теплоносія складає $t = 600^\circ\text{C}$.

Енергія, отримана приймачем від сонця через геліостати:

$$Q = R_z A_{np} F_z H_z n = 0,8 \cdot 0,95 \cdot 50 \cdot 600 \cdot 300 = 6,84 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Площа поверхні приймача:

$$F_{np} = Q / H_{np} = \frac{6,84}{2,5} \approx 2,7 \text{ м}^2$$

Втрати тепла за рахунок випромінювання в теплоприймачі

$$q_{np} = \varepsilon_{np} C_o (T/100)^4 = 0,95 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \left(\frac{600 + 273,15}{100} \right)^4 \approx 3,13 \cdot 10^{-4} \text{ Вт/м}^2$$

2.2.4. Розрахунок параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ).

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 η_6 . Визначити також термічний ККД і теоретичну потужність паротурбінної установки СЕУ, що працює за циклом Ренкіна, якщо параметри гострої пари p_1 , t_1 , тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ng}=0,85$. Як зміниться потужність СЕУ, якщо замість паротурбінної установки застосувати кремнієві фотоелектричні перетворювачі з ККД $\eta_{fe}=0,15$, 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

$$Q = \eta_6 n F I, \text{ Вт} \quad (2.10)$$

де η_6 – коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання (змінюється в межах 0,35-0,5)

n – кількість геліостатів

F – площа дзеркал одного геліостата, м^2

I – інтенсивність сонячного випромінювання, Вт/м^2 .

Термічний ККД визначається

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} \quad (2.11)$$

де h_1 – ентальпія гострої пари, h_2 – ентальпія пари (визначається за h -s діаграмою водяної пари), що відпрацювала в турбіні, h_k – ентальпія конденсату (визначається за таблицею термодинамічних властивостей води і водяної пари). Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе

$$P_{nm} = \eta_t \eta_e Q, \text{ Вт} \quad (2.12)$$

де η_e – ККД електрогенератора (в межах 0,92...0,96)

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{fe} = \eta_{fe} F I, \text{ Вт} \quad (2.13)$$

де η_{fe} – ККД фотоелектричних перетворювачів (змінюється в межах 0,13-0,18);

F – їх загальна площа, м^2 .

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 2.4.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: на вежі парогенератора паротурбінної сонячної електростанції кількість геліостатів $n=4000$, площа дзеркал одного геліостата $F=12 \text{ м}^2$, інтенсивність сонячного випромінювання $I=500 \text{ Вт/м}^2$, коефіцієнт ефективності використання сонячного випромінювання

$\eta_e=50\%$, а параметри гострої пари $p_1=10$ МПа, $t_1=400^\circ\text{C}$, тиск в конденсаторі $p_2=10$ кПа, ККД парогенератора $\eta_{ng}=0,85$, ККД кремнієвого фотоелектричного перетворювача $\eta_{fe}=0,15$.

Таблиця 2.4 – Вихідні данні для розрахунку параметрів паротурбінних сонячних енергетичних установок (СЕУ)

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , шт	1000	3000	5000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000
F , м^2	10	12	14	13	12	11	12	13	14	12
I , Вт/м^2	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
η_e , %	50	48	46	47	49	50	51	50	49	51
p_1 , МПа	12	11	10	9	8	9	10	11	12	10
t_1 , $^\circ\text{C}$	450	440	430	420	410	400	410	420	430	440

Загальна кількість теплоти, сприйнятої парогенератором, складає

$$Q = \eta_e n F I = 0,5 \cdot 4000 \cdot 12 \cdot 500 = 12 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Термічний ККД визначається за формулою (2.11), при цьому згідно h - s діаграми водяної пари $h_1=3250$ кДж/кг (точка перетину $p_1=10$ МПа та $t_1=400^\circ\text{C}$), $h_2=2400$ кДж/кг (точка перетину $p_2=10$ кПа та насичення пари $X=95\%$), $h_k=2700$ кДж/кг (ентальпія конденсату при $X=100\%$)

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_k} = \frac{3250 - 2400}{3250 - 2700} = 1,54$$

Теоретична потужність паротурбінної СЕУ складе:

$$P_{nt} = \eta_t \eta_e Q = 1,54 \cdot 0,5 \cdot 12 \cdot 10^6 = 9,24 \cdot 10^6 \text{ Вт},$$

Потужність СЕУ з фотоелектричними перетворювачами визначається співвідношенням:

$$P_{fe} = \eta_{fe} F n I = 0,15 \cdot 12 \cdot 500 \cdot 4000 = 2,88 \cdot 10^6 \text{ Вт}.$$

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну «геліосистема».
2. Наведіть типи сонячних колекторів.
3. Охарактеризуйте одноконтурні та двоконтурні геліосистеми.
4. Наведіть системи з природною та з примусовою циркуляцією теплоносія.
5. Як розраховують параметри геліоелектростанції типу вежа.
6. Як розраховують параметри паротурбінних сонячних енергетичних установок.

ПРАКТИЧНЕ РОБОТА №3

РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ОБІГРІВУ БАСЕЙНІВ І ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ

Мета роботи: опанувати методику розрахунку геліосистем для обігріву басейнів різного типу.

3.1. 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/м².

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/м².

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.

3.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

3.2.1. Розрахунок сонячного колектора для обігріву басейну, об'єму витрат власника на обігрів басейну.

Необхідно розрахувати геліосистему для опалювання закритого (відкритого) басейну площею S м², що знаходиться в N -ске за умови, що кількість енергії, що витрачається в годину на підтримку температури 1 м² поверхні, дорівнює E кВт·год/м². Здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Атаба складає Y %, площа поглинання – S_{mp} м². Розрахуйте витрати, які б поніс власник цього басейну на його обігрів, при використанні електроенергії.

Розрахунок сонячного колектора, необхідного для обігріву басейну, здійснюється за алгоритмом:

1. Кількість енергії, необхідна щогодини для підтримки заданої температури басейну розраховується за формулою:

$$U = ES, \quad (3.1)$$

де E – кількість енергії, що витрачається в годину на підтримку температури 1 м^2 поверхні; $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$; S – площа «дзеркала» води, м^2 .

2. Розраховуємо кількість енергії, що необхідна для підтримки заданої температури басейну впродовж доби (світлого часу доби) за формулою:

$$U_c = 24U \text{ або } U_c = 8U \quad (3.2)$$

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

3. Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора за формулою:

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp}, \quad (3.3)$$

де Y – кількість сонячної енергії, здатна поглинатися певною маркою колектора, %;

S_{mp} – площа поглинання вакуумної трубки певного колектора, м^2 ;

G_x – середньомісячне значення сонячної радіації для вказаного міста (додаток 3).

4. Визначаємо необхідне число трубок за формулою:

$$N = U_c / G_{mp} \quad (3.4)$$

5. Розраховуємо витрати на електроенергію в рік для підтримки заданої температури в басейні, за умови, що при перевищенні ліміту $600 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ в місяць діє тариф $1 \text{ кВт}\cdot\text{год} = 1,638 \text{ грн}$.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні данні для розрахунку сонячного колектора для обігріву басейну

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Місто проживання	Київ	Дніпро	Чернігів	Херсон	Пол- тава	Львів	Одеса	Луцьк	Ужго- род	Рівне
Тип басейну	відкр.	закр.	відкр.	закр.	відкр.	закр.	відкр.	закр.	відкр.	закр.
$S, \text{м}^2$	13	12,6	14,2	15,1	15,3	13,4	12,8	13,8	14,3	15,3
$E, \text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$	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
$S_{mp}, \text{м}^2$	0,08	0,076	0,082	0,081	0,079	0,078	0,077	0,083	0,084	0,081

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: Необхідно розрахувати геліосистему для опалювання відкритого басейну площею $S=12 \text{ м}^2$, що знаходиться в Запоріжжі за умови, що кількість енергії, що витрачається в годину на підтримку температури 1 м^2 поверхні, дорівнює $E=0,33 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$. Здатність поглинання енергії сонця сонячним колектором Ataba складає $Y=81\%$,

площа поглинання – $S_{mp}=0,082 \text{ м}^2$.

Кількість енергії, необхідна для щогодинної підтримки заданої температури басейну розраховується за формулою:

$$U = ES = 0,33 \cdot 12 \approx 4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розраховуємо кількість енергії, що необхідна для підтримки заданої температури басейну світлого часу доби:

$$U_c = 8U = 8 \cdot 4 = 24 \text{ кВт}$$

Розраховуємо кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубкою сонячного колектора:

Середньомісячне значення сонячної радіації для Запоріжжя згідно Додатка 3 складає $G_x=3,44 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2/\text{день}$.

$$G_{mp} = G_x Y S_{mp} = 3,44 \cdot 0,81 \cdot 0,082 \approx 0,23 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Визначаємо необхідну кількість трубок:

$$N = \frac{U_c}{G_{mp}} = \frac{24}{0,23} \approx 104$$

Розраховуємо витрати на електроенергію в рік для підтримки заданої температури в басейні, за умови, що при перевищенні ліміту $600 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ в місяць діє тариф $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1,638 \text{ грн}$.

$$Z = 365 \cdot U_c \cdot 1,638 = 365 \cdot 24 \cdot 1,638 = 14348,88 \text{ грн.}$$

3.2.2 Розрахунок об'єму бака акумулятора при обігріві житлового будинку

Для опалювання будинку впродовж 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?

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

$$V = \frac{Q}{\rho C_p (t_1 - t_2)} \quad (3.5)$$

де ρ – щільність морської води. Приймаємо для Чорного моря $1014 \text{ кг}/\text{м}^3$;

C_p – питома масова теплоємність води при $p=\text{const}$ дорівнює $4,218 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 3.2.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: Для опалювання будинку протягом доби буде потрібно $Q=0,65 \text{ ГДж}$ теплоти. При використанні для цієї мети сонячної енергії теплова енергія може бути запасена у водяному акумуляторі. Допустимо, що температура гарячої води $t_1 = 50^\circ\text{C}$, а температура

води не знизиться до $t_2=30^\circ\text{C}$.

Таблиця 3.2 – Вихідні данні для розрахунку об'єму бака-акумулятора при обігріві житлового будинку

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 , $^\circ\text{C}$	52	50	54	50	52	54	52	50	52	50
t_2 , $^\circ\text{C}$	31	30	29	28	27	31	30	29	28	27

Необхідний об'єм бака-акумулятора визначаємо

$$V = \frac{Q}{\rho C_p (t_1 - t_2)} = \frac{0,65 \cdot 10^9}{1014 \cdot 4,218(50 - 30)} \approx 7,6 \cdot 10^3 \text{ м}^3$$

Питання для самоконтролю

1. Наведіть особливості теплоспоживання басейнів.
2. Наведіть шляхи рішення задач з розрахунку геліосистем для обігріву басейну.
3. Наведіть методику визначення об'єму бака-акумулятора для обігріву житлових приміщень.
4. Як підбирають сонячні колектори для обігріву басейну?
5. Як визначають кількість енергії, здатну акумулюватися однією трубою сонячного колектора?

ПРАКТИЧНЕ РОБОТА №4 РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Мета роботи: ознайомитися з основними параметрами вітрогенераторів і методикою їх розрахунку.

4.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Вітрогенераторами називають двигуни, що перетворюють енергію вітру в механічну роботу. За будовою вітряка і положенню його в потоці вітру *системи вітродвигунів* розділяються на три класи (рис. 4.1):

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. 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. 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. Коефіцієнт використання енергії вітру цих вітряків від 6 до 8%.

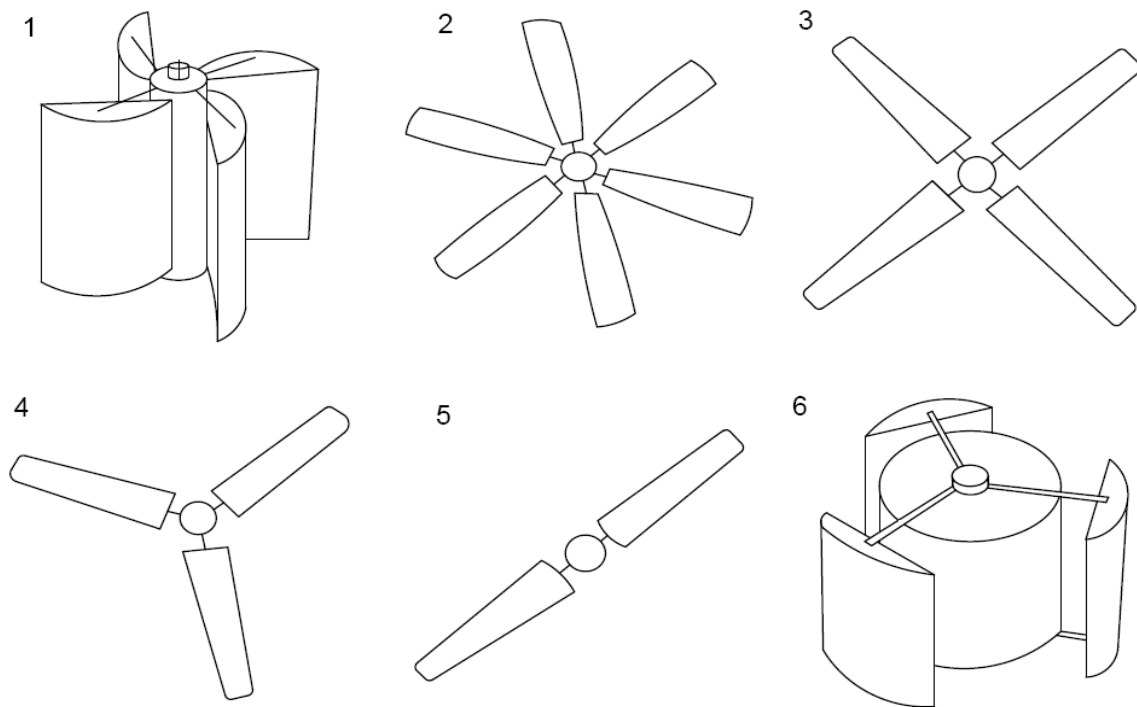


Рис. 4.1. – Типи вітро двигунів:

2 –5 – вітро двигуни з горизонтальною віссю обертання (крильчасті); 1, 6 – вітро двигуни з вертикальною віссю обертання (карусельні: лопатеві (1) і ортогональні (6))

Крильчатий вітро двигун складається з наступних елементів (рис. 4.2):

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

2. Голівка вітро двигуна це опора, на якій монтується вал вітроколеса і верхня передача (редуктор).

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

4. Вежа вітро двигуна служить для винесення вітроколеса вище за перешкоди, що порушують течію повітряного потоку. Малопотужні вітро двигуни, що працюють як генератор, зазвичай монтуються на стовпі або трубі з розтяжками.

5. Біля основи вежі вертикальний вал кріпиться до нижньої передачі (редуктора), яка передає рух робочим машинам.

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

На рисунку 4.3 зображено принципи розташування вітрової установки на місцевості.

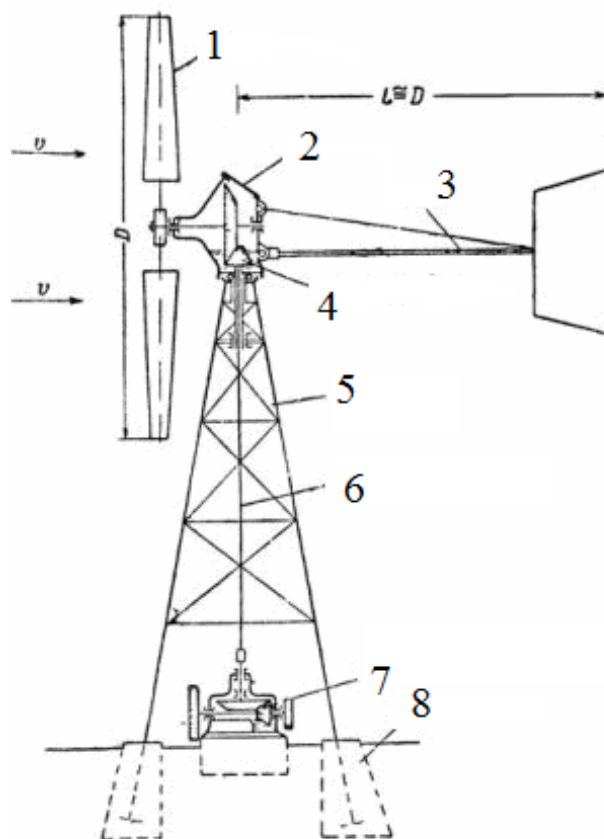


Рис. 4.2 – Вітродвигун і його основні елементи:
1 – вітроколесо; 2 – голівка; 3 – хвіст; 4 – верхня передача; 5 – башта; 6 – вертикальний вал; 7 – нижня передача; 8 – фундамент

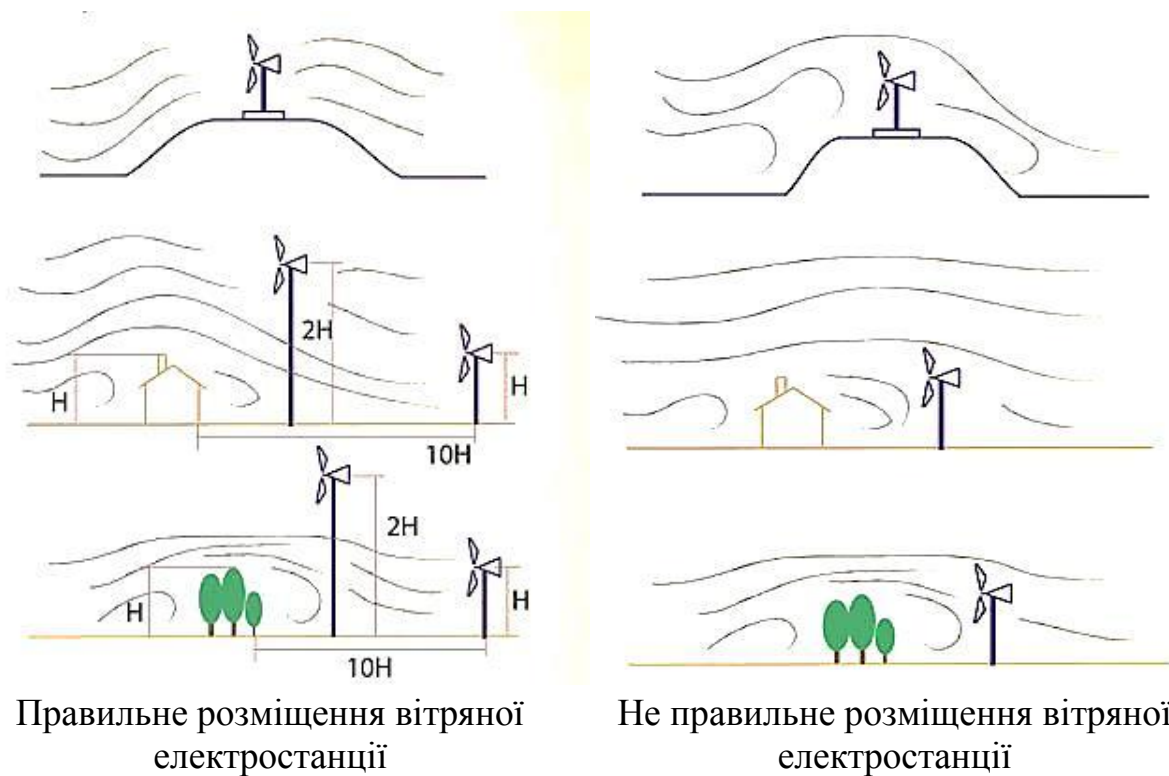


Рис. 4.3 – Принципи розташування вітряної установки на місцевості

Основні параметри ВЕУ:

Номинальна потужність $P_{ном}$ [Вт, кВт] – потужність, що розвивається вітроустановкою при розрахунковій швидкості вітру;

Розрахункова швидкість вітру V_p [м/с] – 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 вітротурбини D [м] – відрізок, що сполучає пару найбільш віддалених одна від однієї точок вітротурбини, проходить через її центр.

Вироблення енергії W_M [кВт-год] – кількість енергії, що виробляється вітротурбиною 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 дорівнювати реальній.

4.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА.

4.2.1. Розрахунок вітрогенератора (пряма задача):

Розрахувати потужність вітроустановки з радіусом ротора R м при стартовій швидкості вітру V м/с, коефіцієнтом використання вітру ξ , ККД редуктора – $\eta_{ред}$, ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розрахунок вітрогенератора здійснюють за алгоритмом:

1. Потужність вітроустановки дорівнює:

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m, \text{ Вт} \quad (4.1)$$

де P_m – потужність вітротурбіни.

2. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n, \text{ Вт} \quad (4.2)$$

де ξ – коефіцієнт вітровикористання. Реальний коефіцієнт вітровикористання добре спроектованої турбіни складає 0,4-0,55;

P_n – потужність вітрового потоку, що проходить через площу лопатей вітроустановки.

3. Потужність потоку обчислюється за формулою

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S, \text{ Вт} \quad (4.3)$$

де ρ – щільність повітря (стандартне значення 1,225 кг/м³);

V – швидкість незбуреного вітрового потоку, м/с;

$S = \pi D^2/4$ – площа.

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

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 4.1.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,0$ м при стартовій швидкості вітру $V=5$ м/с, коефіцієнт використання вітру $\xi = 0,45$, ККД редуктора – $\eta_{ред} = 0,82$; ККД генератора – $\eta_{ген} = 0,85$

1. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{\rho V^3}{2} S = \frac{1,225 \cdot 5^3 \cdot 3,14 \cdot 4^2}{2 \cdot 4} \approx 962 \text{ Вт}$$

2. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \xi P_n = 0,45 \cdot 962 = 433 \text{ Вт}$$

3. Потужність вітроустановки дорівнює:

$$P = \eta_{ред} \eta_{ген} P_m = 0,82 \cdot 0,85 \cdot 433 \approx 302 \text{ Вт}$$

Таблиця 4.1 – Вихідні данні для розрахунку вітрогенератора

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/с	4,7	4,9	5,2	6,4	6,3	5,5	5,8	5,0	4,9	4,7
ξ	0,4	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,47	0,49	0,5	0,53
$\eta_{ред}$, відносні од.	0,84	0,83	0,82	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87
$\eta_{ген}$, відносні од.	0,88	0,89	0,9	0,87	0,86	0,85	0,9	0,87	0,88	0,89

4.2.2. Розрахунок вітрогенератора (зворотна задача).

При якій швидкості вітру вітроустановка генеруватиме кількість енергії, достатню для забезпечення енергією середнього котеджного будиночка при радіусі ротора R м, коефіцієнті використання вітру – ξ ; ККД редуктора – $\eta_{ред}$; ККД генератора – $\eta_{ген}$.

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: вітроустановка з радіусом ротора $R=2,2$ м та її потужність дорівнює $P=3$ кВт, з коефіцієнтом використання вітру $\xi=0,5$, ККД редуктора – $\eta_{ред}=0,83$; ККД генератора – $\eta_{ген}=0,9$

1. Потужність турбіни складає:

$$P_m = \frac{P}{\eta_{ред} \eta_{ген}} = \frac{3}{0,83 \cdot 0,9} \approx 4,0 \text{ кВт}$$

2. Потужність потоку обчислюється за формулою:

$$P_n = \frac{P_m}{\xi} = \frac{4,0}{0,5} = 8 \text{ кВт}$$

3. Необхідна швидкість вітру:

$$V = \sqrt[3]{\frac{2P_n}{\pi \rho R^2}} = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot 8 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 1,225 \cdot 2,2^2}} \approx 9,5 \text{ м/с}$$

4.2.3. Розрахунок параметрів вітрової електростанції.

Визначити потужність вітрової електростанції, n однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса L , швидкість вітру V , ККД вітродвигуна $\eta_в$, електричний ККД установки (генератора і перетворювача) η_e , температура повітря t , атмосферний тиск p .

Вітровий потік, що проходить через площу F , що проходить через лопаті

вітродвигуна, має енергію:

$$E = \frac{mV^2}{2}, \text{ Дж} \quad (4.4)$$

де V – швидкість вітру, м/с;

m – маса повітря.

За секунду через площу F протікає $m = \rho VF$ кг/с, де $\rho = \frac{p}{RT}$ – щільність повітря, кг/м³, p – атмосферний тиск, Па, $R=287$ Дж/кг·К – газова постійна, T – абсолютна температура, К. Площа F визначається через довжину лопаті L вітроколеса: $F=\pi L^2$. Відповідно електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n\eta_e\eta_g\rho\pi L^2 V^3}{2}, \text{ Вт} \quad (4.5)$$

де η_g – ККД вітродвигуна (змінюється в межах 0,25-0,35)

η_e – електричний ККД вітрогенератора і перетворювача (в межах 0,70-0,85).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Вихідні данні для розрахунку параметрів вітрової електростанції

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n , шт	8	9	10	11	12	11	10	9	8	7
L , м	55	57	59	61	63	66	69	72	75	78
V , м/с	12	11	10	9	12	14	16	18	20	18
η_g , %	31	32	33	34	33	32	33	34	33	34
η_e , %	73	74	75	76	78	77	76	77	78	79
t , °C	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25
p , кПа	100	101	102	101	100	99	98	97	99	101

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: $n=10$ однотипних вітроенергетичних установок. Довжина лопаті вітроколеса $L=66$ м, швидкість вітру $V=12$ м/с, ККД вітродвигун $\eta_g=0,33$, електричний ККД установки (генератора і перетворювача) $\eta_e=0,77$, температура повітря $t=5$ °C, атмосферний тиск $p=99$ кПа.

1. Щільність повітря:

$$\rho = \frac{p}{RT} = \frac{99 \cdot 10^3}{287 \cdot (273,15 + 5)} \approx 1,24 \text{ кг/м}^3$$

2. Електрична потужність ВЕУ визначається за формулою:

$$P = \frac{n\eta_g\eta_e\rho\pi L^2 V^3}{2} = \frac{10 \cdot 0,33 \cdot 0,77 \cdot 1,24 \cdot 3,14 \cdot 66^2 \cdot 12^3}{2} \approx 37,2 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну «вітрогенератор».
2. Наведіть класи систем вітрогенераторів.
3. Охарактеризуйте переваги та недоліки кожного типу вітрогенераторів.
4. Опишіть принцип роботи вітротурбін.
5. Опишіть принципи вибору місця розташування вітроустановок на місцевості.
6. Опишіть основні елементи вітродвигуна.
7. Які основні параметри ВЕУ?
8. Наведіть методику визначення параметрів ВЕУ.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 ПРИЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, МАЛІ ГЕС: ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК

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

5.1. 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 за потужністю 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, що використовують енергію вільної течії річок;
- ГЕС, що використовують існуючі перепади рівнів води на різних об'єктах водного господарства;
- мобільні міні ГЕС в контейнерах, із застосуванням пластикових труб або гнучких армованих рукавів.

Принцип роботи турбіни в усіх конструкціях практично ідентичний: вода під тиском 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 тиск води. Крім того, турбіни вибираються залежно від виду камери, яка йде в комплекті – сталеву або залізобетонну.

Потужність ГЕС залежить від тиску 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 один (під час приливу), то в інший бік (рис. 5.1).

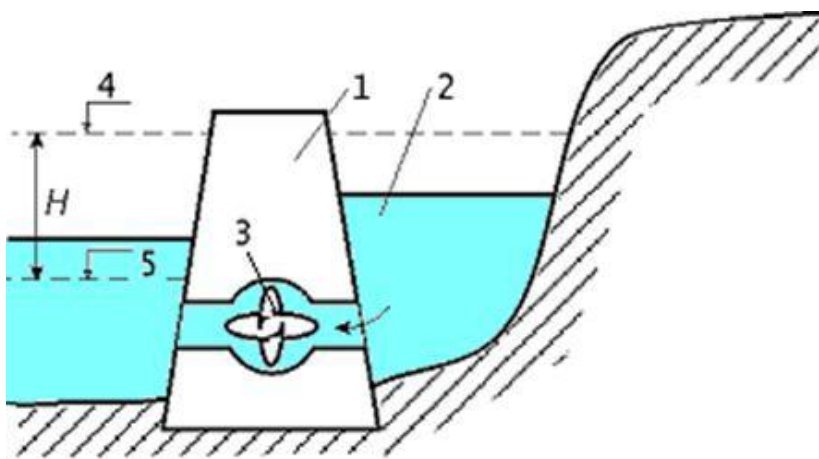


Рис. 5.1 – Принцип роботи приливної електростанції:

1 – гребля; 2 – басейн; 3 – реверсивна турбіна; 4 – найбільший рівень приливу;
5 – рівень відливу

В порівнянні із звичайною ГЕС приливна електростанція має ряд переваг:

1. Окрім відсутності необхідності створення водосховища робота 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, що виробляється на ПЕС, може обійтися у п'ятеро дешевше, ніж на ТЕС

Практика експлуатації підтвердила екологічну безпеку приливних електростанцій:

- греблі ПЕС біологічно проникні: пропуск риби через ПЕС відбувається практично безперешкодно, основна кормова база риби 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 пом'якшується: в басейні зникають тороси і передумови до їх утворення, не спостерігається нажимної 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 будівельні бази, споруджувати перемички і інше, що сприяє збереженню довкілля в районі ПЕС;

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

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

5.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

5.2.1. Оцінка зміни потужності малою ГЕС при коливаннях витрати води і тиску.

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

Відомо, що потужність ГЕС (Вт) можна визначити по простому рівнянню:

$$N = 9,81QH\eta, \text{ Вт} \quad (5.1)$$

де Q – об’ємна витрата води в $\text{м}^3/\text{с}$;

H – тиск води ГЕС в м;

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

ККД гідротурбін змінюється в межах $0,5 \div 0,9$.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні данні для розрахунку параметрів малих ГЕС

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

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: тиск водосховища H в посушливий період зменшиться в $n=3$ разів, а витрата води Q скоротиться на $m=20\%$? Втрати в гідротехнічних спорудах, водоводах, турбінах і генераторах вважати постійними.

1. Потужність ГЕС до змін визначається:

$$N_1 = 9,81QH\eta,$$

2. Потужність ГЕС після змін визначається:

$$N_2 = 9,81Q(1-m)\eta \frac{H}{n},$$

3. Зміна потужності:

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{9,81QH\eta}{9,81Q(1-m)\eta \frac{H}{n}} = \frac{n}{(1-m)} = \frac{3}{1-0,2} = 3,75$$

5.2.2. Розрахунок параметрів малих ГЕС та аналіз зміни потужності гідрогенератора.

Визначити потужність малої ГЕС, якщо витрата води Q , тиск H . Коефіцієнт втрат тиску у відкритому гідроканалі $K=0,85$, ККД гідротурбіни η_m , ККД гідрогенератора η_e . 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 за формулою:

$$N = 9,81KQH\eta_m\eta_e, \text{ Вт} \quad (5.2)$$

де K – коефіцієнт втрат тиску в гідро каналі.

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: витрата води $Q=20 \text{ м}^3/\text{с}$, тиск $H=8 \text{ м}$. Коефіцієнт втрат тиску у відкритому гідроканалі $K=0,85$, ККД гідротурбіни $\eta_m=80\%$, ККД гідрогенератора $\eta_e=95\%$. Як зміниться потужність, якщо затвором зменшити витрату води до 70% від номінального? Буде вона більше або менше, ніж 70% від номінальної потужності?

1. Потужність ГЕС до змін визначається:

$$N_1 = 9,81KQH\eta_m\eta_e = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \approx 1014 \text{ Вт}$$

2. Потужність ГЕС після змін визначається:

$$N_2 = 9,81KQ(1-0,7)H\eta_m\eta_e = 9,81 \cdot 0,85 \cdot 20 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 0,95 \cdot 0,8 \approx 304 \text{ Вт}$$

3. Зміна потужності

$$\Delta N = \frac{(N_1 - N_2)100\%}{N_1} = \frac{(1014 - 304)100}{1014} = 70 \%$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вихідні данні для розрахунку параметрів малих ГЕС

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

5.2.3. Оцінка приливного потенціалу басейну.

Використовуючи формулу *Л.Б. Бернштейна*, оцінити приливний потенціал басейну $E_{\text{ном}}$ (кВт·год), якщо його площа F (км²), а середня величина приливу $R_{\text{сп}}$ (м)

Завдання присвячено оцінці енергетичного потенціалу E_{nom} приливної енергії океанічного басейну, що має площу F , якщо відома середня величина приливної хвилі R_{cp} . У науковій літературі існує декілька рівнянь, що дозволяють визначити приливний потенціал басейну. Одне з них запропоноване вітчизняним ученим Л.Б. Бернштейном:

$$E_{nom} = 1,97 \cdot 10^6 R_{cp}^2 F \quad (5.3)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Вихідні данні для оцінки приливого потенціалу басейну

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
$R_{cp}, \text{ м}$	8,0	7,5	7,2	7,0	6,8	6,5	6,0	5,4	5,2	5,0

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: площа басейну $F=2000 \text{ км}^2$, а середня величина приливу $R_{cp}=7 \text{ м}$.

Приливний потенціал басейну:

$$E_{nom} = 1,97 \cdot 10^6 R_{cp}^2 F = 1,97 \cdot 10^6 \cdot 7^2 \cdot 2000 = 193,1 \cdot 10^9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну «мала гідроелектростанція».
2. Наведіть класифікацію малої гідроенергетики.
3. Основні елементи конструкції малої ГЕС.
4. Принципи роботи приливної електростанції.
5. В чому полягає екологічна безпека ПЕС.
6. Наведіть методику розрахунку параметрів малих ГЕС.
7. Як визначити приливний потенціал басейну?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 6

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

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

6.1. 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 ТЕС може виробляти екологічно чисту електроенергію цілодобово, 365 днів на рік. 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 $42 \cdot 10^{12}$ 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 $84 \cdot 10^{10}$ 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.

6.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

6.2.1 Оцінка теплового потенціалу геотермальної енергії.

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 $\rho_{zp}=2700$ кг/м³; пористість $\alpha=5\%$; питома теплоємність $C_{zp}=840$ Дж/(кг·К). Температурний градієнт (dT/dz) в °С/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 $\rho=10^3$ кг/м³. Розрахунок робити по відношенню до площі поверхні $F=1$ км². Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_1=40^\circ\text{C}$.

Визначити також постійну часу вилучання теплової енергії τ_0 (років) при закачуванні води в пласт і витраті її $V=0,1$ м³/(с·км²). Яка буде теплова потужність, вилученої спочатку $(dE/dz)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/dz)_{\tau=10}$?

Завдання присвячено 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 α). Середня щільність твердих порід земної кори $\rho_{zp}=2700$ кг/м³, а коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{zp}=2$ Вт/(м·К). Зміна температури ґрунту у напрямку до земної поверхні характеризується температурним градієнтом (dT/dz), вимірюваним в °С/км або К/км.

Найбільш поширені на земній кулі райони з нормальним температурним градієнтом (менше 40 °С/км) з щільністю витікаючих у напрямі поверхні теплових потоків приблизно 0,06 Вт/м². Економічна доцільність отримання тепла з надр Землі тут маловірогідна.

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

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

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

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z \quad (6.1)$$

де T_0 – температура на поверхні Землі, К (або °С).

У розрахунковій практиці характеристики геотермальної енергетики зазвичай відносять до 1 км² поверхні F .

Теплоємність пласта C_{nl} (Дж/К) можна визначити згідно рівняння:

$$C_{nl} = hF[\alpha\rho_v C_v + (1-\alpha)\rho_{zp} C_{zp}], \quad (6.2)$$

де $\rho_{\text{в}}$ і $C_{\text{в}}$ – відповідно щільність і ізобарна питома теплоємність води;
 $\rho_{\text{гр}}$ і $C_{\text{гр}}$ – щільність і питома теплоємність ґрунту (порід пласта); зазвичай $\rho_{\text{гр}}=820\text{--}850$ 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):

$$E_0 = C_{\text{пл}}(T_2 - T_1) \quad (6.3)$$

Постійну часу пласта τ_0 (можливий час його використання, в роках) у разі відведення теплової енергії шляхом закачування в нього води з об'ємною витратою V (м³/с) можна визначити по рівнянню:

$$\tau_0 = C_{\text{пл}} / (V \rho_{\text{в}} C_{\text{в}}) \quad (6.4)$$

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

$$E = E_0 \exp(-\tau / \tau_0) \quad (6.5)$$

де τ – число років з початку експлуатації.

Теплова потужність геотермального пласта у момент часу τ (років з початку розробки) у Bm (MBm):

$$\left(\frac{dE}{d\tau} \right)_{\tau} = - \frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau / \tau_0) \quad (6.6)$$

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Вихідні данні для розрахунку теплового потенціалу геотермальної енергії

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
h, км	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
z, км	2,5	3,0	3,5	4,0	3,5	3,0	2,5	4	3,5	3
(dT/dz) °C/км	75	70	65	60	55	50	45	40	35	30

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: водоносний пласт завтовшки $h=1$ км при глибині залягання $z=3$ км, якщо задані характеристики породи пласта: щільність $\rho_{\text{гр}}=2700$ кг/м³; пористість $a=5\%$; питома теплоємність $C_{\text{гр}}=840$ Дж/(кг·К). Температурний градієнт $(dT/dz)=60^\circ\text{C}/\text{км}$.

Середню температуру поверхні t_0 прийняти рівною 10°C . Питома теплоємність води $C_{\text{в}}=4200$ Дж/(кг·К); щільність води $\rho=10^3$ кг/м³. Розрахунок робити по відношенню до площі поверхні $F=1$ км². Мінімально допустиму температуру пласта прийняти рівною $t_1=40^\circ\text{C}$.

Визначити також постійну часу вилучення теплової енергії τ_0 (років) при закачуванні води в пласт і витраті її $V=0,1$ м³/(с·км²). Яка буде теплова потужність, вилученої спочатку $(dE/d\tau)_{\tau=0}$ і через 10 років $(dE/d\tau)_{\tau=10}$?

1. Температура водоносного пласта перед початком його експлуатації:

$$T_2 = T_0 + (dT/dz)z = 10 + 60 \cdot 3 = 190 \text{ } ^\circ\text{C}$$

2. Теплоємність пласта C_{nl} можна визначити за рівнянням:

$$C_{nl} = hF[\alpha\rho_s C_s + (1-\alpha)\rho_{zp} C_{zp}] = \\ = 1 \cdot 1 \cdot 10^9 (0,05 \cdot 10^3 \cdot 4200 + 0,95 \cdot 2700 \cdot 840) = 2,4 \cdot 10^{15} \text{ Дж/К,}$$

3. Тепловий потенціал на початок експлуатації:

$$E_0 = C_{nl}(T_2 - T_1) = 2,4 \cdot 10^{15} \cdot (190 - 40) = 360 \cdot 10^{15} \text{ Дж}$$

4. Постійну часу пласта τ_0 :

$$\tau_0 = C_{nl}/(V\rho_s C_s) = \frac{2,4 \cdot 10^{15}}{(0,1 \cdot 10^3 \cdot 4200)} = 5,7 \cdot 10^9 \text{ с або 181 рік}$$

5. Теплова потужність геотермального пласта у момент часу τ (років з початку розробки) у Вт (МВт):

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

При $\tau=0$

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_0 = -\frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0) = \frac{360 \cdot 10^{15}}{5,7 \cdot 10^9} \exp(-0/181) \approx 63 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

При $\tau=10$

$$\left(\frac{dE}{d\tau}\right)_0 = -\frac{E_0}{\tau_0} \exp(-\tau/\tau_0) = \frac{360 \cdot 10^{15}}{5,7 \cdot 10^9} \exp(-10/181) \approx 57,3 \cdot 10^6 \text{ Вт}$$

6.2.2. Розрахунок використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану для отримання електроенергії на ОТЕС.

Вважається, що дійсний ККД η океанічної ТЕС, 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, η_{tk} . Оцінити можливу величину дійсного ККД ОТЕС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану t_1 , $^\circ\text{C}$, а температура води на глибині океану t_2 , $^\circ\text{C}$. Яка витрата теплої води V , м/год буде потрібно для ОТЕС потужністю N МВт?

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

Завдання присвячено перспективам використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану для отримання електроенергії на ОТЕС, що працює по відомому циклу Ренкіна. Як робоче тіло передбачається використання легкокіплячих речовин (аміак, фреон). Внаслідок невеликих перепадів температур ($\Delta T = 15 \div 26 \text{ } ^\circ\text{C}$) 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 частки відносно невеликих потужностей на ОТЕС вимагаються великі витрати «теплої» і

«холодної» води і, отже, величезні діаметри трубопроводів, що підводять і відводять воду.

Якщо вважати теплообмінники (випарник і конденсатор) ідеальними, то теплову потужність, отриману від теплої води Q_0 (Вт) можна представити як:

$$Q_0 = \rho V C_p \Delta T \quad (6.7)$$

де ρ – щільність морської води, кг/м³;

C_p – масова теплоємність морської води, Дж/(кг·К);

V – об'ємна витрата води, м³/с ;

$\Delta T = T_1 - T_2$ – різниця температур поверхневих і глибинних вод (температурний перепад циклу) в °С або К.

У ідеальному теоретичному циклі Карно механічна потужність N_0 (Вт) може бути визначена як:

$$N_0 = \eta_{tk} Q_0, \quad (6.8)$$

де η_{tk} – термічний ККД циклу Карно: $\eta_{tk} = (T_1 - T_2)/T_2$.

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл.6.2.

Таблиця 6.2 – Вихідні данні для розрахунку використання перепаду температур поверхневих і глибинних вод океану

Величини і одиниці їх виміри	Варіанти завдань									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N , МВт	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
t_1 , °С	30	30	28	28	26	26	24	23	21	20
t_2 , °С	4	5	4	5	4	5	4	5	4	5

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: Вважається, що дійсний ККД η океанічної ТЕС, 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, η_{tk} . Оцінити можливу величину дійсного ККД ОТЕС, робочим тілом якої є аміак, якщо температура води на поверхні океану $t_1 = 30$ °С, а температура води на глибині океану $t_2 = 5$ °С. Яка витрата теплої води V , м/год буде потрібно для ОТЕС потужністю $N = 5$ МВт?

Вважати, що щільність води $\rho = 10^3$ кг/м³, а питома масова теплоємність $C_p = 4,2 \cdot 10^3$ Дж/(кг·К).

1. Термічний ККД циклу Карно:

$$\eta_{tk} = (T_1 - T_2)/T_2 = \frac{(30 - 5)}{5} = 5$$

2. Теплова потужність:

$$Q_0 = \frac{N}{\eta_{tk}} = \frac{5}{5} = 1 \text{ МВт}$$

3. Об'ємна витрата води:

$$V = \frac{Q_0}{\rho C_p \Delta T} = \frac{10^6}{10^3 \cdot 4,2 \cdot 10^3 (30 - 5)} = 9,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$$

Питання для самоконтролю

1. Принцип дії систем ПТЕО.
2. Що таке геотермальна енергія.
3. Основні способи отримання енергії ГеоТЕС.
4. Принцип отримання енергії на океанічних ТЕС.
5. Що таке цикл Ренкіна та цикл Карно?
6. Яке робоче тіло використовується в ОТЕС?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №7

РОЗРАХУНОК БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК

Мета роботи: ознайомитися з основними біоенергетичними установками для отримання біопалива; опанувати методику розрахунку біогазогенератора.

7.1. ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

Однією з найбільш перспективних тем в галузі розвитку альтернативних джерел енергії є 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.

Біопаливо – 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).

7.2. ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

Продуктивність біогазової установки визначається за формулою:

$$V_{\text{б}} = B_{\text{ек}} \cdot \alpha \cdot \mathcal{Q} \cdot K, \quad (7.1)$$

де α – кількість органічних речовин, %;

$\mathcal{Q}$ – вихід біогазу на 1 кг органічної речовини (ОР). Орієнтовні значення

ϑ для великої рогатої худоби (ВРХ) – 0,24-0,3 м³/кг; для свиней 0,4-0,45 м³/кг; для птиці – 0,6 м³/кг;

K – коефіцієнт бродіння (0,4–0,3); $B_{ек}$ – кількість екскрементів за добу.

Кількість екскрементів за добу визначається за умови:

$$B_{ек} = n_1 b_1 + n_2 b_2, \quad (7.2)$$

де n_1, n_2 – кількість тварин різного виду;

b_1, b_2 – питомий вихід екскрементів на одну тварину різного виду.

Для розрахунку добового виходу біогазу використовують універсальне співвідношення Чена та Хошіміто, котре враховує тип біомаси і операційні характеристики біогазового реактора:

$$V_{\delta} = \frac{(\vartheta_{\text{зр}} \cdot K_{\text{ор.р}})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{(\tau \cdot \omega_{\text{max}} - 1 + K)} \right), \quad (7.3)$$

де V_{δ} – добовий вихід метану СН₄ (м³ за добу з 1 м³ реактора);

$\vartheta_{\text{зр}}$ – граничний вихід метану за добу (м³ за добу з 1 кг ОР), що становить для гною ВРХ 0,2±0,05, а для свинячого гною 0,5±0,05;

$K_{\text{ор.р.}}$ – концентрація ОР на виході, кг/м³;

τ – час повного обміну рідини в реакторі, діб;

K – кінематичний коефіцієнт:

- для гною ВРХ $K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}$,

- для свинячого гною $K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}$;

ω_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів, доба⁻¹, яка залежить від температури бродіння T_{ϕ} : $\omega_{\text{max}} = 0,013 \cdot T_{\phi} - 0,129$.

Об'єм біогазової установки:

$$V_m = \tau \cdot V_p \cdot K_3, \quad (7.4)$$

де V_p – об'єм рідкої маси екскрементів, подають в установку за добу;

K_3 – коефіцієнт, який враховує поправку на об'єм біогазу.

7.2.1. Розрахунок теоретичної продуктивності біогазової установки.

Розрахувати продуктивність біогазової установки V_{δ} , якщо в господарстві є n_1 тварин ВРХ і n_2 свиней. Тривалість бродіння τ діб, температура ферментації t °С.

Для варіантів значення вихідних величин наведено в табл. 7.1.

Таблиця 7.1 – Вихідні данні для розрахунку продуктивності біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n_1	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20
τ , діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10	5
t °С	34	32	36	40	50	36	40	44	48	50
n_2	10	20	30	10	20	15	25	30	20	15

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: в господарстві є $n_1=3$ тварин ВРХ і $n_2=20$ свиней. Тривалість бродіння $\tau=10$ діб, температура ферментації $t=40^\circ\text{C}$.

1. Кількість екскрементів за добу:

$$B_{ек} = n_1 b_1 + n_2 b_2 = 3 \cdot 55 + 20 \cdot 15 = 465 \text{ кг/добу},$$

де b_1, b_2 – вихід екскрементів за добу (додатки 4, 5).

2. Можлива кількість біогазу:

$$V_{\phi} = B_{ек} \cdot a \cdot \vartheta \cdot K = 465 \cdot 0,0363 \cdot 0,265 \cdot 0,4 \approx 1,8 \text{ м}^3/\text{кг на добу}$$

де a – кількість органічної маси з 1 кг екскрементів (0,0363-0,04кг);

ϑ – питома величина виходу біогазу з органічної маси, залежить від температури ферментації і тривалості процесу (додаток 6).

7.2.2. Розрахунок об'єму газу з біогазогенератора.

Визначити об'єм газу з біогазогенератора внаслідок утилізації гною з n корів. Тривалість циклу бродіння τ_{ϕ} , температура t_{ϕ} . Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0=2$ кг/добу. Вихід біогазу $\vartheta=0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$, вміст CH_4 в біогазі 0,78. Розрахувати потужність біогазогенератора.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 7.2.

Таблиця 7.2 – Вихідні данні для розрахунку об'єму газу з біогазогенератора

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
n	4	6	8	10	12	14	16	7	9	11
$t_{\phi}, ^\circ\text{C}$	40	42	44	38	39	45	37	41	43	37
$\tau_{\phi}, \text{діб}$	8	7	7	9	9	6	10	9	6	10

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: в господарстві є $n=4$ корови. Тривалість бродіння $\tau=10$ діб, температура ферментації $t=40^\circ\text{C}$. Надходження сухого бродильного матеріалу від однієї корови складає $m_0=2$ кг/добу. Вихід біогазу $\vartheta=0,24 \text{ м}^3/\text{кг}$, вміст CH_4 в біогазі 0,78; $\eta=0,92$ – ККД пальника; Q_{ϕ}^p – калорійність біогазу (метан за нормальних умов має близько $28 \text{ МДж/м}^3=56 \text{ кДж/кг}$);

1. Загальна маса сухого матеріалу:

$$m_3 = n \cdot m_0 = 4 \cdot 2 = 8 \text{ кг/добу},$$

2. Кількість газу, яка утворюється за добу:

$$V_{\phi} = \vartheta \cdot m_3 = 0,24 \cdot 8 = 1,92 \text{ м}^3/\text{добу}.$$

3. Теплова потужність біогазогенераторної установки, Вт:

$$N = \eta \cdot Q_{\phi}^p \cdot V_{\phi} \cdot K = 0,92 \cdot 28 \cdot 10^6 \cdot 1,92 \cdot 0,78 / (24 \cdot 3600) \approx 447$$

7.2.3. Розрахунок розміру біогазової установки.

Визначити розмір біогазової установки (об'єм, діаметр і висоту) для анаеробного процесу перероблення екскрементів $B_{ек}$ (кг/добу). Тривалість ферментації $\tau_{\phi p}$ (діб).

Для варіантів значення вихідних величин наведено у табл. 7.3.

Таблиця 7.3 – Вихідні данні для розрахунку розміру біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$B_{ек}$, кг/добу	280	220	340	250	150	300	200	260	180	190
$\tau_{бр}$, діб	20	10	20	10	5	10	5	10	10	8

Розв’язання. Приймаємо наступні умови: Кількість екскрементів за добу $B_{ек}=200$ кг/добу; тривалість ферментації $\tau_{бр}=10$ діб. Частка сухого матеріалу в екскрементах $K=0,04$.

1. Кількість сухого матеріалу (органічних речовин):

$$m_0 = B_{ек} \cdot K = 200 \cdot 0,04 = 8 \text{ кг/добу.}$$

2. В біогазову установку подається рідка маса екскрементів, її визначають так:

$$V_p = \frac{m_0}{\rho_{ек}} = \frac{8}{1024} \approx 0,01 \text{ м}^3/\text{добу}$$

де $\rho_{ек}$ – густина рідкої маси екскрементів, які подають в установку (1024 кг/м³).

3. Об’єм генератора:

$$V_m = \tau V_p = 10 \cdot 0,01 = 0,1 \text{ м}^3$$

4. На основі правила «золотого перерізу» площа біогазової установки:

$$F = 0,454 \cdot V_m = 0,454 \cdot 0,1 \approx 0,05 \text{ м}^2.$$

Приймаючи конструкцію біогазової установки циліндричною, визначимо діаметр:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} F} = \sqrt{\frac{4}{3,14} 0,05} = 0,25 \text{ м}$$

Висота біогазової установки

$$h = \frac{V_m}{F} = \frac{0,1}{0,05} = 2 \text{ м}$$

7.2.4. Розрахунок добової продуктивності біогазової установки.

Біогазова установка об’ємом V переробляє сільськогосподарські відходи (гній ВРХ). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації t_ϕ , тривалість повного обміну біомаси $\tau_{бр}$. Визначити продуктивність установи з біогазу за добу.

Для варіантів значення вихідних даних наведено в табл. 7.4.

Таблиця 7.4 – Вихідні данні для розрахунку добової продуктивності біогазової установки

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	4	5
V_m , м ³	8	10	12	14	16	18	20	22	11	13
t_ϕ , °C	40	41	42	39	43	38	44	45	39	43
$\tau_{бр}$, діб	10	12	14	16	12	14	10	12	14	13

Розв'язання. Приймаємо наступні умови: $V=8 \text{ м}^3$; температура ферментації $t_\phi=40^\circ\text{C}$, тривалість повного обміну біомаси $\tau_{\phi p}=10$ діб.

Продуктивність біогазової установки визначимо із співвідношення:

$$V_\phi = \frac{(v_{\text{гр}} \cdot K_{\text{ор.р}})}{\tau} \cdot \left(1 - \frac{K}{(\tau \cdot \omega_{\text{max}} - 1 + K)} \right),$$

де $v_{\text{гр}}$ – граничний вихід метану за добу з 1 кг гною ВРХ – $0,2 \pm 0,05$;

$K_{\text{ор.р}}$ – концентрація ОР на виході (210 кг/м^3);

τ – час повного обміну матеріалу в реакторі (10 діб);

K – кінематичний коефіцієнт для гною (ВРХ): $K=0,8+0,001e^{0,06S}$;

S – ацетат, його величина коливається в межах 80-120.

$$K = 0,8 + 2,7^{0,06 \cdot 85} = 158,47.$$

ω_{max} – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба^{-1}) за температури $t_\phi=40 \pm 0,05^\circ\text{C}$, ($T_\phi=273+40=313 \text{ K}$):

$$\omega_{\text{max}} = 0,013 \cdot T_\phi - 0,129 = 0,013 \cdot 313 - 0,129 = 3,94$$

Продуктивність з 1 м^3 установки за добу:

$$V_\phi = \frac{(0,25 \cdot 210)}{10} \cdot \left(1 - \frac{158,47}{(10 \cdot 3,94 - 1 + 158,47)} \right) = 1,02$$

Питання для самоконтролю

1. Яка перевага біоенергетики серед інших альтернативних джерел?
2. Що таке біопаливо?
3. Основні способи отримання біопалива.
4. Методика визначення продуктивності біогазової установки.
5. Як визначити кількість екскрементів на добу від фермерського господарства?
6. Методика визначення об'єму біогазогенератора.
7. Як визначити розміри біоустановки?
8. Добова продуктивність типової біогазової установки.

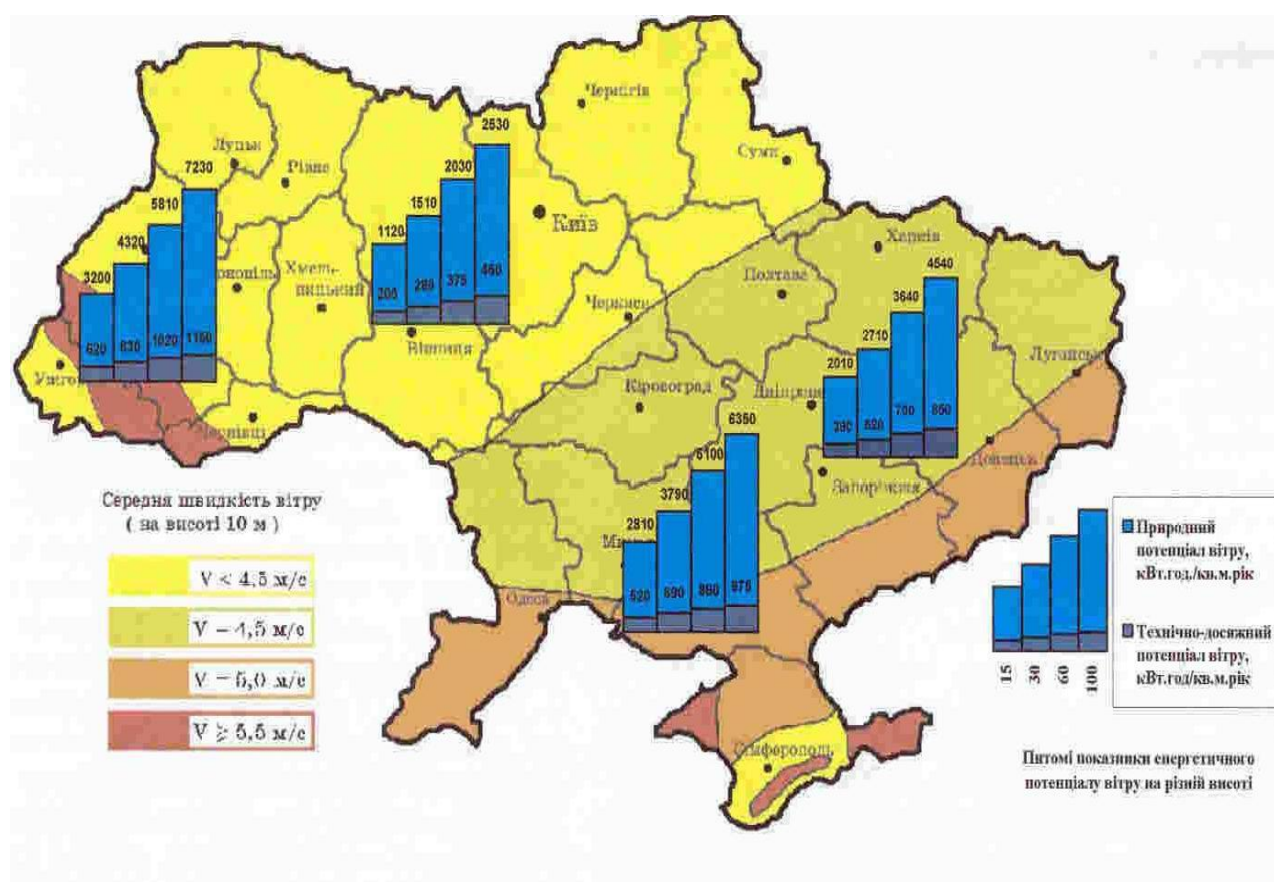
ДОДАТОК 1

Сумарний річний потенціал сонячної енергії на території України

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

Питомий енергетичний потенціал вітрової енергії в Україні

№ району	Середньорічна швидкість вітру, V_{cp} , м/с	Висота, м	Природний потенціал вітру, кВт год/м ² рік	Технічно-досяжний потенціал вітру, кВт год/м ² 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	Доцільно-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 ³ /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

№ п/п	Області	Кількість гною, млн. т/рік	Вихід біогазу, млн. м ³ /рік.	Заміщення орг. палива, т у.п./рік
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 зернобо- бових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняш- ника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукуру- дзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого грунту, 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

№ п/п	Області	Біомаса зернобо- бових культур, тис. МВт год/рік	Біомаса соняш- ника, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи кукуру- дзи, тис. МВт год/рік	Рослинні відходи овочів відкритого і закритого грунту, тис. МВт год/рік
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 ³ /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

№ п/п	Області	Осереднений об'єм відходів для використання у вигляді палива, тис. м ³ /рік	Енергозбереження відходів для використання у вигляді палива, тис. т у.п./рік
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
ВСЬОГО		585,4	114,9

Потенціал геотермальної енергії в Україні

№ п/п	Області	Кількість теплоносія, що видобувається при експлуатації з підтримкою пластового тиску, тис. м ³ /добу	Тепловий потенціал термальних вод, МВт	Річна економія, тис. т у.п.
1	2	3	4	5
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	-	-
ВСЬОГО		6801,0	2941

**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

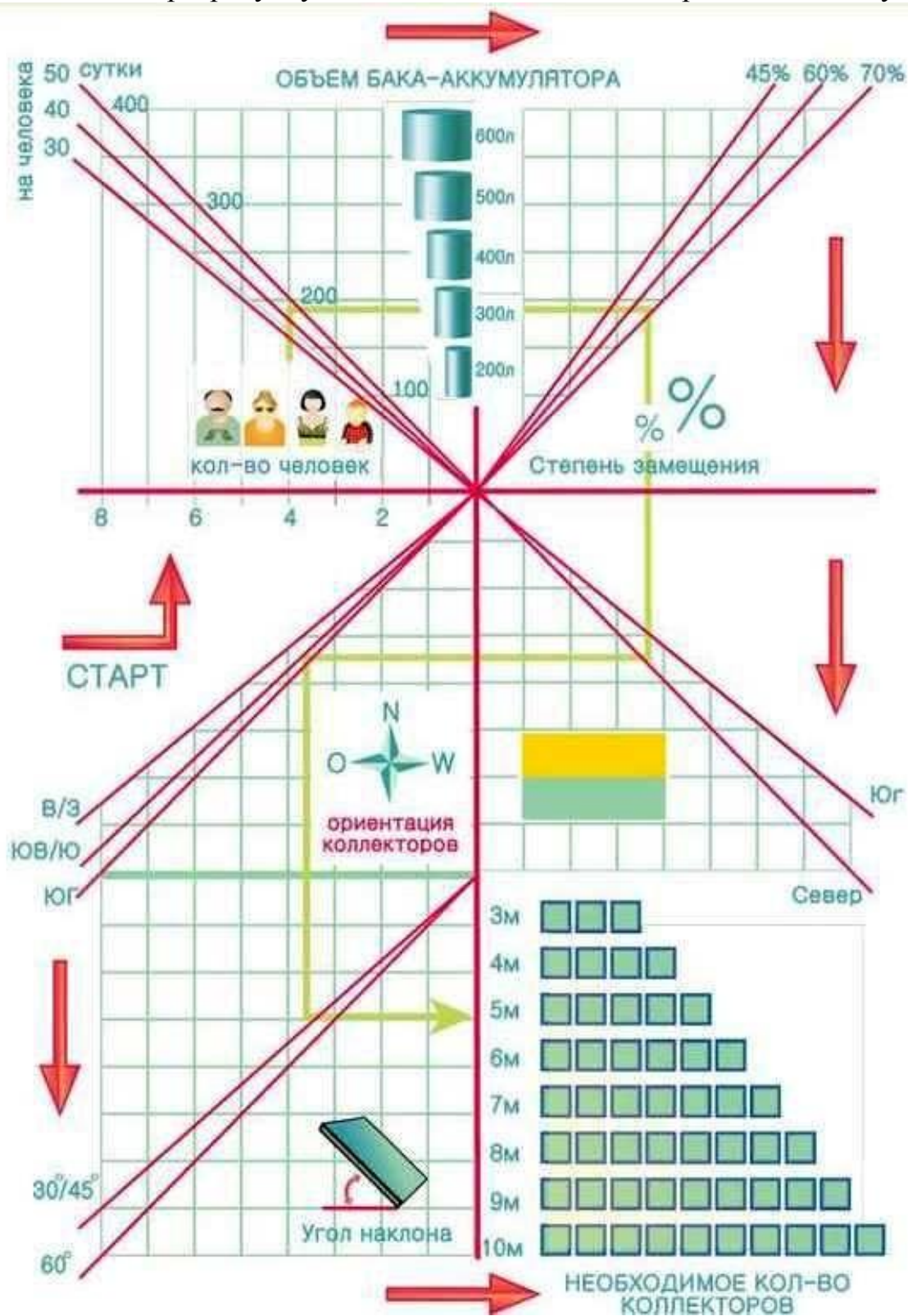
№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплової енергії стічних вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно-економічний потенціал
7	Запорізька	3091	1535	576
8	Івано-Франківська	1869	912	342
9	Київська	9608	5086	1907
10	Кіровоградська	836	451	169
11	Луганська	2971	1329	498
12	Львівська	4979	2616	981
13	Миколаївська	1232	653	245
14	Одеська	3879	1735	651
15	Полтавська	1683	853	320
16	Рівненська	1701	523	196
17	Сумська	1024	456	171
18	Тернопільська	744	376	141
19	Харківська	5273	2825	1059
20	Херсонська	870	448	168
21	Хмельницька	1135	542	203
22	Черкаська	2229	774	290
23	Чернівецька	487	264	99
24	Чернігівська	924	478	179
25	АР Крим	3312	1273	477
ВСЬОГО		69781	33939	12726

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

№ п/п	Області	Потенціал низькопотенціальної теплоти ґрунту та ґрунтових вод, тис. МВт год/рік		
		Загальний потенціал	Технічний потенціал	Доцільно- економічний потенціал
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



ДОДАТОК 3

Середній місячний рівень сонячної радіації(сонячна постійна) в містах України (кВтгод/м²/день)

Середній показник за останні 22 року (За даними NASA)

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

ДОДАТОК 4

Середньодобовий вихід екскрементів на підприємствах ВРХ

Тварини	Вихід екскрементів, кг/добу		
	Всього	кал	сеча
Би́ки	40	30	10
Корови	55	35	20
Молодняк на відкормленні віком: до 4 міс.	7,5	5	2,5
4 – 6 міс.	14,0	10	4
6 – 12 міс.	26,0	14	12
старші 12 міс.	35,0	23	12
Свині	15,0	11	4

ДОДАТОК 5

Склад екскрементів тварин (в % до сухої речовини)

Компоненти	Екскременти			
	ВРХ	дійні корови	свині	кури
Органічні речовини	77 – 85	77 – 85	77 – 84	76 – 77
Азот	2,3 – 4,0	1,9 – 6,5	4,0 – 10,3	2,3 – 5,7
Фосфор	0,4 – 1,1	0,2 – 0,7	1,9 – 2,5	1,0 – 2,7
Калій	1,0 – 2,0	2,4	1,4 – 3,1	1,0 – 2,9
Кальцій	0,6 – 1,4	2,3 – 4,9	–	5,6 – 11,6
Магній	0,5 – 0,6	–	–	0,9 – 1,1
С : Н	9 – 15	9 – 15	9 – 15	9 – 15
Сира клітковина (целюлоза)	–	27,6 – 50,3	19,5 – 21,4	13 – 17,8
Сирий жир	–	2,9 – 4,3	3,5 – 4,0	2,4 – 5,0
Сирий протеїн	–	9,3 – 20,7	16,4 – 21,5	20,5 – 42,1
Лігнін	16 – 30	16 – 30	–	9,6 – 14,3

ДОДАТОК 6

Питома величина виходу біогазу із сухої органічної речовини в залежності від температури і тривалості ферментації

Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^{-3}$, $\text{м}^3/\text{кг}$	Температ. процесу, °С	Тривалість бродіння, τ , доба	Вихід CH_4 , $v \cdot 10^{-3}$, $\text{м}^3/\text{кг}$
25	5	22,44	44	5	118,59
	10	54,40		10	269,95
	20	116,26		20	428,93
28	5	21,68	48	5	203,18
	10	91,73		10	308,12
	20	174,80		20	478,44
32	5	63,23	50	5	179,17
	10	161,12		10	285,13
	20	329,98		20	357,95
34	5	100,07	54	5	119,93
	10	202,17		10	302,34
	20	347,73		20	385,71
36	5	66,67	56	5	184,68
	10	164,90		10	375,88
	20	296,10		20	469,38
40	5	115,61	60	5	61,83
	10	265,10		10	74,72
	20	417,56		20	93,84

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до практичних занять з навчальної дисципліни «Альтернативні джерела енергії» / Укл. Костенко В.К., Колеснікова В.В., Зав'ялова О.Л. – Донецьк: ДоНТУ, 2013. – 54 с.
2. Агеев В.А. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии (курс лекций) <http://www.twirpx.com/file/49542/>
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та ін. // НАНУ: Інститут електродинаміки. – Київ. – 2001. – 42 с.
4. Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи на тему "Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок" з дисципліни "Енергозбереження та експлуатація систем теплогазопостачання і вентиляції" для студентів напряму підготовки "Будівництво" / Уклад. Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 24 с.
5. Ратушняк Г. С. Енергозбереження та експлуатація систем теплопостачання: навч. посібник / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2002. – 120 с.
6. Баадер Б. Биогаз: Теория и практика / Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; пер. з нім. М. И. Серебряного. – М. : Колос, 1982. –148 с.
7. Сербін В. А. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії в системах ТГП/ В. А. Сербін. – Макіївка : ДонДАБА, 2003. – 153 с.
8. Дудюк Д.Л., Мазепа С.С., Гнатишин Я.М. Нетрадиційна енергетика: Навч. посібник.– Львів: "Магнолія плюс".– 2007. – 262с.
9. Атлас енергетичного потенціалу нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії. // К., 2008. – 54 с.
10. Нетрадиційні та поновлювальні джерела енергії /О.І. Соловей, Ю.Г. Лега, В.П. Розен та ін. За заг. ред. О.І. Солов'я. – Черкаси: Вид. ЧДТУ, 2007.
11. Енергетичні ресурси та потоки / За заг. ред. А.К. Шидловського. – К.: Українські енциклопедичні знання, 2003. – 468 с.
12. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Під заг. ред. А.К. Шидловського. – К.: «Українські енциклопедичні знання», 2007. – 559 с.
13. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения. – Киев: Освіта України. – 2007.-464 с.
14. Дудар І.Н. Енергозбереження в міському будівництві: навчальний посібник Ч2 / І.Н. Дудар, Л.В. Кучеренко, В.В. Швець. – Вінниця : ВНТУ, 2014. – 70 с.

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	3
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1. ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ	4
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2. БУДОВА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ГЕЛІОСИСТЕМ. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ.....	9
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3. РОЗРАХУНОК ГЕЛІОСИСТЕМ ДЛЯ ОБІГРІВУ БАСЕЙНІВ І ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ	17
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4. РОЗРАХУНОК ВІТРОГЕНЕРАТОРА.....	20
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5. ПРИЛИВНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ, МАЛІ ГЕС: ПРИНЦИП РОБОТИ І РОЗРАХУНОК	26
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6. ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ. РОЗРАХУНОК ГЕОТЕРМАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ ОКЕАНІВ	31
ПРАКТИЧНА РОБОТА №7. РОЗРАХУНОК БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК	36
ДОДАТОК 1	41
ДОДАТОК 2	50
ДОДАТОК 3	51
ДОДАТОК 4	51
ДОДАТОК 5	52
ДОДАТОК 6	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	53