

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ АВТОМАТИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ  
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ

# ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів  
денної та заочної форми навчання за спеціальністю:  
**141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»**

Затверджено на засіданні кафедри  
автоматизації виробничих процесів,  
протокол № 3 від 01 жовтня 2020 р.

**Кропивницький 2020**

Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії.  
Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів денної та  
заочної форми навчання за спеціальністю: 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка» / О. П. Голик, Р. В. Жесан. –  
Кропивницький: ЦНТУ. -2020. - 88 с.

Укладачі: Голик О. П., кандидат технічних наук, доцент;  
Жесан Р. В., кандидат технічних наук, доцент.

Рецензент: Віхрова Л. Г., кандидат технічних наук, професор.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>4</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1</b>	
<i>Енергозбереження, активна та пасивна економія енергії. Визначення товщини шару теплоізоляції.....</i>	<b>6</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2</b>	
<i>Визначення енергетичних потреб споживача.....</i>	<b>18</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3</b>	
<i>Побудова графіків електричних навантажень.....</i>	<b>22</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4</b>	
<i>Вивчення будови, принципів роботи та режимів двигунів внутрішнього згорання.....</i>	<b>30</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5</b>	
<i>Вивчення будови, принципів та режимів роботи газотурбінних установок.....</i>	<b>33</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6</b>	
<i>Визначення витрат води для розрахунку параметрів гідроенергетичної установки.....</i>	<b>39</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7</b>	
<i>Вивчення принципу роботи сонячних колекторів та сонячних батарей.....</i>	<b>44</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8</b>	
<i>Розрахунок основних показників роботи вітроелектричної установки.....</i>	<b>58</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9</b>	
<i>Біопаливо. Способи отримання біомаси та біогазу.....</i>	<b>69</b>
<b>ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10</b>	
<i>Геотермальна енергія. Розрахунок системи геотермального теплопостачання.....</i>	<b>80</b>
<b>ЛІТЕРАТУРА ДО ЛАБОРАТОРНОГО КУРСУ.....</b>	<b>86</b>

## ВСТУП

Енергетика увійшла в суспільство ще з давніх часів. Першими джерелами енергії для діяльності людини були нетрадиційні джерела енергії (з погляду в давні часи ці джерела можна вважати традиційними), або так звані – поновлювані джерела енергії. До цих джерел можна віднести – сонце, вітер, течію рік, використання м'язової сили тварин та ін. З розвитком цивілізації в якості джерел енергії, набирали популярність та актуальність, на той час - органічні паливні копалини, а згодом – ядерне паливо. Потреби в енергії постійно зростають як для індивідуальних користувачів, так і для великомасштабних споживачів. Всі ці потреби задовольняються за рахунок покращання технологій переробки палива, притягнення нових ресурсів тощо.

Світові потреби в енергії постійно зростають як для індивідуальних, так і для великомасштабних споживачів. Найчастіше вони задовольняються за рахунок покращання технологій переробки палива, притягнення нових ресурсів тощо. Але такі технології сприяють парниковому ефекту, забруднюють навколишнє середовище і, найголовніше, легкодоступні запаси палива швидко зменшуються.

Також серйозною проблемою для сільських господарств є їх фактична відрізаність від існуючої системи постачання, їх незахищеність перед жорстоким фінансово-економічним диктатом з боку заготівельних, переробних, торгівельних організацій, банків, енергокомпаній тощо. Крім того такі господарства значно розподілені за територією.

Всі роботи в агропромисловому комплексі (АПК), зокрема, в сільському господарстві виконуються механічно, це в першу чергу водопостачання та переробка врожаю і кормів, які мають значення для подальшого розвитку як тваринництва, так і рослинництва й підвищення їхньої продуктивності. Саме для такого виду робіт в АПК необхідно багато енергії. Для зрошення полів, наприклад, треба приблизно 0,5 кВт встановленої потужності на 1 га, а для створення тепличного господарства – 0,5 кВт на 1 м<sup>2</sup>.

Первинні паливно-енергетичні ресурси в майбутньому не зможуть забезпечити потреби АПК в енергії. Тому однією з суттєвих проблем є енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії.

Саме для цього поновлювані джерела енергії необхідні в сільському господарстві. Адже селянин не повинен відволікатись від своїх прямих обов'язків – виробництва продуктів харчування та сировини для переробної промисловості. Незалежність сільськогосподарського виробника від централізованих систем енергопостачання та чітка робота систем автоматичного керування в автономних енергосистемах повинні підвищити продуктивність праці в аграрній галузі та зменшити собівартість сільськогосподарської продукції.

Метою дисципліни є ознайомлення, вивчення та засвоєння можливих методів, способів та засобів енергозбереження і застосування поновлюваних

джерел енергії в АПК. Вивчення конструкцій установок, які використовують ці джерела енергії.

Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», присвячені питанням енергозбереження, вторинним енергетичним ресурсам, традиційним джерелам енергії та використанню поновлюваних джерел енергії.

Метою лабораторного практикуму є практичне вивчення, закріплення та поглиблення базових знань, отриманих під час лекційних занять.

Для оцінювання успішності виконання кожної лабораторної роботи, згідно кредитно-модульної системи, використовуються наступні критерії:

*Вчасно захищеною вважається робота захист якої студентом відбувся в межах часу передбаченого для цієї роботи в робочій навчальній програмі та згідно з розкладом занять.*

За результатами семестру студент отримує підсумкову оцінку за 100-бальною системою.

Загальна кількість балів отримана за семестр відповідає оцінці:

1-34 – «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;

35-59 - «незадовільно» з можливістю повторного складання;

60-64 - «задовільно» («достатньо»);

65-74 - «задовільно»;

75-84 - «добре»;

85-89 - «добре» («дуже добре»);

90-100 - «відмінно».

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, АКТИВНА ТА ПАСИВНА ЕКОНОМІЯ ЕНЕРГІЇ. ВИЗНАЧЕННЯ ТОВЩИНИ ШАРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ

*Мета роботи:* вивчити загальні терміни з енергозбереження, способи пасивної та активної економії енергії. Ознайомитись з прикладами використання вторинних енергетичних ресурсів. Виконати розрахунок оптимальної товщини шару теплоізоляції.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Згідно з Законом України «Про енергозбереження» під **енергозбереженням** розуміють - діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів.

**Паливно-енергетичні ресурси** - сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві.

**Раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів** - досягнення максимальної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище.

**Економія паливно-енергетичних ресурсів** - відносне скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів, що виявляється у зниженні їх питомих витрат на виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг встановленої якості.

**Енергозберігаюча технологія** – метод виробництва продукції з раціональним використанням енергії, який дає можливість одночасно зменшувати енергетичне навантаження на оточуюче середовище і кількість енергетичних відходів, отриманих при виробництві та експлуатації виробленого продукту.

**Вторинні енергетичні ресурси** - енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів).

**Енергоємність** – кількість енергії, яка була використана (прямо або непрямо) при виробленні продукції або виконанні роботи (вимірюється відповідно в місцях випуску продукції і виконання роботи).

**Економія енергії** – результати реалізації дій. Спрямованих на зниження невиробничих витрат палива, електроенергії, теплоти механічної енергії. Дії можуть носити пасивний (наприклад, заміна теплоізоляції), активний

(утилізація теплоти викидів) або організаційний (заміна одного виду транспорту іншим, більш ефективним в енергетичному відношенні) характер.

**Пасивна економія енергії.** Існують різні способи пасивної економії енергії. До них належать: теплоізоляція, використання сучасного енергоефективного обладнання та будівельних матеріалів з високими показниками енергоефективності (люмінесцентні лампи, сучасні вікна тощо).

Розглянемо пасивну економію енергії на прикладі теплоізоляції.

*Теплоізоляція* – захист житлових і громадських споруд, теплових промислових установок, трубопроводів від небажаного теплового обміну з оточуючим середовищем для зниження втрат теплоти. Термін «теплоізоляція» може бути застосованим також у випадку, коли тепло ізолюючі матеріали використовуються для попередження втрат холоду із холодильних камер або, що те ж саме, надходження теплоти до них.

Із збільшенням товщини шару теплової ізоляції зменшуються втрати теплоти у зовнішнє середовище внаслідок чого збільшується економія теплоносія, який передається по трубопроводу. Одночасно із збільшенням товщини шару ізоляції підвищуються затрати, пов'язані з її нанесенням. Тому найбільш вигідна така товщина ізоляції, за якої сумарна величина затрат на ізоляцію і витрат, пов'язаних зі втратами теплоти у зовнішнє середовище, мінімальна.

*Енергоекономічна споруда* – споруда, яка спроектована таким чином, щоб її енергетичне споживання з метою опалення, кондиціонування повітря, освітлення і гаряче водопостачання задовольнялося при мінімальному використанні покупної енергії, тобто споруда, яка може експлуатуватися при мінімальних затратах на енергоносії.

**Активна економія енергії.** Застосовується для діючого енергетичного та енергоспоживаючого обладнання й досягається за рахунок запрограмованого управління опаленням і кондиціонуванням повітрям.

*Запрограмоване управління опаленням і кондиціонуванням повітря* – автоматичне керування системою опалення та кондиціонування повітря в будівлі у відповідності до програми, яка заздалегідь розроблена таким чином, щоб люди в приміщенні знаходилися в необхідних комфортних умовах при мінімальних енергетичних затратах, а під час відсутності людей у приміщенні навантаження на установки із опалення і кондиціонування повітря автоматично знижувалися.

Активна економія енергії також може досягатися за допомогою додаткових елементів обладнання, яке використовує вторинну сировину, а також утилізує вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) на діючому енергетичному й енергоспоживаючому обладнанні.

Прикладами цього є:

- *регенерація енергії* – використання залишкової енергії після завершення конкретного процесу в тому є самому або іншому процесі;
- *регенерація викидної теплоти* – утилізація тієї частини теплоти, яка була вироблена для конкретного процесу, але не була використана в ньому,

залишилася при цьому корисною теплотою;

- *регенерація механічної енергії* – перетворення в корисну форму енергії невикористаної частини механічної енергії, тобто тієї її частини, яка без прийняття спеціальних заходів була б втрачена. Наприклад, установка на магістральних газопроводах і розподільних газових мережах турбодетандерів замість редуційних клапанів.

Одним із найпоширеніших пристроїв, за допомогою яких здійснюється активна економія енергії, є *теплообмінний апарат* – вид обладнання, призначений для передачі теплоти від середовища з більш високою температурою (гріюче тіло – теплоносій) до середовища з більш низькою температурою (тіло, яке нагрівається).

Розглянемо більш детально способи активної економії енергії на прикладі використання ВЕР.

Використання ВЕР передбачає не тільки економію палива, і інтенсифікацію технологічних процесів, захист оточуючого середовища від забруднення технологічними викидами і шкідливими газами, а також підвищення економічності промислового виробництва в цілому.

Вторинні енергоресурси поділяють на п'ять основних груп:

- *горючі (паливні)* — відходи технологічних процесів, непридатні для подальшого технологічного перероблення (відходи переробки деревини, дрантя, відпрацьовані мастила та емульсії, відходи після регенерації відпрацьованих мастил, нафтопродукти після очищення лояльних і екваторіальних вод, сміття, стовпи, дерев'яні деталі будинків і споруджень), що можуть бути використані як котельно-пічне паливо, а також опалювання пари розчинника в сушилах;

- *теплові* — ентальпія газів, що відходять із технологічних агрегатів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, теплота робочих тіл систем охолодження технологічних агрегатів та установок, ентальпія гарячої води та пари, відпрацьованих у технологічних установках, а також теплоенергія (пара та гаряча вода), що їх попутно одержують у технологічних та енерготехнологічних агрегатів, фізичне тепло основної і побічної продукції, тепло робочих тіл систем примусового охолодження технологічних агрегатів, а також тепло повітря витяжної вентиляції;

*Примітка.* До теплових ВЕР не належать: теплота газів, що відходять, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, що повертається до агрегату, джерела ВЕР унаслідок регенерації чи рециркуляції, ентальпія конденсату, що повертається до парогенераторів чи джерел паропостачання.

- *надлишковому тиску* — потенційна енергія газів, що входять із технологічних агрегатів із надлишковим тиском, який необхідно знижувати перед наступним ступенем використання цих газів або під час викидання їх в атмосферу;

- *механічні* — ВЕР у вигляді кінетичної чи потенційної енергії в енергоносіях, якій можна реалізувати перетворенням в інші види енергії;



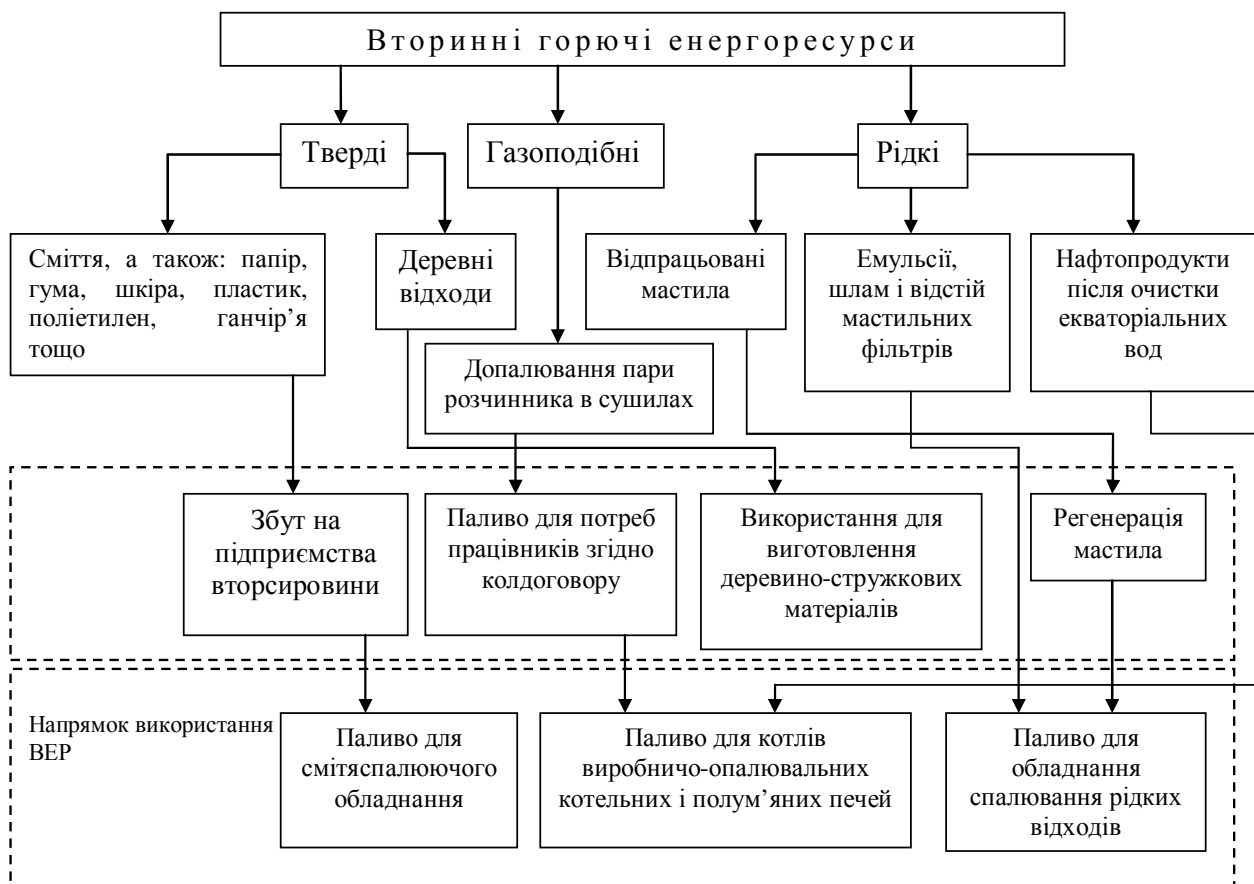
- *силові* — енергія, що поповнює прибуткову частину енергобалансу й одержана при організації випробування суднових електростанції із навантаженням на розподільчі мережі підприємства.

Рішення проблеми використання вторинних енергоресурсів можливе за двома напрямками: обмеження виходу і використання ВЕР.

Перший шлях — найбільш простий і раціональний, реалізується за рахунок підвищення енергетичного коефіцієнту корисної дії (ККД) технологічних агрегатів та раціонального вибору енергоносія.

Другий шлях реалізується за рахунок упровадження заходів щодо використання вторинних енергоресурсів, при цьому енергетичний ККД агрегату (джерела ВЕР) не змінюються, а вторинні енергоресурси використовуються для покриття частини потреби підприємства в паливі, теплоенергії й електроенергії.

На рис. 1.1 наведена схема комплексного використання горючих ВЕР на підприємствах. Поділ горючих відходів на три групи — тверді, рідкі та газоподібні, пов'язаний з умовами збирання, підготовки і спалювання цих відходів.



**Рис. 1.1. Схема комплексного використання горючих ВЕР на підприємствах**

Зниження виходу горючих ВЕР передбачає:

- збір і збут сміття на підприємствах вторсировини;
- реалізацію горючих відходів як паливо для населення;

- використання відходів деревини для виготовлення дерев'яно-стружкових матеріалів;

- регенерацію мастил на підприємстві або здачу на нафтобазу для їхньої централізованої регенерації з метою забезпечення можливості повторного використання.

Після здійснення заходів щодо зниження виходу горючих ВЕР, варто розглядати можливість забезпечення потреби в паливі за рахунок використання горючих вторинних енергоресурсів. Причому, відходи деревини, відпрацьованого мастила і нафтопродуктів можна використовувати безпосередньо як паливо для котлів виробничо-опалювальних котельних і полум'яних печей.

Використання таких горючих відходів, як сміття (гума, шкіра, пластик, поліетилен, дрантя тощо), емульсії, шлам і відстій масляних фільтрів, відходи після регенерації вимагає розробки та впровадження спеціальних пристроїв для спалювання цих відходів з утилізацією теплоти газів, що йдуть, для вироблення пари або підігрівання води. У даному випадку водночас вирішуються задачі охорони навколишнього середовища й економії паливно-енергетичних ресурсів.

За видами виробництв можливі наступні напрямки використання ВЕР:

- *плавка металів* — установка рекуператорів за полум'яними печами; використання теплоти відхідних газів печей для вироблення пари в котлах-утилізаторах, для підігріву стисненого повітря перед споживачем; використання теплоти низькопотенційної води (охолодна вода устаткування) для підігріву припливного повітря або вироблення холоду в абсорбційних холодильних машинах; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;

- *термообробка виробів* — установка рекуператорів за полум'яними печами; використання теплоти відхідних газів печей для вироблення пари в котлах-утилізаторах, для підігріву води в контактних економайзерах, для підігріву стисненого повітря перед споживачем; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;

- *ковальсько-штампувальне виробництво* — установка рекуператорів за полум'яними печами; використання теплоти відхідних газів печей для вироблення пари в котлах-утилізаторах, для підігріву води в контактних економайзерах, для підігріву стисненого повітря перед споживачем; використання відпрацьованої пари після пресів і молотів; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;

- *гальваніка* — використання конденсату для промивання деталей; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;

- *зварювання* — використання теплоти низькопотенційної води для підігріву припливного повітря або вироблення холоду в абсорбційних холодильних машинах; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;

- *деревобробка* — повернення конденсату від сушильних камер; використання відходів переробки деревини як пального ВЕР; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
- *лакофарбове виробництво* — допалювання пари розчинника з використанням отриманої теплоти;
- *механічна обробка матеріалів* — використання відпрацьованих мастил у як горючих ВЕР; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
- *слюсарно-складальне виробництво* — використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
- *виробництво пластмас і гумовотехнічних виробів* — використання відпрацьованої пари після штампів; використання відходів виробництва в як горючих ВЕР; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
- *випробування замовлень і виробів* — організація випробувань із віддачею електроенергії в розподільчі мережі підприємства; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
- *вироблення енергоносіїв* — установка на котлах економайзерів і повітря-підігрівників; використання відхідних газів котлів для підігріву води в контактному економайзері; утилізація теплоти стисненого повітря при його виробленні; використання охолодної води устаткування для підігріву припливного повітря або вироблення холоду в абсорбційних холодильних машинах; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря.

Із викладеного випливає, що більшість напрямків використання ВЕР повторюються в різних видах виробництва, тому використання вторинних енергоресурсів доцільно розглянути не за видами виробництва, а за видами ВЕР.

Існують різні установки, які використовують ВЕР. Найрозповсюдженішими є: рекуператори, установки повітропідігрівників котельних установок, економайзери, утилізатори теплоти, компресори та термокомпресори, пароводяні та теплові акумулятори, сепаратори, теплообмінники, тепло насосні установки та абсорбційні холодильні установки.

*Рекуператор* (від лат. *reuperator* – отримуючий зворотно, повертаючий) – теплообмінник, в якому теплообмін між теплоносіями відбувається безперервно через розділяючі їх стінку.

Використовується для утилізації теплоти вихідних газів. В рекуператорах передача теплоти відбувається через стінку, по одну сторону якої рухаються димові ази, а по іншу – нагрівається повітря або газ. В залежності від матеріалу, з якого виготовлені елементи рекуператорів, їх поділяють на металеві і керамічні.

*Економайзер* (від англ. *economizer* – підігрівач) – теплообмінник для попереднього підігріву води, яка подається в паровий котел за рахунок теплоти вихідних газів.

Водяні економайзери встановлюють для зниження температури відхідних газів, а отже, для підвищення величини ККД котельної установки. В парових котельнях економайзери встановлюють як на живильній, так і на мереженій воді: проте в останньому випадку необхідно забезпечити їх постійне сезонне (для опалювальних котелень) або цілорічне (для виробничих котелень) завантаження.

Економайзери бувають індивідуальні та групові. Як правило, слід встановлювати індивідуальні економайзери, оскільки вони працюють більш рівномірно і з меншим надлишком повітря. Групові можна встановлювати в котельних установках із постійним або мало змінним тепловим навантаженням, із котлами, конструктивні особливості яких створюють утруднення для установок індивідуальних економайзерів, і, нарешті, з котлами паропродуктивністю менше 2,5 т / год.

*Утилізація теплоти* стисненого повітря застосовується в компресорних станціях промислових підприємств і призначена для збільшення загального ККД процесу вироблення стисненого повітря на 10-12 %, а також для підвищення якості повітря.

Включення утилізатора теплоти в компресорну установку дозволяє вдвічі зменшити витрату води, що охолоджує в кінцевому холодильнику і зменшити втрату тиску стисненого повітря в процесі його осушення.

*Відпрацьована пара* використовується для потреб тепло споживання і вироблення холоду (опалення вентиляція, гаряче водопостачання, технологічні споживачі, абсорбційні холодильні установки). Вироблення холоду з використанням відпрацьованої пари доцільне, оскільки влітку спостерігається велика потреба в холоді, і всі надлишки відпрацьованої пари, що, звичайно, є в цю пору року, можна застосувати для роботи холодильних установок.

У ряді випадків ефективність установок використання відпрацьованої пари може бути підвищена за рахунок одночасного використання вторинної пари і води, що охолоджує устаткування. Вибір схеми виконується з урахуванням параметрів, кількості, забруднення відпрацьованої пари, характеру і взаємного розташування споживачів та джерел відпрацьованої пари, необхідного виду теплоносія й інших місцевих умов.

*Найбільш реальний спосіб використання низькопотенційних теплових ВЕР* – регенерація теплоти повітря, що викидається в атмосферу вентиляційними системами, яке варто розглядати як головне джерело зниження експлуатаційних втрат на теплову обробку зовнішнього припливного повітря в системах опалення, вентиляції і кондиціонування повітря виробничих приміщень.

## **Приклад.**

### **Задача 1**

Визначити оптимальну товщину шару теплоізоляції  $\delta$  труби діаметром  $d = 0,1$  м, якщо температура теплоносія всередині труби  $t_{II} = 120$  °С, вартість теплоносія  $C_n = 0,005$  у.о. / кг, теплота конденсації теплоносія

$r = 2207 \cdot 10^3$  Дж / кг, вартість 1 м<sup>3</sup> ізоляції  $C'_i = 175$  у.о. / м<sup>3</sup>, тривалість роботи трубопроводу протягом року  $\tau = 8600$  год / рік, коефіцієнт теплопровідності ізоляції  $\lambda = 0,065$  Вт / (м · К), термін роботи ізоляції  $n = 8$  років.

Хід розв'язання.

Річну вартість капітальних затрат на ізоляцію визначимо за наступним рівнянням:

$$C_i = \frac{1}{n} \cdot C'_i = \frac{1}{n} \cdot C''_i \cdot V = \frac{1}{n} \cdot C''_i \cdot \pi \cdot \delta \cdot (d + \delta) l = \frac{1}{8} \cdot 175 \cdot \pi \cdot \delta \cdot (0,1 + \delta) = 68,7\delta, \quad (1.1)$$

де  $C'_i$  - вартість ізоляції, розрахована на 1 м довжини трубопроводу, який ізолюють, у.о. / м;  $V$  – об'єм ізоляції, м<sup>3</sup>;  $l$  – одинична довжина ізоляції,  $l = 1$  м.

Річна вартість теплових втрат розраховується за наступним виразом:

$$C_e = C''_e - \tau \cdot \frac{q}{r} 3600 = 0,005 \cdot 8600 \cdot \frac{q}{2207000} \cdot 3600 = 70,14 \cdot 10^{-3} q, \quad (1.2)$$

де  $C''_e$  - вартість пари, у.о. / кг;  $q$  – теплові втрати через ізоляцію, Вт або Дж / с.

Виконуємо наступні заміни:

$$q = K \cdot \Delta t \cdot F;$$

$$F = \pi \cdot d \cdot l = \pi \cdot 0,1 \cdot 1 = 0,314 \text{ м}^2 / \text{м} \cdot \text{довжини};$$

$$\Delta t = t_{II} - t_B = 120 - 20 = 100 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$\alpha_i = \frac{\lambda}{\delta} = \frac{0,065}{\delta};$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\frac{\lambda}{\delta} \cdot \frac{D_{cep}}{d} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot \frac{D}{d}}}}, \quad (1.3)$$

де  $K$  – загальний коефіцієнт теплопередачі, Вт / (м<sup>2</sup> · К);  $\Delta t$  – різниця температур між паром і повітрям;  $F$  – площа поверхні трубопроводу довжиною один метр, м<sup>2</sup>;  $\alpha_i$  – коефіцієнт тепловіддачі від пари, що конденсується, до стінки, Вт / (м<sup>2</sup> · К).

Зовнішній і середній діаметри ізоляції:

$$D = d + 2 \cdot \delta = 0,1 + 2\delta;$$

$$D_{\text{сеп}} = \frac{2\delta}{\ln\left(1 + \frac{2\delta}{d}\right)} = \frac{2\delta}{\ln\left(1 + \frac{2\delta}{0,1}\right)}.$$

де  $D$  – зовнішній діаметр ізоляції;  $D_{\text{сеп}}$  – середньологарифмічний діаметр шару ізоляції.

Коефіцієнт тепловіддачі ізоляції в повітря:

$$\alpha_2 = C \cdot \left(\frac{\Delta t'}{D}\right)^{0,25}$$

де  $\Delta t'$  – різниця температур поверхні ізоляції та навколишнього середовища (повітря);  $C$  – коефіцієнт, залежний від середньої температури поверхні ізоляції й повітря, який можна визначити за табл. 1;  $t_{\text{сеп}}$  – середня температура поверхні ізоляції та повітря, °С.

**Таблиця 1 – Вибір коефіцієнта  $C$**

$t_{\text{сеп}}$	0	50	100	200	300	400	500
$C$	1,22	1,14	1,10	1,05	0,95	0,85	0,70

Для визначення коефіцієнта  $C$  необхідно задатися температурою на поверхні ізоляції:

$$t_{\text{сеп}} = \frac{t_i + t_{\text{II}}}{2} = \frac{40 + 20}{2} = 30 \text{ °С.}$$

За значеннями табл. 1 знаходимо, що  $C = 1,17$ . Оскільки оптимальна температура поверхні ізоляції зазнає незначних змін, то коефіцієнт  $C$  приблизно будемо вважати постійною величиною:

$$\Delta t' = t_i + t_{\text{II}} = 40 - 20 = 20 \text{ °С,}$$

тоді

$$\alpha_2 = 1,17 \cdot \left(\frac{20}{d + 2\delta}\right)^{0,25} = 1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25}$$

Нехтуючи величиною  $\alpha_1$  за рівнянням (1.3), отримуємо величину, обернену коефіцієнту теплопередачі:

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\frac{\lambda}{\delta} \cdot \frac{D_{cep}}{d}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot \frac{D}{d}} = \frac{1}{0,065 \cdot \frac{2\delta}{\ln\left(1 + \frac{2\delta}{0,1}\right) \cdot 0,1}} + \frac{1}{1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25} \cdot \left(\frac{0,1 + 2\delta}{0,1}\right)} =$$

$$= \frac{\ln(1 + 20\delta)}{1,3} + \frac{1}{1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25} \cdot (1 + 20\delta)}, \quad (1.4)$$

Річна вартість теплових втрат:

$$C_e = 70,14 \cdot 10^{-3} q \cdot K \Delta t F = 70,14 \cdot 10^{-3} \frac{100 \cdot 0,314}{\frac{\ln(1 + 20\delta)}{1,3} \cdot \frac{1}{1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25} \cdot (1 + 2\delta)}} =$$

$$= \frac{2,2}{\frac{\ln(1 + 2\delta)}{1,3} + \frac{1}{1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25} \cdot (1 + 20\delta)}}, \quad (1.5)$$

Сумарні річні витрати:

$$\Sigma C = C_i + C_e = 68,7\delta \cdot (0,1 + \delta) + \frac{2,2}{\frac{\ln(1 + 20\delta)}{1,3} + \frac{1}{1,17 \cdot \left(\frac{20}{0,1 + 2\delta}\right)^{0,25} \cdot (1 + 20\delta)}}, \quad (1.6)$$

Згідно з правилами техніки безпеки й охорони праці, товщина ізоляційного шару має забезпечувати на поверхні ізоляції температуру  $t_i$  не  $> 50$  °С. товщина ізоляції при цьому зазвичай не перевищує 150 мм.

При розрахунку оптимальної товщини шару ізоляції задаються рядом значень товщини ізоляції і за рівнянням (1.6) з урахуванням рівнянь (1.1-1.5) розраховують значення річних експлуатаційних витрат  $\Sigma C$ . Мінімальним сумарним річним витратам відповідає оптимальна товщина ізоляції.

Графічно розрахунок оптимальної товщини шару ізоляції показано на рис. 1.2. У координатах із горизонтальною віссю  $\delta$ , на якій відкладено  $C_i$ ,  $C_e$  та  $\Sigma C$ , будують криві  $C_i$  та  $C_e$ . Додавши координати кривих  $C_i$  та  $C_e$ , отримуємо криву  $\Sigma C$ , яка має мінімум, відповідний найменшим сумарним річним витратам.

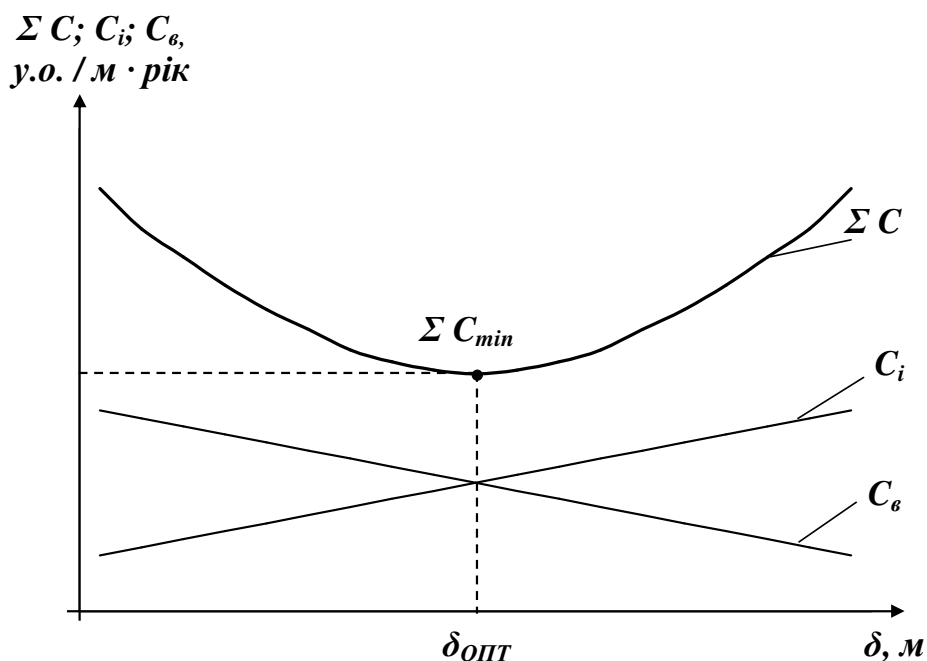


Рис. 1.2. Графічне визначення мінімуму функції  $\Sigma C = f(\delta)$

Опустивши з точки  $\Sigma C_{min}$  перпендикуляр на вісь  $\delta$ , отримаємо значення оптимальної товщини ізоляції  $\delta_{опт}$ . Для скорочення програми розрахунку необхідно зменшити кількість вихідних даних і перетворити розрахункові рівняння.

Залежно від заданої мети й наявності попередніх даних про характер зміни функції  $\Sigma C = f(\delta)$  програма розрахунку мінімального значення  $\Sigma C$  за рівнянням (1.6) може бути складена у кількох варіантах.

Якщо інформація про характер і межі зміни величин  $C_i$ ,  $C_e$  та  $\Sigma C$  недостатня, й необхідно мати повну картину їх змін при різних, то програму розрахунку складаємо так, щоб задаючи вручну послідовно ряд значень  $\delta$ , розрахувати за рівняннями (1.1-1.6) значення  $C_i$ ,  $C_e$  та  $\Sigma C$ , які запишемо в таблицю і використаємо для побудови функції  $\Sigma C = f(\delta)$  (див. рис. 1.2).

Початкове значення товщини ізоляції приймаємо рівним 0,01 м, передбачивши, що шар ізоляції буде більший від цієї величини. Крок зміни  $\delta$  приймаємо рівним 0,01 м. За необхідності збільшення точності крок має бути зменшеним.

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Розв'язати задачу 1, згідно з варіантом.
2. Визначити оптимальну товщину шару теплоізоляції, побудувати графіки кривих  $C_i$ ,  $C_e$  та  $\Sigma C$ .
3. Зробити висновки.



## Варіанти завдань

ПОКАЗНИКИ	ВАРІАНТ									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d, м$	0,5	0,3	0,6	0,2	0,1	0,25	0,2	0,35	0,4	0,45
$t_{п}, ^\circ C$	150	100	130	140	120	95	135	120	145	115
$C_n, у.о. / кг$	0,007	0,004	0,006	0,005	0,008	0,007	0,005	0,004	0,006	0,008
$r, Дж / кг$	$3305 \cdot 10^3$	$2409 \cdot 10^3$	$4608 \cdot 10^3$	$5003 \cdot 10^3$	$2001 \cdot 10^3$	$1815 \cdot 10^3$	$2717 \cdot 10^3$	$3266 \cdot 10^3$	$3399 \cdot 10^3$	$3413 \cdot 10^3$
$C_i'', у.о. / м^3$	200	150	163	175	134	142	184	190	195	215
$\tau, год / рік$	7300	8000	8400	7600	8600	8700	7000	7500	8100	8300
$\lambda, Вт / (м \cdot К)$	0,04	0,065	0,064	0,057	0,059	0,06	0,07	0,075	0,055	0,068
$n, роки$	5	7	8	6	10	7	8	5	6	9
$t_{в}, ^\circ C$	22	28	18	20	15	17	16	21	25	16
$t_{г}, ^\circ C$	42	35	40	30	36	38	45	44	43	42

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке енергозбереження?
2. Що таке енергозберігаюча технологія?
3. Що таке пасивна економія енергії?
4. Що таке ВЕР?
5. На які групи поділяють ВЕР?
6. Напрямки використання ВЕР?
7. Якими засобами досягається активна економія енергії?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОТРЕБ СПОЖИВАЧА

*Мета роботи:* дослідити енергетичні потреби споживача, шляхом визначення потужностей приймачів електричної енергії на об'єкті. Зробити висновки.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

В сільських районах енергопостачання споживачів електричної енергії зазвичай виконується за допомогою електричних мереж. Під *споживачами* електричної енергії розуміють приймач або групу приймачів електричної енергії, які можуть бути об'єднані технологічним процесом та розміщені на відповідній території.

В сільських районах існують наступні споживачі електричної енергії:

- фермерські господарства;
- лікарні, школи, клуби, магазини, пекарні та інші підприємства, які обслуговують населення;
- виробничі споживачі господарств (тваринницькі ферми, зерноочишувальні пункти, теплиці, сховища с/г продукції, млини, гаражі, котельні та ін.);
- підприємства АПК, підприємства з переробки с/г продукції (молокозаводи, консервні заводи, м'ясокомбінати тощо);
- інші споживачі, до яких можуть належати промислові підприємства.

Приймачем електричної енергії (*електроприймачем*) називають апарат, агрегат, механізм, який призначено для перетворення електричної енергії в інший вид енергії.

Для проектування електричних ліній, підстанцій та станцій необхідно знати навантаження окремих електроприймачів та їх груп.

Електричне навантаження в сільському господарстві, як і в інших галузях народного господарства, - величина, безперервно змінюється (одні споживачі використовують енергію, інші навпаки віддають). Потужність, яка споживається електроприймачами, наприклад електродвигунами, також змінюється зі зміною навантаження робочих машин.

Крім того, зі зміною часу загальне навантаження безперервно збільшується, оскільки збільшується степінь електрифікації сільськогосподарського виробництва та побуту сільського населення.

Ці зміни, як правило, носять випадковий характер, однак вони підлягають імовірнісним законам, які можуть бути встановлені з тим більшою точністю, чим більше дослідних даних було використано при їх визначенні.

Таким чином, вивчення електричних навантажень в сільському господарстві – складана самостійна задача, яка розглядається частково та зводиться в першу чергу до визначення розрахункових навантажень, тобто найбільших значень повної потужності на вході споживача або в електричній мережі протягом інтервалу часу 0,5 годин наприкінці розрахункового періоду.

Розрізняють денне  $S_d$  та вечірнє  $S_e$  максимуми навантажень споживача (групи споживачів).

За розрахунковий період приймають час, який пройшов з моменту введення установки в експлуатацію до досягнення навантаженням розрахункового значення. В сільських електроустановках тривалість такого періоду приймають рівною 5..10 років. Необхідно також знати коефіцієнт потужності розрахункових навантажень.

Зазвичай для електроприймачів, які використовуються в сільському господарстві, показники навантаження визначають за допомогою нормативів. При побудові типових проектів та визначені навантажень, по яким відсутні методичні дані, використовують реальні графіки електричного навантаження об'єкта.

В табл. 2.1 наведено потужності типового побутового обладнання.

**Таблиця 2.1. Типова потужність побутового навантаження**

Назва	Потужність, Вт	Назва	Потужність, Вт	Назва	Потужність, Вт
1	2	3	4	5	6
Мікрохвильова піч	600-1500	TV" – 12 ч/б	20	Галогенові лампи 40 Вт	40
Електроплитка	1200	Лампи накаливання 100 Вт	100	Холодильник з морозильною камерою 20cf (15 hours)	540
Автоматична пральна машина	500	Лампи накаливання 60 Вт	60	Холодильник з морозильною камерою 16cf (13 hours)	475
Праска	1000	Люмінесцентні лампи, екв. 40 Вт лампи накаливання	11	Відеомагнітофон	40
Насос	250-500	Люмінесцентні лампи, екв. 60 Вт лампи накаливання	16	Супутникова тарілка	30
Ноутбук	20-50	Люмінесцентні лампи, екв. 75 Вт лампи накаливання	20	TV – 25" кол.	150
Персональний комп'ютер	80-150	Люмінесцентні лампи, екв. 100 Вт лампи накаливання	30	TV - 19" кол.	70

### Приклад.

Визначити енергетичні потреби об'єкта електропостачання для зимового та літнього днів.

Припустимо, що існує об'єкт, який має наступних споживачів електричної енергії, наведені в табл. 2.2 (для зимового дня) та табл. 2.3 (для літнього дня).

**Таблиця 2.2. Споживачі електричної енергії для зимового дня**

Прилади	Кіл-ть, шт.	Потужність P, Вт	Години роботи, год.	Тривалість роботи T, год.	Енергетичні потреби W, Вт*год.
Лампи 100 Вт	1	100	4..6	2	200
	2	200	16..19	3	600
Лампи 60 Вт	2	120	5..9	4	480
	3	180	19..23	4	720
Люмін. лампи екв. 40 Вт лампи накал., 11 Вт	2	22	12..14	2	44
			20..22	2	44
Телевізор	1	150	6..10	4	600
			13..14	1	150
			17..22	5	750
Холодильник	1	540	00..23	24	12960
Праска	1	1000	19..20	1	1000
Персональний комп'ютер	1	80	18..21	3	210

**Таблиця 2.3. Споживачі електричної енергії для літнього дня**

Прилади	Кіл-ть, шт.	Потужність P, Вт	Години роботи, год.	Тривалість роботи T, год.	Енергетичні потреби W, Вт*год.
Лампи 100 Вт	2	200	4..6	2	400
	1	100	20..21	1	200
Лампи 60 Вт	2	120	5..7, 12..13	3	360
	3	180	17..18, 0..22	3	540
Люмін. лампи екв. 40 Вт лампи накал., 11 Вт	1	11	13..15	2	22
			19..21	2	22
Телевізор	1	150	6..10	4	600
			13..14	1	150
			19..22	3	450
Холодильник	1	540	0..23	24	12960
Праска	1	1000	20..21	1	1000
Персональний комп'ютер	1	80	20..22	2	160

Визначимо енергетичні потреби кожного обладнання, враховуючи кількість годин при якому працює обладнання, за формулою:

$$W_n = P_n \cdot T_n, \quad (2.1)$$

де  $P_n$  – потужність обладнання;  $T_n$  – час роботи обладнання.

Загальні потреби об'єкта в електричній енергії розраховуються за формулою:

$$\Pi = \sum W_n, \quad (2.2)$$

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Згідно варіанту самостійно обрати приймачі електричної енергії для об'єкта споживання електричної енергії. Споживачів електричної енергії повинно бути не менше 10. Самостійно визначити години роботи приймачів електричної енергії (окремо для зимового та літнього днів).
2. Визначити потреби в електричній енергії для об'єкта споживання (для зимового та літнього днів).
3. Отримані результати звести в таблицю (див. табл. 2.2 та 2.3).
4. Зробити висновки.

### Варіанти завдань

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Об'єкт</b>	лікарня	хлібозавод	теплиця	млин	котельня	тваринницька ферма	молокозавод	м'ясокомбінат	Консервний завод	СТО

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що є споживачем та приймачем електричної енергії? В чому головна відмінність між ними?
2. Що називають електричним навантаженням?
3. На які групи можна розділити електроприймачі?
4. Які бувають максимуми навантаження споживача?
5. Що називають розрахунковим періодом?
6. Які показники якості електричної енергії?
7. Яким чином визначають енергетичні потреби споживача?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
  2. Назву роботи.
  3. Мету роботи.
  4. Теоретичні відомості.
  5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
  6. Результати виконання завдання. Описати об'єкт та навести таблиці споживання електричної енергії для зимового та літнього дня.
  7. Висновки.
- Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

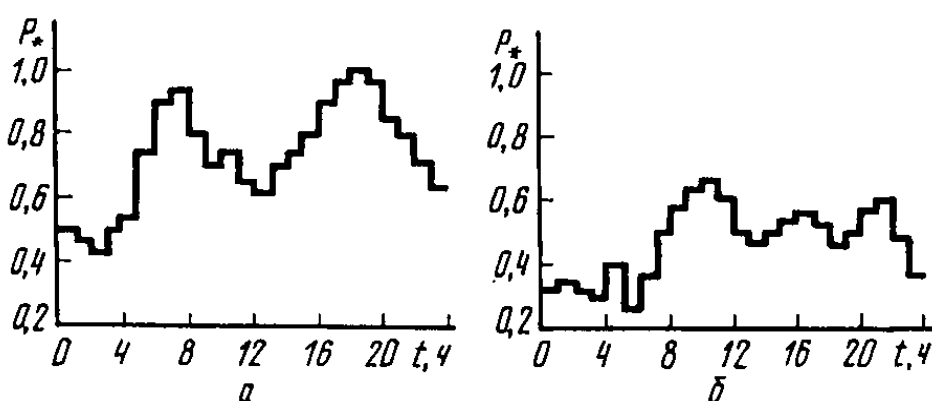
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ПОБУДОВА ГРАФІКІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Мета роботи:* побудувати добові графіки електричних навантажень взимку та влітку, згідно індивідуальних вихідних даних. На основі цих графіків побудувати річний графік навантаження за тривалістю, за яким визначити час використання максимальної потужності ( $T_{вик.мах}$ ), середню потужність ( $P_{cp}$ ) та коефіцієнт заповнення графіка ( $Kз$ ). Зробити висновки.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

**Графіком навантаження** називають залежність активної  $P$ , реактивної  $Q$  або повної  $S$  потужності навантаження від часу. Графіки навантаження можуть бути добовими та річними.

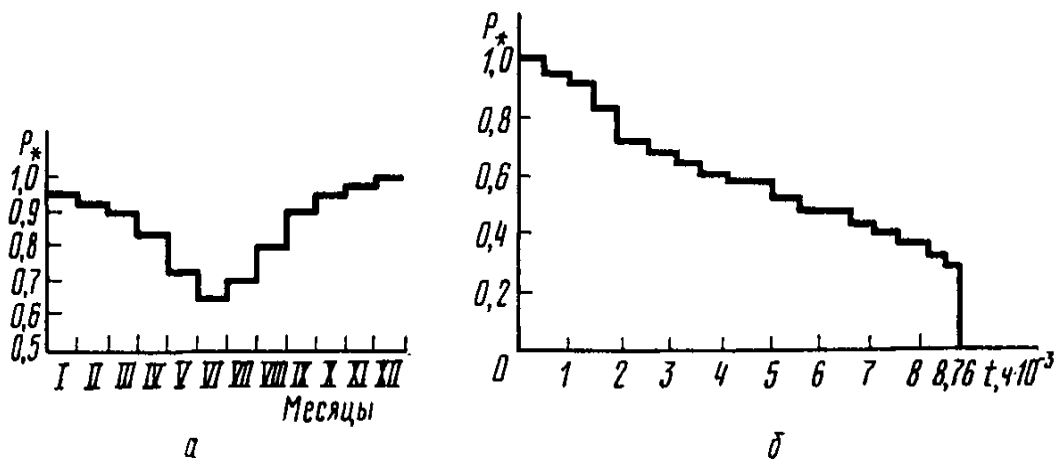


**Рис. 3.1. Добовий графік навантаження:**  
а – для зимового дня; б – для літнього дня  
*Потужність  $P_*$  - у відносних одиницях по відношенню до максимальної*

У більшості випадків в різні періоди року добові графіки навантаження відрізняються один від одного. Особливо значно змінюються в середніх та

північних широтах, оскільки освітлювальне навантаження змінюється внаслідок зміни тривалості світового дня. При розрахунках часто обмежуються двома характерними добовими графіками для зимового (рис. 3.1а) та літнього дня (рис. 3.1б).

**Річний графік** (рис. 3.2а) – зміна максимального півгодинного навантаження по місяцях року. На практиці зручно використовувати річний графік навантаження за тривалістю (рис. 3.2б).

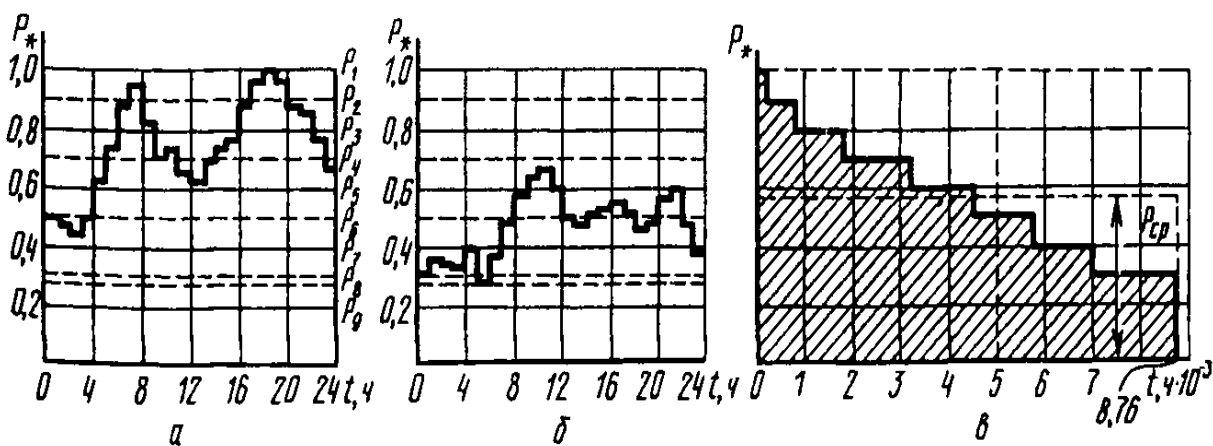


**Рис. 3.2. Річний графік навантаження:**  
а – за місяцями року; б – за тривалістю

На цьому графіку по осі абсцис відкладають час (в році 8760 годин), а по осі ординат – мінімальне навантаження, яке відповідає цьому часу. Річний графік за тривалістю складають на основі добових графіків за всі дні року.

З достатньою точністю річний графік за тривалістю можна побудувати, використовуючи добові графіки тільки для двох днів року – зимового та літнього.

Виконується це наступним чином.



**Рис. 3.3. Побудова річного графіка навантаження за тривалістю, згідно добових графіків зимового та літнього днів**

Нехай (див. рис. 3.3а) представляє собою добовий графік навантаження зимового, а на рис. 3.3б – літнього дня. Проводять на графіках пунктирні прямі, які відповідають навантаженням  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ . Для кожного добового графіка можна визначити, скільки годин діє дане навантаження  $P_i$ :  $t_{1зим.}; t_{1літ.}; t_{2зим.}; t_{2літ.}; \dots, t_{nзим.}; t_{nліт.}$ .

Якщо тепер припустити, що сільські споживачі в середньому протягом року працюють 200 днів по зимовому графіку та 165 днів по літньому, то тривалість дії навантажень  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  та більших їх потягом року визначається так:

$$\begin{aligned} t_1 &= 200 \cdot t_{1зим} + 165 \cdot t_{1літ}; \\ t_2 &= 200 \cdot t_{2зим} + 165 \cdot t_{2літ}; \\ t_3 &= 200 \cdot t_{3зим} + 165 \cdot t_{3літ}; \\ &\dots \\ t_n &= 200 \cdot t_{nзим} + 165 \cdot t_{nліт}. \end{aligned} \tag{3.1}$$

На рис. 3.3в наведено річний графік за тривалістю. На цьому графіку  $P_{cp}$  – середня річна потужність, яка дорівнює відношенню кількості енергії  $W$ , яка постачається (або споживається) за рік (тобто площі  $S$  під річним графіком за тривалістю) до повної кількості годин в році – 8760.

На основі цих графіків навантаження об'єкта (рис. 3.3в), можна визначити середню потужність  $P_{cp}$ . Для цього необхідно побудувати прямокутник площею  $S$ , яка дорівнює площі заштрихованої зони під графіком, основа якого дорівнює кількості годин в році.

Крім того, за річним графіком навантаження за тривалістю знаходять час використання максимального навантаження  $T_{вик.мах}$ . Це основа прямокутника площі  $S$ , заштрихованої зони під графіком, висота якого дорівнює максимальному навантаженню. Чим більше значення  $T_{вик.мах}$ , тим краще використовується електроустановка. В сільському господарстві навантаження протягом доби та року змінюється досить суттєво, зазвичай  $T$  приймає значення від 900 до 3400 годин.

Коефіцієнт запасу обладнання (іноді говорять – коефіцієнт заповнення графіка) – це відношення площі  $S$  під графіком до площі  $S_{мах}$  прямокутника із сторонами  $P_{мах}$  та  $T = 8760$  годин:

$$Kз = \frac{S}{S_{мах}}, \tag{3.2}$$

### **Приклад.**

Для об'єкту споживання, наведеного в практичній роботі № 2, побудувати добові та річний графіки енергетичного навантаження.

Побудуємо добові графіки навантаження для зимового (рис. 3.4) та літнього дня (рис. 3.5). Для цього необхідно потужність перевести в умовні одиниці. Тобто, визначаємо сумарну потужність в кожну годину доби.



Отриману максимальну потужність приймаємо рівною 100%. Аналогічним чином визначаємо умовні одиниці для всіх інших потужностей (див. табл. 3.1 та 3.2).

**Таблиця 3.1. Потреби в електроенергії для кожної години доби взимку**  
(від 00 годин до 01 години = 1 година)

Година доби	Сумарна потужність, Вт	Разом, Вт	Ум. од.	Година доби	Сумарна потужність, Вт	Разом, Вт	Ум. од.
1	540	540	0,27	13	540+22	562	0,28
2	540	540	0,27	14	540+22+150	712	0,36
3	540	540	0,27	15	540	540	0,27
4	540	540	0,27	16	540	540	0,27
5	540+100	640	0,32	17	540+200	740	0,37
6	540+100+120	760	0,38	18	540+200+150	890	0,45
7	540+120+150	810	0,41	19	540+200+150+80	970	0,49
8	540+120+150	810	0,41	20	540+180+150+1000+80	1950	1
9	540+120+150	810	0,41	21	540+180+22+150+80	972	0,49
10	540+150	690	0,35	22	540+180+22+150	892	0,45
11	540	540	0,27	23	540+180	720	0,36
12	540	540	0,27	24	540	540	0,27

**Таблиця 3.2. Потреби в електроенергії для кожної години доби влітку**  
(від 00 годин до 01 години = 1 година)

Година доби	Сумарна потужність, Вт	Разом, Вт	Ум. од.	Година доби	Сумарна потужність, Вт	Разом, Вт	Ум. од.
1	540	540	0,26	13	540+120	660	0,32
2	540	540	0,26	14	540+11+150	701	0,34
3	540	540	0,26	15	540+11	551	0,27
4	540	540	0,26	16	540	540	0,26
5	540+200	740	0,36	17	540	540	0,26
6	540+200+120	860	0,42	18	540+180	720	0,35
7	540+120+150	810	0,39	19	540	540	0,26
8	540+150	690	0,33	20	540+11+150	701	0,34
9	540+150	690	0,33	21	540+100+180+11+150+1000+80	2061	1
10	540+150	690	0,33	22	540+180+150+80	950	0,46
11	540	540	0,26	23	540	540	0,26
12	540	540	0,26	24	540	540	0,26

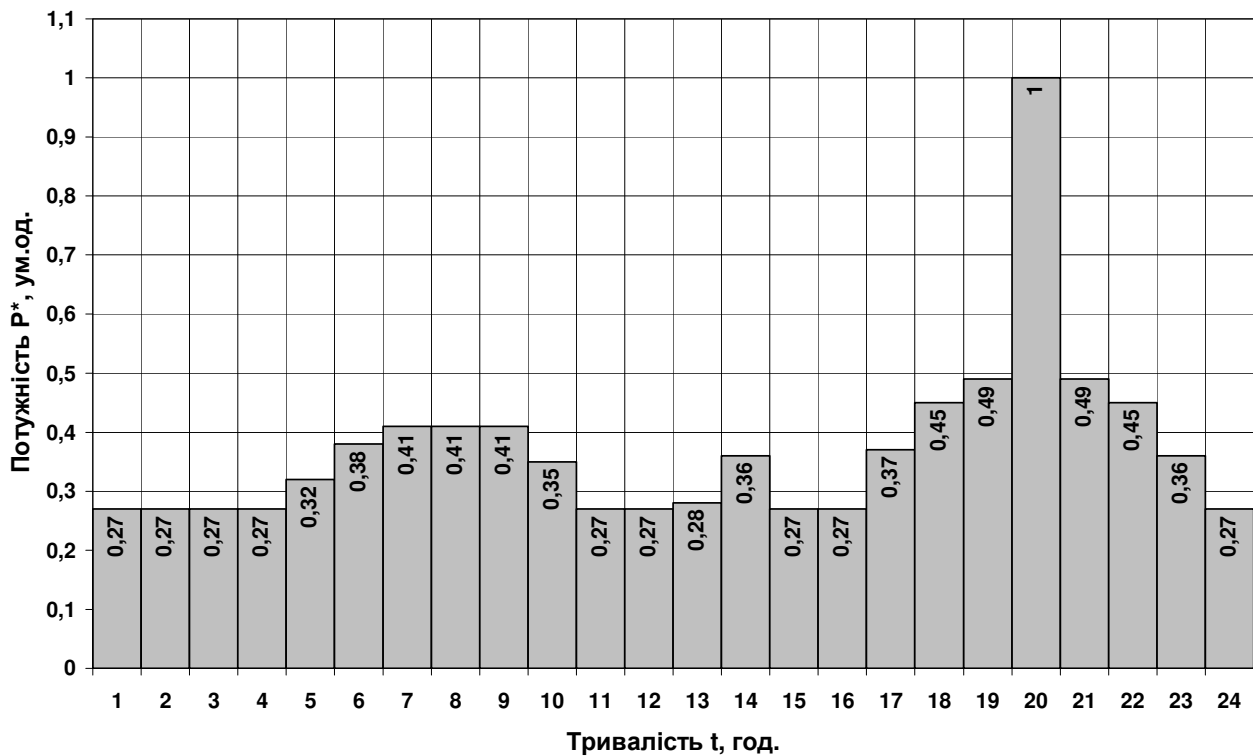


Рис. 3.4. Добовий графік навантаження для зимового дня

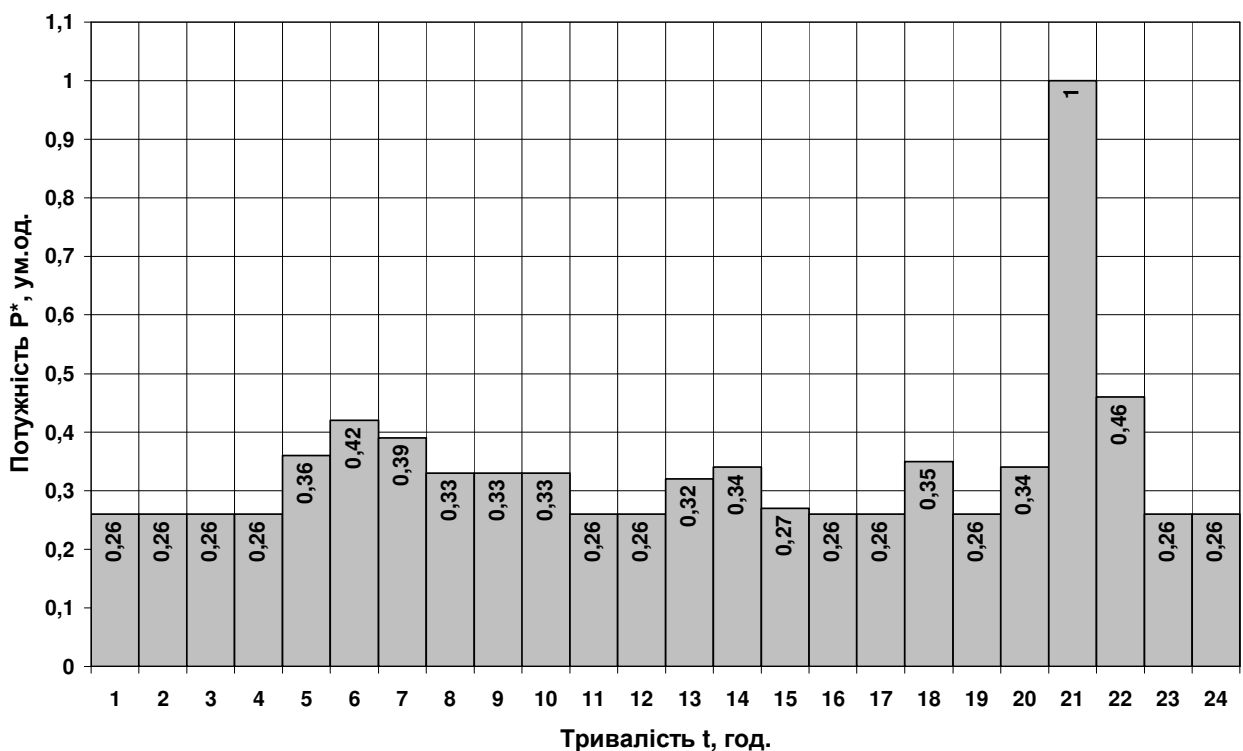


Рис. 3.5. Добовий графік навантаження для літнього дня

Наступним кроком будемо річний графік за тривалістю. Побудова цього графіка виконується наступним чином. Спочатку необхідно визначити всі



Таблиця 3.4. Побудова річного графіка за тривалістю

$P$	Сумарна потужність, ум. од.	Тривалість роботи, год.		$t$	Тривалість дії потужностей, год.	Розрахункові значення для побудови річного графіка
		взимку	влітку			
$P_1$	1	1	1	$t_1$	365	365
$P_2$	0,49	2	-	$t_2$	400	765
$P_3$	0,46	-	1	$t_3$	165	930
$P_4$	0,45	2	-	$t_4$	400	1330
$P_5$	0,42	-	1	$t_5$	165	1495
$P_6$	0,41	3	-	$t_6$	600	2095
$P_7$	0,39	-	1	$t_7$	165	2260
$P_8$	0,38	1	-	$t_8$	200	2460
$P_9$	0,37	1	-	$t_9$	200	2660
$P_{10}$	0,36	2	1	$t_{10}$	565	3225
$P_{11}$	0,35	1	1	$t_{11}$	365	3590
$P_{12}$	0,34	-	2	$t_{12}$	330	3920
$P_{13}$	0,33	-	3	$t_{13}$	495	4415
$P_{14}$	0,32	1	1	$t_{14}$	365	4780
$P_{15}$	0,28	1	-	$t_{15}$	200	4980
$P_{16}$	0,27	9	1	$t_{16}$	1965	6945
$P_{17}$	0,26	-	11	$t_{17}$	1815	8760
<b>Разом</b>		<b>24</b>	<b>24</b>		<b>8760</b>	

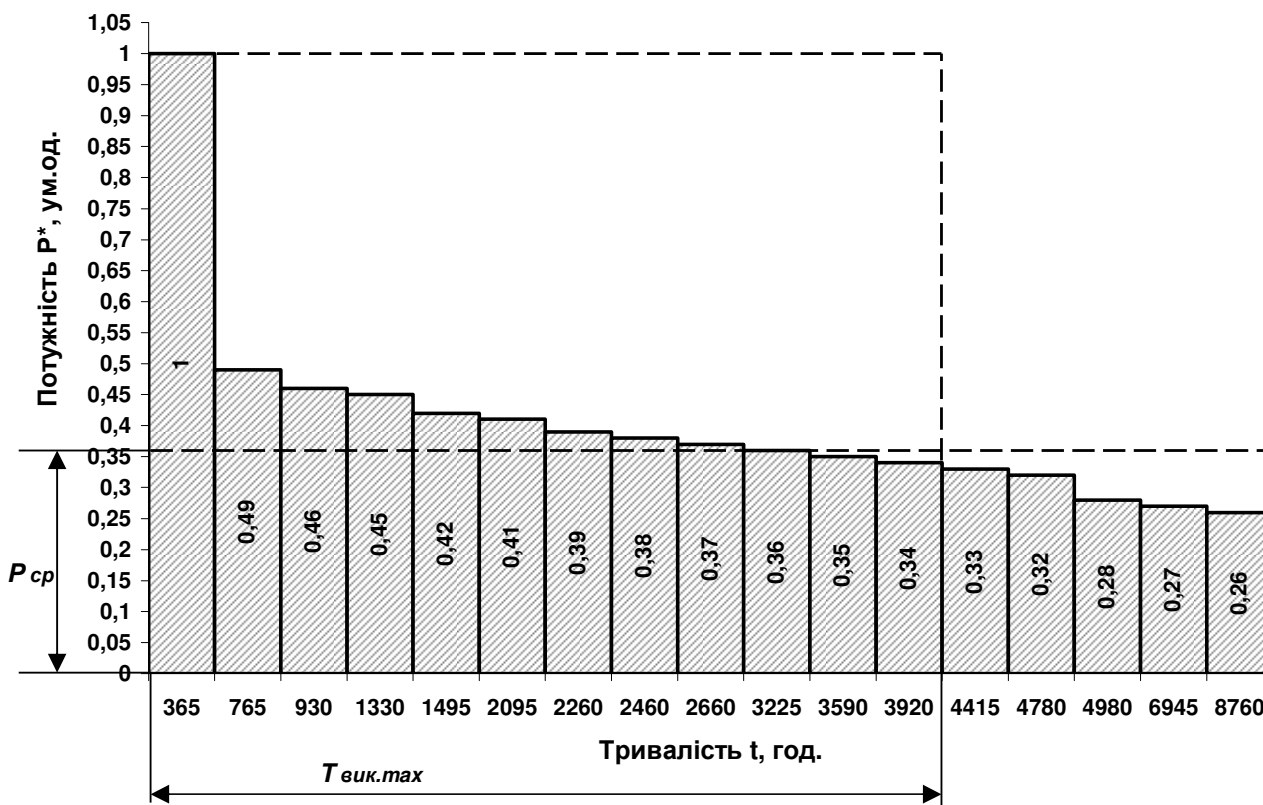


Рис. 3.6. Річний графік навантаження за тривалістю

### *Висновки.*

В ході проведення практичного заняття було побудовано графіки електричних навантажень для зимового та літнього днів, згідно індивідуальних даних. На основі отриманих графіків було побудовано річний графік навантаження за тривалістю. Шляхом аналізу цього графіка було визначено:

- час використання максимальної потужності  $T_{вик.мах} = 3920$  годин;
- середню потужність  $P_{cp} = 736$  Вт;
- коефіцієнт заповнення графіка  $Kз = 0,357$ .

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Для об'єкту споживання (згідно варіанту завдання Л/р № 2) побудувати добові графіки навантаження для зимового та літнього днів.

2. Побудувати річний графік навантаження за тривалістю, за допомогою якого визначити  $T_{вик.мах}$ ,  $P_{cp}$  та  $Kз$ .

3. Зробити висновки.

**Примітка:** для зручності розрахунків та побудови графіків залежностей рекомендується використовувати програмний пакет *Microsoft Office Excel* або інший подібний редактор.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають графіком навантаження? І для яких сезонів року його будують?

2. Що називають річним графіком?

3. Дайте визначення наступним поняттям: час використання максимальної потужності, середня потужність, коефіцієнт заповнення графіка?

4. Яким чином визначають тривалість дії навантаження?

5. Принцип побудови річного графіка за тривалістю?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.

2. Назву роботи.

3. Мету роботи.

4. Теоретичні відомості.

5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.

6. Результати виконання завдання. Добові графіки електричного навантаження для зимового та літнього дня. Річний графік навантаження за тривалістю.

7. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ВИВЧЕННЯ БУДОВИ, ПРИНЦИПІВ РОБОТИ ТА РЕЖИМІВ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

*Мета роботи:* вивчити різновиди конструкції, будову, принципи роботи та режими роботи сучасних двигунів внутрішнього згорання на прикладі одного з різновидів (згідно варіанту).

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

**Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ)** - це тип двигуна теплової машини, в якій хімічна енергія палива, яке згорає в робочій зоні, перетворюється в механічну роботу. Завдяки своїй автономності ДВЗ дуже широко розповсюджені, наприклад на транспорті.

Найголовнішими параметрами установок з ДВЗ є: *потужність, кількість фаз струму, та тип палива, яке використовується.*

Діапазон потужностей установок з ДВЗ досить широкий і лежить в межах від 2 кВт для постачання замських будинків до 100 кВт для застосування в промисловості.

Основним типом ДВЗ є поршневі двигуни, камерою згорання в яких є циліндр, в якому хімічна енергія пального перетворюється в механічну енергію, яка із зворотно-поступального руху поршня перетворюється у обертальну енергію за допомогою корбово-гонкового механізму.

Робочий цикл в поршневих ДВЗ складається з п'яти процесів: *впуску, стиснення, згорання, розширення та випуску.*

Для зручності вивчення робочий цикл різних двигунів розподіляють на процеси або, навпаки, групують процеси робочого циклу з урахуванням положення поршня відносно мертвих точок в циліндрі. Це дозволяє процеси в поршневих ДВЗ розглядати в залежності від переміщення поршня. Частина робочого циклу, яка здійснюється в інтервалі переміщення поршня між двома суміжними та мертвими точками називається – *тактом*. Такту присвоюється назва процесу, який є основним при даному переміщенні поршня між двома його мертвими точками (положеннями).

За типом струму, що виробляється, установки з ДВЗ бувають однофазні та трифазні.

Однофазні електростанції використовуються в основному в побутових мережах.

Трифазні призначені для живлення промислових об'єктів і спеціального устаткування.

ДВЗ також класифікують за наступними признаками:

- по способу запалювання робочої суміші (з примусовим запаленням та з запаленням від стиснення);
- по способу здійснення робочого циклу (двотактні та чотирьохтактні, з наддувом та без надуву).

За типом пального, яке використовується в основному ДВЗ поділяють на:

- бензинові (карбюраторні та інжекторні);
- дизельні;
- газові.

Основними перевагами бензинових установок з ДВЗ є:

- мобільність та компактність (можуть бути встановлені в будь-якому відповідному місці, невеликі розміри та незначна вага);
- безшумність та простота у використанні (не вимагають наявності спеціальних знань для експлуатації);
- широкий робочий діапазон температур (можна експлуатувати навіть при дуже низьких температурах, на відміну від дизельних, які при мінусових показниках запускаються вкрай важко);
- економічність (вартість у декілька разів нижче дизельних та інших аналогів).

Основним недоліком бензинових установок з ДВЗ є нетривалий час роботи, тому при необхідності довготривалого функціонування перевагу віддають дизельним установкам з ДВЗ.

Дизельні установки з ДВЗ мають набагато складнішу конструкцію, ніж бензинові, і, як наслідок, їх вартість значно вища. Кажучи про дешеву експлуатацію дизельних двигунів, не можна не відзначити, що ця дешевизна має місце лише у тому випадку, коли йому не потрібний дуже частий ремонт. Як показала практика, витрати на придбання запчастин і проведення ремонтних робіт двигуна здатні «з'їсти» практично всі заощаджені засоби.

В якості газоподібного пального в ДВЗ використовують природний, знижений або генераторний газ. Рідке паливо представляє собою продукти переробки нафти: бензин, керосин, дизельне паливо та ін. При комбінованому використанні газоподібного та рідкого пального використовують суміші газоподібного та рідкого пального, причому основним паливом є газоподібне паливо, а рідке використовується як запальне в невеликій кількості.

Якщо не зважати на тип пального, яке використовує ДВЗ, то основними недоліками ДВЗ є:

- громіздкість;
- сильний шум;
- токсичні викиди;
- відносно невеликий ресурс роботи;
- необхідність охолодження;
- висока складність при проектуванні, виготовленні та обслуговуванні;
- складна система запалення;
- велике споживання пального та ін.

При виборі типу установки з ДВЗ, перш за все, звертають увагу на такий показник, як – витрата пального на 1 кВт · год. Зазвичай, цей показник наводиться виробниками в паспорті технічних характеристик.

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Описати принцип роботи, конструкцію, будову та режими роботи ДВЗ, згідно з варіантом.
2. Зробити висновки.

### Варіанти завдань

Варіант	Тип ДВЗ	Варіант	Тип ДВЗ
1	Дизельний 2-тактний	5	Карбюраторний 4-тактний
2	Дизельний 4-тактний	6	Турбодизельний
3	Бензиновий інжекторний	7	Реактивний
4	Карбюраторний 2-тактний	8	Турбогвинтовий

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Переваги та недоліки ДВЗ?
2. Класифікація ДВЗ за типом пального, яке використовується?
3. За якими признаками класифікують ДВЗ?
4. Принцип дії, переваги та недоліки дизельного ДВЗ?
5. Принцип дії, переваги та недоліки бензинового ДВЗ?
6. Принцип дії, переваги та недоліки карбюраторного ДВЗ?
7. Принцип дії, переваги та недоліки реактивного ДВЗ?
8. Принцип дії, переваги та недоліки турбогвинтового ДВЗ?

### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
  2. Назву роботи.
  3. Мету роботи.
  4. Теоретичні відомості (обов'язково крім загального опису, необхідно навести рисунки, що описують будову, такти та режими роботи, а також графіки (за необхідності), які характеризують фізичні процеси, що відбуваються у ДВЗ).
  5. Висновки.
- Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### ВИВЧЕННЯ БУДОВИ, ПРИНЦИПІВ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ГАЗОТУРБІННИХ УСТАНОВОК

*Мета роботи:* вивчити типи газотурбінних установок, їх принцип дії та режими роботи. Виконати розрахунок основних параметрів газотурбінної установки.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

**Газотурбінні установки (ГТУ)** – мають одиничну електричну потужність від 20 кВт до декількох десятків МВт. Електричний ККД сучасних ГТУ складає 33-39 %. В потужних ГТУ існує можливість комбінованого, комплексного використання газових та парових турбін. Такий інженерний підхід *дозволяє суттєво підвищити ефективність використання палива та збільшити електричний ККД установок до 57-59 %.*

Співвідношення генерованої електричної енергії до теплової енергії в ГТУ складає 1:2. Тобто ГТУ з електричною потужністю 10 МВт здатна виробити ~ 20 МВт теплової енергії.

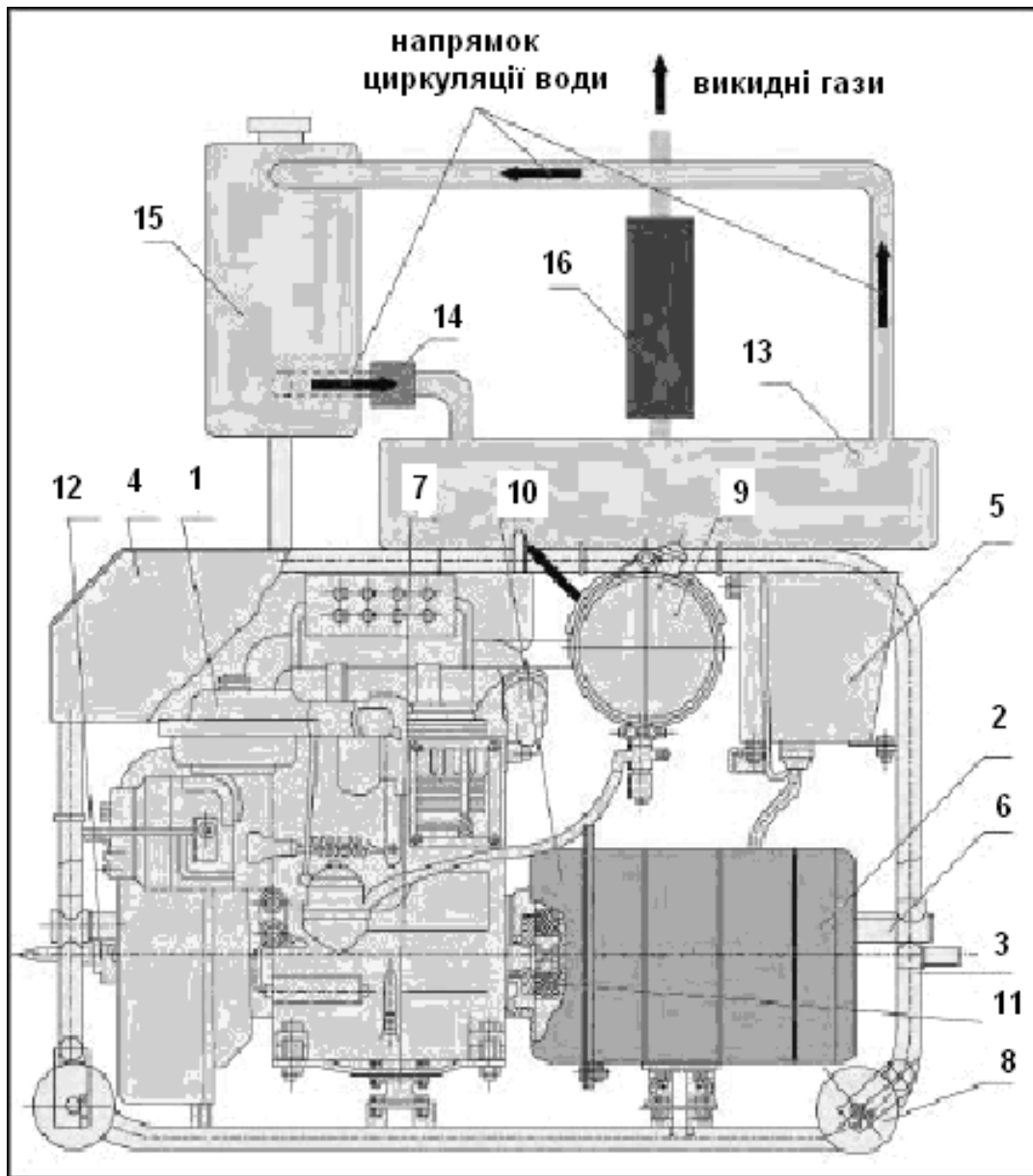
В залежності від потреб ГТУ можуть бути обладнані паровими або водонагрівними котлами. Це дає можливість використовувати пар різного тиску для виробничих потреб або гарячу воду із стандартними температурами. При комбінованому використанні енергії двох видів коефіцієнт використання палива теплової електростанції збільшується до 90 %. Такий режим роботи електростанції називають – **когенерацією**.

Залишки безкоштовної теплової енергії в будь-який час року дають можливість, за допомогою чилерів-АБХМ (абсорбційна холодильна машина), без витрат електроенергії налагодити повноцінне кондиціонування приміщень будь-якого призначення. Охолоджений таким чином теплоносії можна використовувати в промисловості, в різних виробничих циклах. Ця технологія називається – **тригенерація**.

На рис. 5.1 наведено схему роботи типової ГТУ.

Атмосферне повітря через вхідний пристрій КПОП (комбінований пристрій, що обробляє повітря) (6) надходить до компресора (1), там воно стискається та направляється до регенеративного повітрянагрівача (7), а потім через повітродозподільний клапан (5) в камеру згоряння (2). У камері згоряння у потоці повітря спалюється паливо, яке надходить через форсунки. Гарячі гази надходять на лопаті газової турбіни (3), де тепла енергія потоку перетворюється в механічну енергію обертання ротора турбіни. Потужність, отримана на валу турбіни, використовується для приводу компресора (1) та електрогенератора (4), який генерує електроенергію. Гарячі гази після регенератора (7) надходять до водонагрівного котла-утилізатора (8), а потім надходять до димової труби (13). Мережна вода, яка надходить із мережних насосів (12), нагрівається в водонагрівному котлі-утилізаторі (8) та піковому

котлі (10) і надходить до центрального теплового пункту (ЦТП). Підключення споживачів до ЦТП здійснюється при організації незалежного кола. В якості палива використовується природний газ. При аварійному припиненні подачі газу котли та ГТУ (при частковому навантаженні) переводяться для роботи на стиснений газ (пропан-бутан).



**Рис. 5.1. Схема роботи ГТУ**

Переваги та особливості використання ГТУ в енергетиці:

- висока надійність (ресурс роботи основних вузлів складає до 150 тис. годин, а ресурс роботи до капітального ремонту – 50 тис. годин);
- коефіцієнт використання палива (КВП) при повній утилізації тепла досягає 85 %;
- економічність установки (питома витрата умовного палива на 1 кВт електроенергії складає 0,2 кг у.п., а на 1 Гкал тепла – 0,173 кг у.п.);

- короткий строк окупності та невеликі строки будівництва – до 16-22 місяців;
- відносна низька вартість капіталовкладень - \$600-1000 за встановлений кіловат в межах площі ГТУ ТЕС;
- можливість автоматичного та дистанційного керування роботою ГТУ;
- автоматичне діагностування режимів роботи станції.

В якості недоліку можна відмітити необхідність додаткових витрат на спорудження газокompресорної станції. ГТУ необхідний газ тиском 2,5 МПа, а в міських мережах тиску газу становить 1,2 МПа.

Загальноприйняті методи термодинамічних досліджень і розрахунків газотурбінних установок побудовані на основі адіабатичних еталонів. Адіабатичні процеси як еталонні прийняті на тій підставі, що із всіх термодинамічних процесів вони є найближчими до реальних процесів, а розрахункові співвідношення при цьому виходять найпростішими.

В ГТУ, як і у всякому іншому тепловому двигуні, відбувається перетворення тепла згорілого палива в корисну механічну роботу. Для безперервного отримання роботи, робоче тіло, що стикається, виконує замкнутий круговий цикл між двома джерелами тепла – нагрівачем і холодильником.

Тиск і температура повітря після його стиснення в компресорі визначаються наступними співвідношеннями:

$$P_2 = \eta_k \cdot P_1; \quad (5.1)$$

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_k^{\frac{k_c-1}{k_c}}. \quad (5.2)$$

де  $\eta_k$  – співвідношення граничного тиску процесу;  $k$  – показник адіабати ( $k_c$  – на етапі стиснення повітря в компресорі;  $k_p$  – наприкінці розширення газу в турбіні).

Адіабатний перепад по осьовому компресору визначається як добуток середньої теплоємності на перепад температур по компресору:

$$h_{ад.к.} = C \cdot (T_2 - T_1), \quad (5.3)$$

Температура газу в кінці його розширення по турбіні визначається за наступним співвідношенням:

$$T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_2}{P_4}\right)^{\frac{k_p-1}{k_p}}}, \quad (5.4)$$

Адіабатний перепад в турбіні визначається як:

$$h_{ад.т.} = c \cdot (T_3 - T_4), \quad (5.5)$$

При цьому тепло, витрачене в камері згорання буде рівне:

$$q_{к.с.} = c \cdot (T_3 - T_2), \quad (5.6)$$

Термічний ККД циклу дорівнює:

$$\eta = \frac{h_{ад.м.} - h_{ад.к.}}{q_{к.с.}}, \quad (5.7)$$

Потужність, яка споживається не охолоджуваним осьовим компресором ГТУ визначається як:

$$N = \frac{G_{сек} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)}{\eta_k} \quad (5.8)$$

Дійсний цикл газотурбінної установки відрізняється від теоретичного перш за все наявністю внутрішніх незворотних втрат, які є наслідком наявності гідравлічних опорів на ланках ГТУ, недосконалістю перетворення енергії в осьових компресорах і газових турбінах, механічних втрат в підшипниках, неповноті згорання палива, втрат тепла в оточуюче середовище з боку зовнішнього корпусу установки, а також витоків робочого тіла через різні ущільнення.

В реальних установках, які експлуатуються на газопроводах, неминучі також допоміжні витрати енергії: на привід паливних і масляних насосів, підігрів палива, на вентилятори повітряного і масляного охолодження та ін.

## Приклади.

### Задача 1

Визначити термічний ККД ідеальної ГТУ відкритого циклу простої схеми без регенерації тепла, прийнявши температуру повітря перед осьовим компресором рівну  $T_1$  і його тиск рівним  $P_1$ . Ступінь підвищення тиску повітря в компресорі рівна  $\eta_k$ . Температуру газів перед турбіною прийняти  $T_3$ . Тиск газу на виході з турбіни  $P_4$  прийняти рівним  $P_1$ . В якості робочого тіла використовується повітря (ідеальний газ). Теплоємність газу залежно від температури в циклі визначається по відповідних таблицях. Показники адіабати  $k$  в залежності від ділянки системи прийняти: на етапі стиснення повітря в компресорі  $k_c$ ; наприкінці розширення газу в турбіні  $k_p$ .

Вихідний дані для розрахунку.

$$T_1 = 274 \text{ К}; \quad T_3 = 1057 \text{ К}; \quad P_1 = 0,97 \text{ МПа}; \quad P_4 = 0,97 \text{ МПа};$$

$$\eta_k = 8; \quad k_c = 1,4; \quad k_p = 1,35.$$

### Хід розв'язання.

Тиск і температура повітря після його стиснення в компресорі визначається за співвідношеннями (5.1) та (5.2):

$$P_2 = \eta_k \cdot P_1 = 8 \cdot 0,97 = 7,76 \text{ (МПа)}.$$

$$T_2 = T_1 \cdot \eta_k^{\frac{k_c-1}{k_c}} = 274 \cdot 8^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 496,337 \text{ (К)}.$$

Адіабатний перепад по осьовому компресору визначається як добуток середньої теплоємності (взято в довідникових даних) на перепад температур по компресору (5.3):

$$h_{ад.к} = C \cdot (T_2 - T_1) = 1,006 \cdot (496,337 - 274) = 222,337 \text{ (кДж \ кг)}.$$

Температура газу в кінці його розширення по турбіні визначається за наступним співвідношенням:

$$T_4 = \frac{T_3}{\left(\frac{P_2}{P_4}\right)^{\frac{k_p-1}{k_p}}} = \frac{1057}{\left(\frac{7,76}{0,97}\right)^{\frac{1,35-1}{1,35}}} = 616,511 \text{ (К)}.$$

Адіабатний перепад в турбіні визначається як:

$$h_{ад.т} = c \cdot (T_3 - T_4) = 1,1 \cdot (1057 - 616,511) = 484,538 \text{ (кДж \ кг)}.$$

де  $c = 1,10$  (кДж \ кг).

При цьому тепло, витрачене в камері згорання буде дорівнювати:

$$q_{к.с.} = c \cdot (T_3 - T_2) = 1,1 \cdot (1057 - 496,337) = 616,729 \text{ (кДж \ кг)}.$$

Термічний ККД циклу:

$$\eta = \frac{h_{ад.т.} - h_{ад.к.}}{q_{к.с.}} = \frac{484,538 - 222,337}{616,726} = 0,425$$

Відповідь: термічний ККД ідеальної ГТУ відкритого циклу простої схеми без регенерації тепла становить 42,5 %.

## Задача 2

Визначити потужність, яка споживається не охолоджуваним осьовим компресором газотурбінної установки при наступних початкових даних: температура повітря на вході компресора  $T_1$ , на виході компресора  $T_2$ , секундна витрата повітря через компресор складає  $G_{сек}$ . Впливом тепловіддачі через стінки компресора знехтувати. Відносний ККД компресора прийняти рівним  $\eta_k$ . Теплоємність повітря при постійному тиску  $C_p$ .

Вихідний дані для розрахунку.

$T_1 = 19\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_2 = 149\text{ }^\circ\text{C}$ ;  $G_{сек} = 52\text{ кг / с}$ ;  $C_p = 1,0\text{ кДж / (кг} \cdot \text{K)}$ ;  $\eta_k = 0,89$ .

Хід розв'язання.

Потужність, яка споживається не охолоджуваним осьовим компресором газотурбінної установки визначається як:

$$N = \frac{G_{сек} \cdot C_p \cdot (T_2 - T_1)}{\eta_k} = \frac{52 \cdot 1 \cdot (149 - 19)}{0,89} = 7595,505\text{ (кВт)}.$$

Відповідь: Потужність, яка споживається не охолоджуваним осьовим компресором газотурбінної установки становить 75,96 МВт.

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Розв'язати задачі 1 та 2, згідно з варіантом.
2. Зробити висновки.

### Варіанти завдань

ВАРІАНТ		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ПОКАЗНИКИ	Для задачі 1	$T_1, K$	200	150	333	224	304	263	375	375	605	407
		$T_3, K$	978	873	1221	1100	1210	1074	1310	1222	1502	1302
		$P_1, МПа$	0,99	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,98	0,98	0,97	0,97
		$P_4, МПа$	0,95	0,95	0,98	0,99	0,97	0,97	0,9	0,9	0,85	0,99
		$k_p$	1,4	1,45	1,44	1,46	1,47	1,4	1,41	1,42	1,43	1,48
		$k_c$	1,96	1,85	1,77	1,85	1,46	1,97	1,84	1,65	1,68	1,75
	$\eta_k$	8	9	7	6	5	8	7	9	11	12	
	Для задачі 2	$T_1, ^\circ C$	30	18	25	19	27	28	21	23	17	16
		$T_2, ^\circ C$	200	168	184	205	194	186	179	182	199	196
		$\eta_k$	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,8	0,81	0,82	0,83	0,84
$G_{сек}$		46	54	75	52	39	40	59	67	25	55	
$C_p, кДж/кг \cdot K$		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають ГТУ?
2. Що називають когенерацією?
3. Що називають тригенерацією?
4. Принцип дії ГТУ?
5. Основні показники роботи ГТУ?
6. Переваги та недоліки використання ГТУ?

### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

### ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВОДИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ГІДРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*Мета роботи:* ознайомитися з принципом роботи гідроенергетичної установки та визначити витрати води двома способами, згідно варіанту.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Для обрахунку витрат води маємо такі вихідні величини  $Q$  є обсяг води, що падає на лопать в одиницю часу,  $\rho$ — щільність води, тоді маса падаючої води дорівнює  $\rho Q$ , а енергія, що втрачається нею, дорівнює:

$$P_0 = \rho \cdot Q \cdot g \cdot H, \quad (6.1)$$

де  $g$  - прискорення сили тяжіння;  $P_0$  - зміна в одиницю часу потенційної енергії води (потужність);  $H$  - висота падіння рідини.

Метою гідроенергетичної установки є перетворення цієї енергії в механічну. На відміну від інших енергетичних установок ніякі принципові обмеження (термодинамічні чи динамічні) не заважають енергії падаючої води цілком перетворитися в механічну енергію, крім втрат на видалення води з турбіни. Можливості гідроенергії видно безпосередньо з (6.1). При заданому

місці розташування гідроелектростанції  $H$  є відома постійна величина і витрата води при заповнених водоводах практично постійна.

Оскільки реальна потужність гідротурбіни близька до теоретичного, рівняння (6.1) визначає максимальну потужність необхідного енергетичного устаткування. Місцезастосування гідроелектростанції повинне забезпечувати досить високу витрату  $Q$  і висоту  $H$ .

Звичайно для цього потрібно щоб річний рівень опадів був не менше 40 см, що випадають досить рівномірно протягом року, визначений рельєф місцевості і територія для водоймища. Якщо ці умови виконуються, гідроенергія майже напевно буде найбільш придатним джерелом електроенергії. Однак для того щоб направити воду в турбіни, необхідно виконати великий обсяг будівельних робіт (спорудження греблі, водоводів і т.п.). Вартість цих робіт часто перевищує вартість гідроенергетичного устаткування електростанції.

Нехай ми маємо водяний потік, який можна було б використовувати в гідроенергетиці. Насамперед треба хоча б грубо (з точністю близько 50%) оцінити його гідроенергетичний потенціал. Якщо отримана оцінка нас задовольняє, необхідно провести більш детальні дослідження, що включають збір даних принаймні за кілька років.

З (6.1) видно, що для оцінки теоретичної потужності  $P_0$  необхідно знати витрату потоку  $Q$  і можливу висоту його падіння  $H$ , що називається *напором*. Наприклад, при  $Q = 40$  л/с і  $H = 20$  м максимальна потужність дорівнює 8 кВт. Ця потужність цілком задовольняє потреби в енергії ряду побутових споживачів.

Вимір напору  $H$ . У потоках з великим ухилом для виміру напору  $H$  підходить метод *триангуляції*, для більш рівнинних місць використовують *нівелір* або *теодоліт* і рейки (геодезичні).

Слід відзначити, що потужність потоку, що натікає на турбіну, визначається не геометричним (чи  $H_t$  *повним*) напором, вимірним описаним вище способом, а розташовуваним  $H_a$  або робочим напором, рівним:

$$H_a = H_t - H_f, \quad (6.2)$$

де  $H_f$  — втрати напору на тертя в каналах і водоводах на шляху до турбіни.

При раціональному виборі водоводів можна домогтися, щоб  $H_f \leq H_t / 3$ .  $H_f$  пропорційно довжині водоводу, тому найкраще, щоб він був стрімким.

Вимір витрати води  $Q$ . Потік води, що надходить на турбіни, як правило, менше витрати ріки, що у свою чергу не однаковий у періоди посухи і паводка. Для енергетики важлива мінімальна витрата ріки (у сухий сезон), для того щоб розраховані по ньому турбіни працювали цілий рік у нормальному режимі. Необхідно знати також і максимальну витрату (у період паводка), для того щоб уникнути ушкоджень гідроелектростанції.

Методи виміру витрати  $Q$  набагато складніше методів виміру напору  $H$  і залежать від величини і швидкості розглянутого потоку:



$$\begin{aligned} \text{витрата } Q &= (\text{обсяг води, що пройшов за час } \Delta t / \Delta t) = \\ &= (\text{середня швидкість } \bar{u} \times (\text{поперечний переріз } A) = \int u_n dA, \end{aligned} \quad (6.3)$$

де  $n$  – одинична нормаль елементарної площадки  $dA$ .

Методи виміру витрати, в основі яких лежать дані рівняння, назвемо відповідно основним, модифікованим і розрахунковим. Відомо також, що якщо поперек потоку розташувати поріг або водозлив, то рівень води в цьому місці буде залежати від її витрати. На цьому заснований ще один метод визначення витрати.

*Основний метод* (рис. 6.1, а). Весь потік перекривається дамбою або направляється в який-небудь резервуар. В обох випадках можна визначити витрату, знаючи наповнений обсяг і час його наповнення. Цей метод точний, не вимагає ніякої інформації про параметри потоку і найбільш придатний для малих потоків, особливо для невеликих водоспадів.

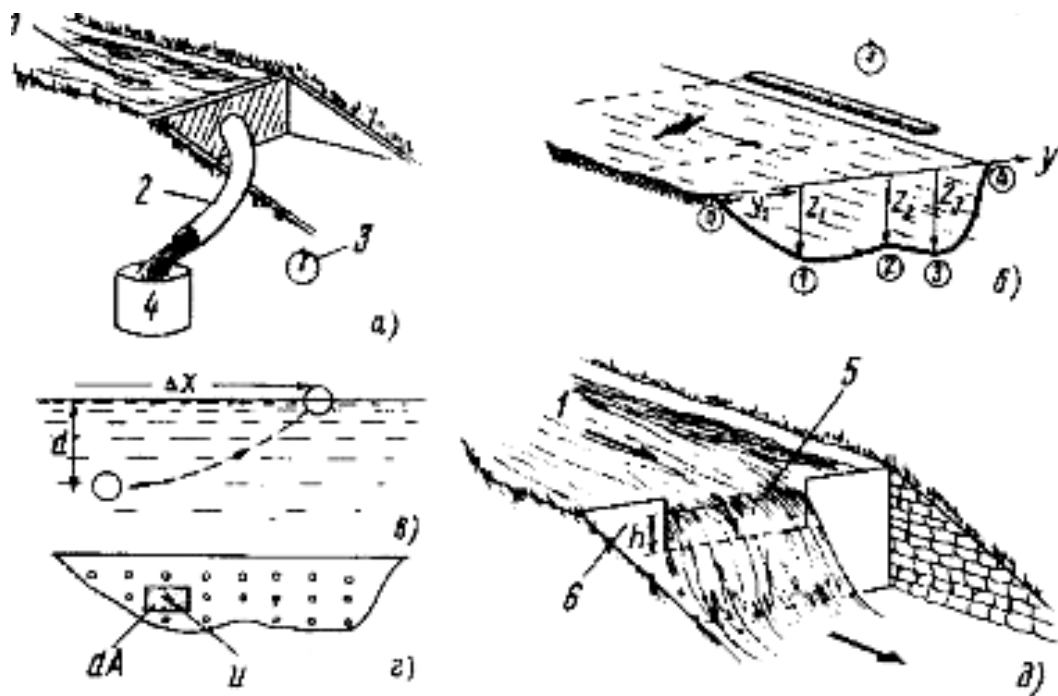
*Модифікований метод I* (рис. 6.1, б). У рівняння (6.3) входить середня швидкість потоку  $\bar{u}$ . Тому що на дні річки швидкість потоку через тертя дорівнює нулю, значення  $\bar{u}$  буде трохи менше швидкості потоку на поверхні  $u_s$ . Наприклад, для прямокутного поперечного перерізу русла ріки  $\bar{u} \approx 0,8 \cdot u_s$ , а швидкість  $u_s$  неважко визначити за переміщенням предмета, що знаходиться на поверхні води. Для одержання найбільш точного результату, швидкість  $u_s$  визначати слід, на прямолінійній ділянці русла і постійному його перерізі. Площу поперечного перерізу  $A$  можна обчислити, вимірявши глибину потоку в декількох точках перерізу і просумувати площі складових його трикутників і трапецій (рис. 6.1, б), а саме:

$$A \approx \frac{y_1 z_1 + (y_2 - y_1)(z_1 + z_2) + (y_3 - y_2)(z_2 + z_3) + (y_3 - y_4)z_3}{2}, \quad (6.4)$$

*Модифікований метод II* (рис. 6.1, в). Цей метод визначення швидкості потоку не вимагає вимірів часу і придатний для швидких потоків. Метод полягає в тому, що плавучий предмет (наприклад, тенісний м'яч) занурюють на визначену глибину і потім опускають. Час його впливання на поверхню з заданої глибини не залежить від швидкості горизонтального переміщення і може бути визначене в лабораторних умовах. Вимірюючи горизонтальне переміщення предмета до моменту впливання на поверхню і знаючи час впливання на поверхню, визначаємо швидкість потоку. Неважко помітити, що цим способом ми визначаємо середню швидкість (точніше, середню по глибині, а не перетину, але це розходження невелике).

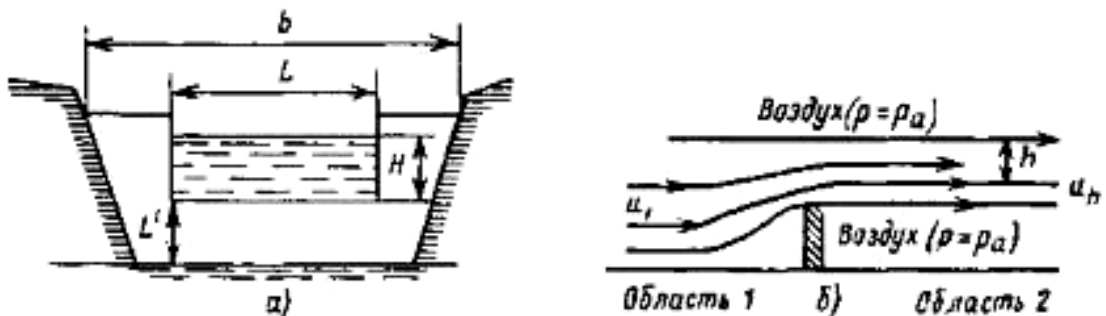
*Розрахунковий метод* (рис. 6.1, г). Цей метод найбільш точний і використовується професійними гідрологами на великих ріках. У ньому поперечний переріз потоку розбивається на велику кількість осередків площею  $dA$  й у кожному вимірюється швидкість  $u_i$ . Інтеграл (6.3), що визначає

витрату, заміняється сумою величин  $u_i \cdot dA$  у всіх осередках.



**Рис. 6.1. Методи виміру витрати:**  
**основний метод ( а ); модифікований метод I ( б ); модифікований метод II ( в );**  
**розрахунковий метод ( г ); водозливний метод ( д );**  
**1 – потік; 2 – відвідна труба; 3 – секундомір; 4 – ємність; 5 – виріз; 6 – водозлив**

*Водозливний метод* (рис. 6.1, д). Якщо необхідні систематичні виміри витрати потоку протягом, наприклад, року, можна побудувати дамбу з вирізом визначеної форми. Така дамба називається *тонким водозливом*. Висота потоку води в площині вирізу пропорційна витраті. Для визначення величини витрати в лабораторних умовах проводиться тарировка моделі такого водозливу, і результати тарувальних вимірів поміщають у довідковий посібник.



**Рис. 6.2. Тонкий водозлив: вид спереду ( а ), вид збоку ( б )**  
**(стрілками показані лінії струму ідеалізованого потоку,  $u_h$  швидкість води за водозливом на глибині, де  $p = p_h$ ).**

В лабораторній роботі необхідно за допомогою модуля «*experiment*», використовуючи перший та другий модифікований методи провести експериментальне дослідження та визначити витрати води. Зовнішній вигляд головного вікна модуля «*experiment*» наведено на рис. 6.3.

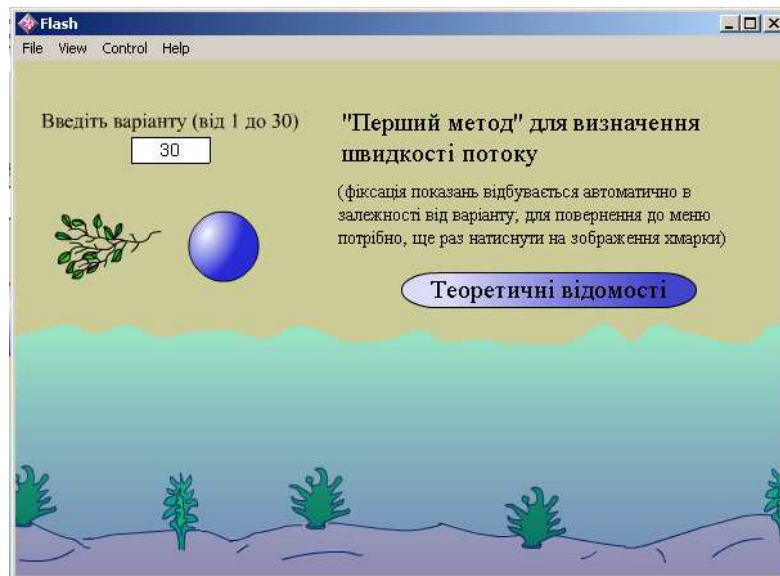


Рис. 6.3. Зовнішній вигляд головного вікна модуля «*experiment*»

Для того щоб провести експериментальне дослідження необхідно спочатку ввести свій варіант, а потім обрати той чи інший метод. Наприклад, результати визначення швидкості потоку за допомогою першого методу наведені на рис. 6.4.

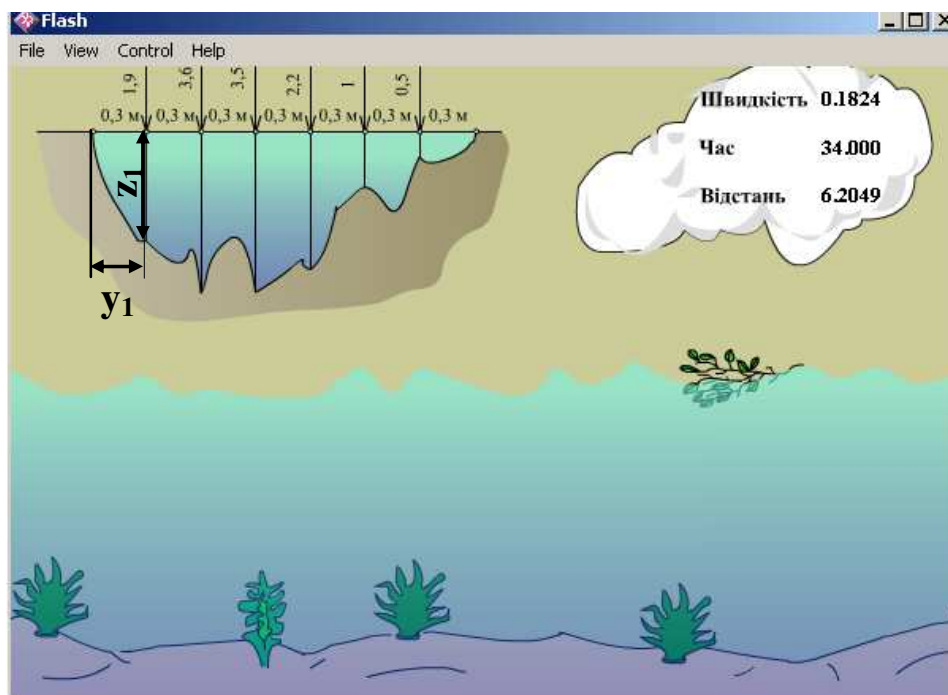


Рис. 6.4. Результати визначення швидкості потоку води першим методом

Використовуючи отримані значення та скориставшись виразами (6.4) та (6.3) визначають витрату води.

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Визначити за допомогою модуля «*experiment*» швидкість потоку води (використовуючи перший та другий методи), згідно варіанту.
2. Побудувати графіки. За допомогою отриманих значень та графіка визначити витрату води для першого та другого методів.
3. Зробити висновки.

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають гідроенергетичною установкою і для чого вона призначена?
2. Яким чином визначають місцерозташування гідроелектростанції?
3. Яким чином визначають вимір напору води?
4. Які існують методи для виміру витрат води?
5. Назвіть переваги та недоліки кожного з методів?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Результати виконання завдання.
6. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7

### ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ СОНЯЧНИХ КОЛЕКТОРІВ ТА СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ

*Мета роботи:* дослідити пасивні та активні сонячні системи для отримання тепла. Визначити основні параметри сонячного колектора. Вивчити основні принципи отримання електричної енергії за допомогою сонячних батарей та виконати розрахунок їх основних параметрів.

## ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Системи сонячного теплопостачання бувають: *пасивні* та *активні*. Кожна з цих систем може мати природну або примусову циркуляцію нагріваючої речовини, бути з акумулятором або без акумулятора теплової енергії.

Термін «**пасивні**» означає, що сонячна енергія акумулюється безпосередньо в кімнаті, на стінах, біля вікон, навіть якщо є вентиляція.

Термін «**активні**» означає, що тепло нагромаджується в нагрівачах, які розташовані за межами опалювальних приміщень.

### Пасивні сонячні нагрівні системи.

Суть побудови пасивної нагрівної сонячної системи полягає у виборі нагромаджувального майданчика з масою  $m$ , площею  $F$ , поверхнею до потоку сонячного випромінювання (СВ)  $E$  і з високим опором  $R_T$  тепловим втратам, з метою отримати оптимальну кількість сонячного тепла для даної конструкції. Для здійснення цього потрібно виконати такі дії:

1) виконати якісно ізоляцію будинку (з високим  $R_T$ ), з мінімізацією протягів і регенерацією тепла від вентиляцій; зменшити втрати тепла вночі (штори, віконця, захисні ролети тощо);

2) за рахунок конструкції будинку (розташування вікон) отримати максимальний сонячний потік, тобто максимальний добуток  $E \cdot F$ ;

3) для вертикальних стін, на які падає частина СВ, варто забезпечити коефіцієнт  $\alpha > 0.8$ , як для чорної поверхні.

Такий будинок повинен мати масивні стіни, що обмежить коливання комфортної температури  $T_{кф}$ . **Комфортна температура будинку** залежить від вмісту вологості, потоку СВ, швидкості переміщення повітря та товщини одягу людини.

Приклад сонячної опалювальної системи будинку з раціональною акумуляцією СВ, наведений на рис. 7.1.

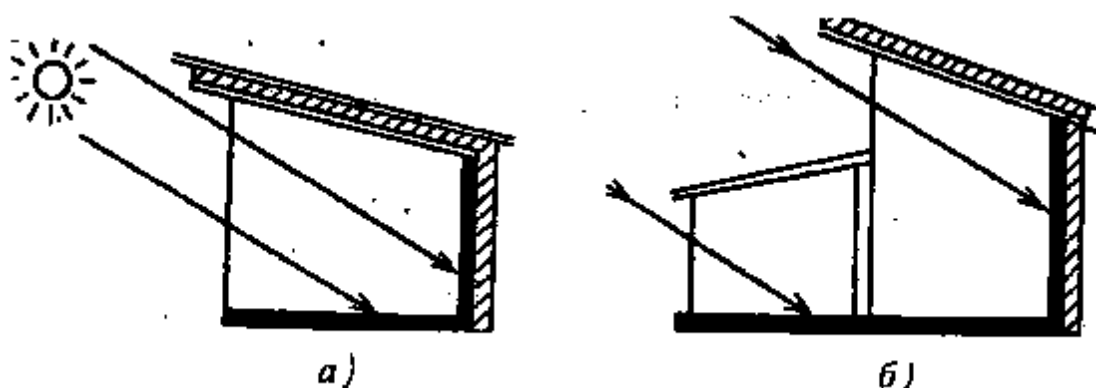


Рис. 7.1. Пасивна нагрівна система:

- а) схема прямого нагрівання масивної чорної поверхні з посиленою теплоізоляцією;
- б) нагрівання задньої стінки будинку через додаткове верхнє вікно.

*Конструктивно акумулятивна стіна* – це бетонна плита товщиною до 30 см, із зовнішнім скляним покриттям і двома щілинами (зверху і знизу), яка

ставиться з сонячної сторони. Нагріте повітря циркулює взимку, як показано на рис. 7.2.

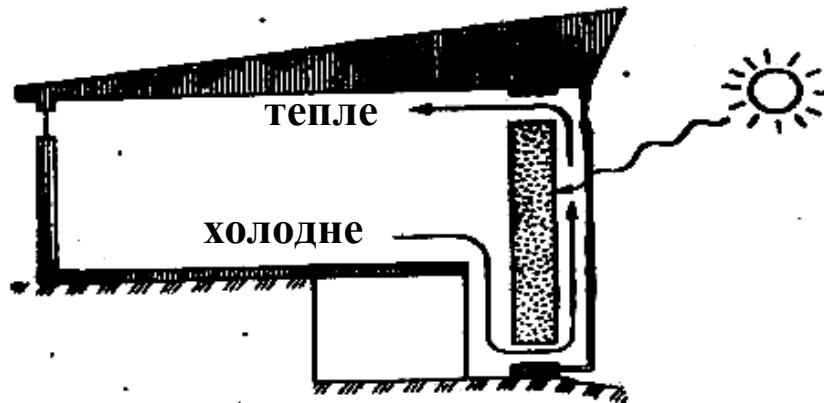


Рис. 7.2. Принцип дії акумулятивної стіни будинку з сонячним опалюванням

У пасивних системах теплопостачання (ПСТП) СВ сприймають конструкції будівлі, найчастіше стіни (рис. 7.3).

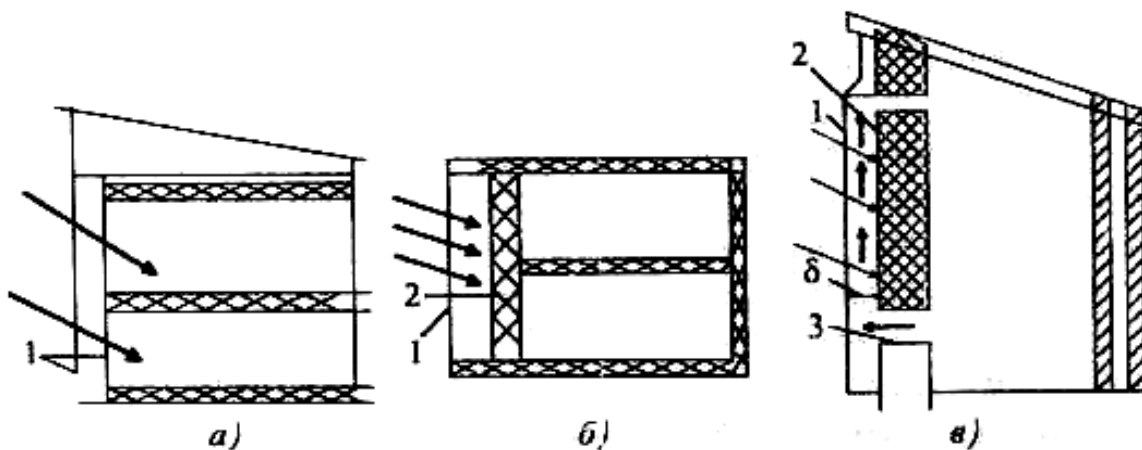


Рис. 7.3. Схема будинку з відкритою ізоляцією і закритою системами теплопостачання:

а) відкрита система; б) закрита система (1 – скло, 2 – поверхня для нагромадження тепла); в) закрита система (1 – скло, 2 – поверхня для нагромадження тепла; 3 – канал).

В процесі розроблення конструкції ПСТП необхідно правильно вибрати віддаль  $\delta$  між сприймаючим екраном (стілкою) 2 і склом (плівкою) 1. Для цього використовують наступні емпіричні залежності:

- у випадку ламінарного (контрольований потік повітря, який переміщує повний обсяг повітря в межах певного простору з однаковою швидкістю в одному напрямку вздовж паралельних ліній потоку) руху повітря в каналі 3:

$$\delta = \frac{2H}{Nu}, \quad (7.1)$$

де  $H$  – висота стіни; критерій Нульсета  $Nu = 0.378(Gr)^{0.25}$ ; критерій Грасгофа

$Gr = \frac{(\Delta t \cdot g \cdot H^3 \cdot \beta)}{\nu^2}$ ;  $\Delta t$  – різниця температур стінки і повітря;  $g = 9,81 \text{ м / с}^2$ ;  $\beta$  – коефіцієнт розширення повітря, дорівнює  $\frac{1}{t_{нов.} + 273}$ ;  $\nu$  – кінематична в'язкість (з табл. 7.1).

- у випадку турбулентного руху повітря:

$$\delta = H \left[ 0,96 \cdot Ra^{-\frac{1}{6}} \right] \cdot \left( \frac{Pr^{\frac{2}{3}}}{2,14 + Pr^{\frac{2}{3}}} \right)^{\frac{1}{6}} \cdot Pr^{\frac{1}{6}}, \quad (7.2)$$

де  $Ra = Gr \cdot Pr$ ;  $Pr$  – критерій Прандтля (з табл. 7.1).

**Таблиця 7.1. Фізичні параметри сухого повітря для тиску 760 мм. рт. ст.**

T, К	t, °C	$\rho$ , кг / м <sup>3</sup>	$C_p$ , кДж / (кг · К)	$\lambda \cdot 10^{-2}$ , Вт / (м · К)	$\alpha \cdot 10^{-5}$ , м <sup>2</sup> / с	$\mu \cdot 10^{-6}$	$\nu \cdot 10^{-6}$ , м <sup>2</sup> / с	$Pr$
253	-20	1,395	1,009	2,28	1,620	16,19	12,79	0,716
263	-10	1,342	1,009	2,36	1,745	16,68	12,43	0,712
273	0	1,293	1,005	2,44	1,881	17,17	13,28	0,707
283	10	1,247	1,005	2,51	2,006	17,66	14,16	0,705
293	20	1,205	1,005	2,59	2,142	18,15	15,06	0,703
303	30	1,165	1,005	2,67	2,286	18,64	16,00	0,701
313	40	1,128	1,005	2,76	2,431	19,13	16,96	0,699
323	50	1,093	1,005	2,83	2,572	19,62	17,95	0,698
333	60	1,060	1,005	2,90	2,720	20,11	18,97	0,696
343	70	1,029	1,009	2,97	2,856	20,60	20,02	0,694
353	80	1,000	1,009	3,05	2,920	21,09	21,09	0,692
363	90	0,972	1,009	3,13	2,989	21,48	22,10	0,690
373	100	0,946	1,009	3,21	3,364	21,88	23,13	0,688

Висота поверхні, котра сприймає тепло, сильно впливає на питому масову витрату нагрітого повітря. Визначають її з умови:

$$\frac{\alpha_F \cdot F_x}{m \cdot C_p} \geq 4, \quad (7.3)$$

де  $\alpha_F = 3,5-4 \text{ Вт / (м}^2 \cdot \text{К)}$  – коефіцієнт тепловіддачі між поверхнею стінки і повітрям;  $F_x$  – площа поверхні, яка сприймає тепло, м<sup>2</sup>;  $C_p$  – теплоємність повітря, Дж / (кг · К);  $m$  – масова витрата повітря з 1 метра ширини нагрітої поверхні, визначають її так:

$$m = W \cdot \rho \cdot 4\delta, \quad (7.4)$$

де  $\rho$  – густина повітря, кг / м<sup>3</sup>;  $W$  – швидкість руху повітря в прошарку, визначається зі співвідношення:

$$W = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,8 \cdot H(\rho_{вх} - \rho_{вих})}{\sum \xi \cdot \rho}}, \quad (7.5)$$

де  $\sum \xi = 0,8 - 0,9$  - сума кінцевих опорів руху повітря;  $\rho$ ,  $\rho_{вх}$ ,  $\rho_{вих}$  – густина повітря середня, на вході та виході, відповідно.

### **Активні сонячні нагрівні системи.**

До них відносяться зовнішні нагрівачі води або повітря. Основним елементом в активних системах сонячного теплопостачання (АССТП) є колектор. Колектори поділяються на дві категорії:

- з концентрацією СВ (фокусуєчи);
- без концентрації СВ («гаряча скринька»).

Розрахунок системи починають з визначення площі ( $m_2$ ) поверхні сонячного колектора (СК) за співвідношенням:

$$F = \frac{0,287 \cdot G_T \cdot C_B(t_T - t_x)}{\eta \sum_{i=1}^n Ei}, \quad (7.6)$$

де  $G_T$  – добова витрата гарячої води, кг / добу;  $t_T$ ,  $t_x$  – температури гарячої та холодної води, відповідно, °С;  $Ei$  – інтенсивність СВ, яке надходить на площину колектора, Вт / м<sup>2</sup>;  $C_B = 4190$  Дж / (кг·К) – теплоємність води;  $\eta$  – ККД установки сонячного теплопостачання:

$$\eta = 0,8 \cdot \left\{ \theta - \frac{8 \cdot \xi [0,5(t_1 + t_2) - t_c]}{\sum Ei} \right\}, \quad (7.7)$$

де  $\theta_{np}$  – приведена оптична характеристика колектора прямої радіації (для СК з одним шаром скла  $\theta_{np} = 0,73$ , для двох шарів  $\theta_{np} = 0,63$ );  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_c$  – температури на вході і виході з колектора та середня температура навколишнього повітря, відповідно, °С;  $\xi$  – приведений коефіцієнт теплових втрат СК, Вт / (м<sup>2</sup>·К).

Для дво- і три контурних установок приймають значення  $t_1 = t_x + 5$  °С,  $t_2 = t_T$ . Для СК з одним шаром скла  $\xi = 8$  Вт / (м<sup>2</sup>·К), для двох шарів  $\xi = 5$  Вт / (м<sup>2</sup>·К).

Об'єм акумулятора теплоти:

$$V = (0,06 \dots 0,08) F, \quad (7.8)$$

Річна частка сонячної енергії в покритті теплового навантаження:

$$f_{pич} = \frac{Ei}{Q_{к}^{pич}}, \quad f_{pич} = 0 \dots 1, \quad (7.9)$$



Теплова потужність СК:

$$Q_k = F[Ei \cdot \eta - K_{ВТР} \cdot (t_1 - t_{H.C.})] = G_{\Gamma} \cdot C_B \cdot (t_2 - t_1), \quad (7.10)$$

де  $t_{H.C.}$  – температура навколишнього середовища;  $K_{ВТР}$  – коефіцієнт теплових втрат, Вт / (м<sup>2</sup>·К) (визначають з довідникових даних).

## Приклади.

### Задача 1

Для пасивної системи опалення будинку визначити віддаль між екраном та поверхнею (стілкою), котра сприймає тепло. Висота поверхні  $H$  (м), середні значення температури стінки і повітря відповідно дорівнюють  $t_{cm}$ ,  $t_{нов}$  (°С).

*Розв'язання.*

Задачу розв'язуємо з такими значеннями:

$$H = 2 \text{ м}; t_{cm} = 40 \text{ °С}; t_{нов} = 20 \text{ °С}.$$

Віддаль між стінкою і екраном визначаємо за співвідношенням (7.1):

$$Nu = 0,378(Gr)^{0.25}$$

Критерій Грасгофа:

$$Gr = \frac{9,81 \cdot \beta \cdot \Delta t \cdot H^3}{\nu^2}$$

Для  $t_{нов} = 20 \text{ °С}$  виписуємо з табл. 7.1 значення  $\nu = 15,06 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{с}$ .

$$\beta = \frac{1}{t_{нов} + 273} = \frac{1}{20 + 273} = 0,00335 \text{ К}^{-1}; \quad Gr = \frac{9,81 \cdot 0,00335 \cdot 20 \cdot 2^3}{(15,06 \cdot 10^{-6})^2} = 23,18 \cdot 10^9;$$

$$Nu = 0,378(23,18 \cdot 10^9)^{0.25} = 147,49; \quad \delta = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^3}{147,49} = 27,12 \text{ мм}.$$

### Задача 2

Визначити площу поверхні СК для добового забезпечення гарячою водою  $G$  з температурою  $t_{\Gamma}$ , а також об'єм теплового акумулятора. Температура холодної води  $10 \text{ °С}$ .

*Розв'язання.*

Приймаємо  $G = 40 \text{ кг / год}$ ;  $t_{\Gamma} = 40 \text{ °С}$ .

Загальну кількість теплової енергії, яка надходить щоденно на горизонтальну поверхню визначаємо з табл.7.2. Для північної широти  $\varphi = 48 \text{ °}$ , в

квітні місяці маємо:

$$E = 15,21 \text{ МДж} / \text{м}^2; \quad E_p = 8,18 \text{ МДж} / \text{м}^2; \quad t_c = 9 \text{ }^\circ\text{C}.$$

**Таблиця 7.2. Щоденне надходження сумарної  $E$ , розсіяної  $E_p$  сонячної енергії (МДж / м<sup>2</sup>) та температури повітря (°С) у відповідному місяці року для місцевості північної широти**

Показник	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Північна широта 47°</b>												
$E$	4,05	6,26	10,8	15,84	20,25	23,07	23,62	20,11	14,73	9,18	4,03	2,7
$E_p$	2,56	3,87	5,8	8,48	9,18	10	9,04	7,83	5,98	4,32	2,36	1,8
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-4,5	-2,6	2,5	9,3	15,6	19,2	21,4	20,5	15,7	10	3,9	-1
<b>Північна широта 48°</b>												
$E$	3,75	5,92	10,49	15,21	19,73	22,54	22,83	19,21	14,06	8,43	3,68	2,5
$E_p$	2,48	3,75	5,7	8,18	9,18	10	9,22	7,8	5,94	4,28	2,27	1,75
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-4,5	-2,4	2,2	9,0	15,5	19	21	20	15,6	9,9	3,8	-1
<b>Північна широта 49°</b>												
$E$	3,45	5,87	10,12	14,52	19,21	22,22	21,41	18,24	13,29	7,81	3,31	2,33
$E_p$	2,38	3,61	5,61	7,82	9,18	10	9,35	7,74	5,9	4,15	2,18	1,7
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-5,5	-3,69	2,25	9,2	15,3	18,9	20,9	19,8	15,5	9,9	3,7	-0,8
<b>Північна широта 50°</b>												
$E$	3,1	5,36	9,72	13,9	18,76	21,82	2,52	17,28	12,65	7,29	2,92	2,16
$E_p$	2,29	3,43	5,53	7,51	9,18	10	9,45	7,69	5,84	3,91	2,08	1,62
$t, \text{ }^\circ\text{C}$	-6,1	-5,6	-0,7	7,2	14,3	17,6	18,8	17,7	13,7	7,2	1	-3,7

Перераховуємо в тепловий потік за співвідношенням  $1 \text{ кВт} = 3,6 \text{ кДж}$ .  
Маємо:

$$E = 15,21 / 3,6 = 4,225 \text{ кВт} / \text{м}^2; \quad E_p = 8,18 / 3,6 = 2,272 \text{ кВт} / \text{м}^2;$$

$$E_i = 0,96(K_{np} \cdot E_{np} \cdot \theta_{np} + K_p \cdot E_p \cdot \theta_p),$$

де  $K_{np}$ ,  $K_p$  – коефіцієнт прямої та розсіяної радіації (табл. 7.3) в залежності від осі кута колектора;  $\theta_p$  – приведена оптична характеристика колектора для розсіяної радіації: (для СК з одним шаром скла дорівнює 0,64 з двома шарами 0,42).

Вибираємо орієнтацію СК на північ з кутом нахилу  $30^\circ$ , маємо:

$$E_i = 0,96(1,21 \cdot 4,225 \cdot 0,73 + 0,67 \cdot 2,272 \cdot 0,64) = 4,518 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

За формулою (7.7) визначаємо:

$$\eta = 0,8 \left\{ 0,73 - \frac{8 \cdot 8 \cdot [0,5(15 + 40) - 9]}{4,518 \cdot 10^3} \right\} = 0,374.$$

Площа поверхні СК:

$$F = 0,287 \cdot \frac{[40 \cdot 4,190 \cdot (40 - 10)]}{(0,374 \cdot 4518)} = 0,854 \text{ м}^2$$

Об'єм теплового акумулятора:

$$V = 0,07 \cdot F = 0,06 \text{ м}^3.$$

**Таблиця 7.3. Середньомісячні значення  $K_{np}$  для сонячних колекторів південної орієнтації з різними кутами їх нахилу до горизонту**

Кут нахилу колектора $\beta, ^\circ$	Місяці року											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Північна широта 47°</b>												
<b>30</b>	2,14	1,71	1,42	1,19	1,07	1,02	1,04	1,13	1,3	1,56	1,86	2,31
<b>45</b>	2,86	1,99	1,49	1,17	1	0,92	0,95	1,08	1,33	1,74	2,27	3,27
<b>60</b>	3,13	2,07	1,45	1,09	0,89	0,80	0,84	0,99	1,26	1,76	2,66	3,64
<b>Північна широта 48°</b>												
<b>30</b>	2,21	1,72	1,49	1,21	1,08	1,05	1,06	1,15	1,32	1,59	1,86	2,34
<b>45</b>	2,95	2,05	1,53	1,19	1,07	0,95	0,99	1,11	1,38	1,78	2,27	3,29
<b>60</b>	3,19	2,11	1,49	1,12	0,93	0,86	0,88	1,05	1,31	1,8	2,71	3,67
<b>Північна широта 49°</b>												
<b>30</b>	2,25	1,76	1,52	1,26	1,09	1,07	1,08	1,17	1,35	1,61	1,88	2,35
<b>45</b>	3	2,09	1,57	1,22	1,11	0,99	1,03	1,14	1,4	1,72	2,28	3,32
<b>60</b>	3,2	2,13	1,51	1,15	0,95	0,88	0,91	1,07	1,34	1,83	2,73	3,69
<b>Північна широта 50°</b>												
<b>35</b>	2,29	1,81	1,55	1,29	1,11	1,09	1,1	1,2	1,38	1,65	1,9	2,38

### Сонячні електричні системи.

Метод прямого перетворення сонячного випромінювання в електрику є, по-перше, найбільш зручним для споживача, оскільки отримується найбільш вживаний вид енергії, і, по-друге, такий метод вважається екологічно чистим засобом одержання електроенергії на відміну від інших, які використовують органічне паливо, ядерну сировину чи гідроресурси.

Основою напівпровідникового сонячного елемента є пластина напівпровідника з  $p - n$  переходом. Його робота заснована на явищі фотоефекту, відкритому ще в позаминулому столітті Г.Герцем та дослідженому О.Г.Столетовим. Теорію фотоефекту створив А.Ейнштейн у 1905 році, за що був відзначений Нобелівською премією. Суть ефекту полягає в тому, що кванти сонячного світла з енергією, більшою ніж ширина забороненої зони напівпровідника, поглинаються в напівпровіднику і створюють пари носіїв струму: *електрони* в зоні провідності та *дірки* у валентній зоні. Для

просторового розведення зарядів, а значить і виникнення електричного струму, необхідна наявність внутрішнього електричного поля у напівпровіднику. Таке поле існує в електронно - дірковому  $p-n$  переході, в контакті метал - напівпровідник, в контакті двох різних напівпровідників (гетеропереході).

На рис. 7.4 схематично показано сонячний елемент з  $p-n$  переходом та напрям руху фотогенерованих носіїв заряду.

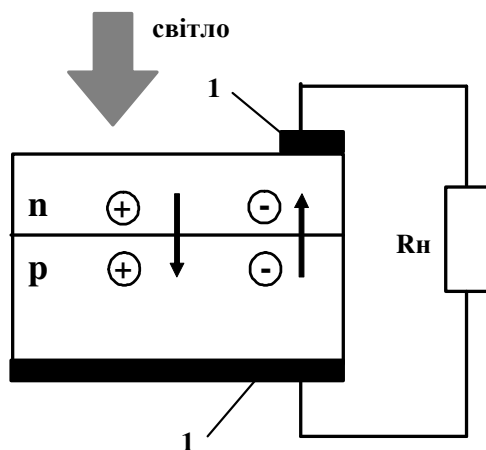


Рис. 7.4. Сонячний елемент з  $p-n$  переходом

Фотогенеровані в  $p$ -області електрони витягуються електричним полем в  $n$ -область, і, навпаки, фотогенеровані в  $n$ -області дірки витягуються електричним полем в  $p$ -область. На омичних контактах виникає різниця потенціалів, яка називається *напругою холостого ходу*  $U_{xx}$ . Якщо замкрити контакти, то через сонячний елемент потече струм короткого замикання  $I_{кз}$ . Для того, щоб елемент віддавав енергію в зовнішнє коло, до його контактів під'єднують навантаження, яке має електричний опір  $R_n$ . Тобто, сонячний елемент виконує роль помпи, яка перекачує електрони в напрямку  $n$ -область - зовнішнє навантаження -  $p$ -область.

Оскільки вольт-амперна характеристика такого приладу проходить через четвертий квадрант (рис. 7.5), то це значить, що прилад є джерелом струму. Слід відзначити, що на відміну від хімічних джерел світла напівпровідникові сонячні елементи не псуються при електричному замиканні контактів. При відповідному виборі опору навантаження енергія, що виробляється сонячним елементом, може досягати 80% від добутку  $U_{xx} \cdot I_{кз}$ .

На рис. 7.5 показані також значення  $U_m$  та  $I_m$  – значення струму та напруги, для яких реалізується максимальна вихідна потужність  $P_m = U_m \cdot I_m$ . Коефіцієнт корисної дії ККД сонячного елемента визначається як відношення максимальної вихідної потужності  $P_m$  до потужності падаючого сонячного світла  $P_0$ :  $ККД = P_m / P_0$ .

Чим більше фотонів сонячного світла поглинається сонячним елементом, тим більшим буде у нього струм  $I_{кз}$ . Це може бути досягнуто за рахунок використання напівпровідників з меншою шириною забороненої зони (тоді підвищується доля фотонів в сонячному випромінюванні, які мають енергію вищу ширини забороненої зони напівпровідника). З іншого боку, напруга  $U_{xx}$

визначаються висотою потенціального бар'єру в  $p-n$  переході і буде тим більша, чим більша ширина забороненої зони напівпровідника.

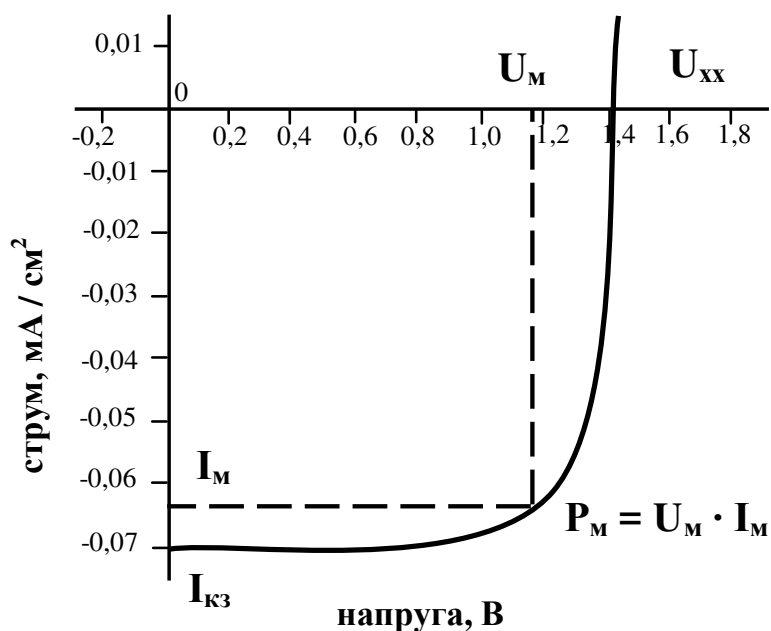


Рис. 7.5. Вольт-амперна характеристика сонячного елемента

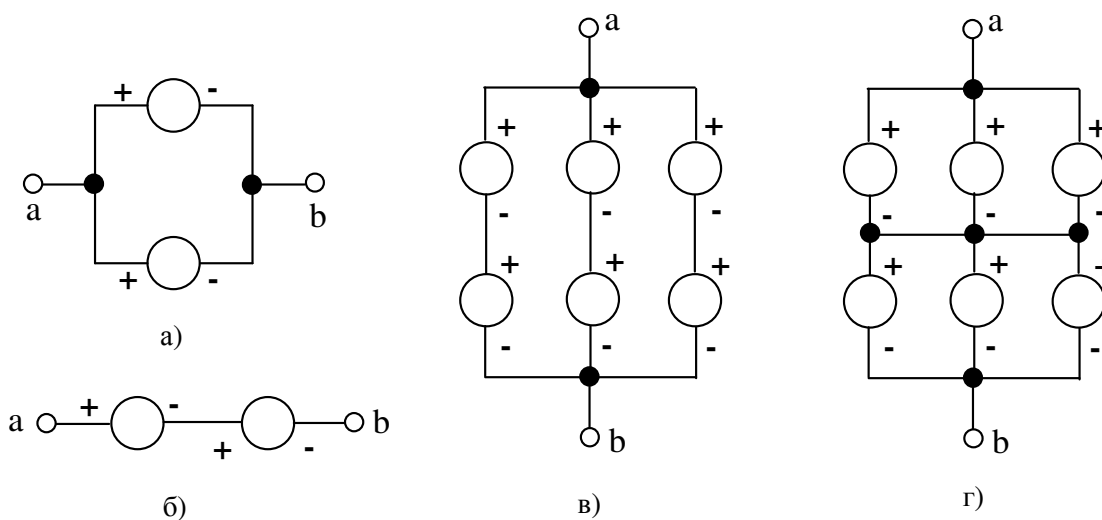
Оскільки для отримання максимальної вихідної потужності сонячного елемента треба створити такий елемент, у якого будуть найбільшими не величини  $U_{хх}$  чи  $I_{кз}$  окремо, а добуток  $P_m = U_m \cdot I_m$ , та, враховуючи розподіл енергії в спектрі сонячного випромінювання, можна підібрати найкращий напівпровідниковий матеріал для створення ефективних сонячних елементів. Такий матеріал повинен мати ширину забороненої зони 1,3-1,5 еВ. Це, насамперед, арсенід галію, теоретична межа максимального коефіцієнту корисної дії сонячних елементів на ньому більше 31%. Проте найбільш широкого застосування набули сонячні елементи на основі більш дешевого ніж арсенід галію кремнію, хоча в нього ширина забороненої зони менша оптимальної (1,1 еВ), і тому теоретична межа максимального ККД менша (до 29%).

Домінуюча позиція кремнієвої технології у промисловій сонячній енергетиці (90% світового виробництва сонячних елементів) визначає сучасні тенденції науково-технічного розвитку цієї галузі. Перевагами кремнієвої технології є достатня наявність кремнію у природі, його хімічна стабільність і відсутність будь-якого токсичного впливу на людей і навколишнє середовище, сумісність технології кремнієвих сонячних елементів і базових процесів мікроелектроніки.

Чому ж ефективність сонячних елементів менша 100%? По-перше, не всі пари носіїв струму можуть бути розведені полем. Деякі з них можуть рекомбінувати (гинути) в результаті переходу збудженого електрона із зони провідності у валентну зону. По-друге, кванти світла з енергією меншою

ширини забороненої зони, не поглинаються напівпровідником і не беруть участі у фотоелектричному процесі. По-третє, електрони і дірки, збуджені квантами світла з енергією, значно більшою ніж ширина забороненої зони, за дуже короткий час віддають надлишок енергії і опускаються до дна зони провідності (електрони) чи піднімаються до вершини валентної зони (дірки). Надлишкова енергія при цьому йде не на створення струму в зовнішньому колі, а на підвищення температури напівпровідника.

**Потужність сонячної батареї (СБ)** складається з вихідних потужностей окремих сонячних елементів (СЕ). Вихідний струм СЕ в батареї визначається кількістю елементів, які з'єднані паралельно, а вихідна напруга – кількістю елементів, з'єднаних послідовно. На рис. 7.6 наведені приклади послідовного та паралельного з'єднання СЕ.



**Рис. 7.6. Паралельне та послідовне з'єднання сонячних елементів:**  
 а) паралельне з'єднання двох елементів; б) послідовне з'єднання двох елементів; в) паралельне з'єднання трьох ланцюгів (кожний ланцюг складається з двох послідовно з'єднаних елементів); г) послідовне з'єднання двох груп елементів (кожна група складається з трьох паралельно з'єднаних елементів)

Введемо наступні позначення:

$V_e$  – вихідна напруга СЕ;

$I_e$  – максимальний вихідний струм СЕ;

$P_e$  – максимальна вихідна потужність СЕ;

$V_{\delta}$  – вихідна напруга СБ;

$I_{\delta}$  – максимальний вихідний струм СБ;

$P_{\delta}$  – максимальна вихідна потужність СБ;

$N_{np}$  – кількість паралельно з'єднаних елементів;

$N_{nc}$  – кількість послідовно з'єднаних елементів;

$N_{ce}$  – загальна кількість СЕ в батареї.

Запишемо наступні співвідношення:

$$V_{\bar{o}} = N_{nc} \cdot V_e; \quad I_{\bar{o}} = N_{np} \cdot I_e; \quad N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc};$$

$$P_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}}; \quad P_e = V_e \cdot I_e; \quad P_{\bar{o}} = N_{ce} \cdot P_e$$

### Приклади.

#### Задача 3

Маємо СЕ, максимальний вихідний струм кожного з яких дорівнює 0,5 А при напрузі 0,4 В. Припустимо, що з цих елементів побудовано СБ, причому 100 елементів з'єднані паралельно та 300 елементів – послідовно. Визначити потужність СБ.

*Розв'язання.*

Батарея в цьому випадку буде мати наступні вихідні параметри:

$$I_{\bar{o}} = 0,5 \cdot 100 = 50 \text{ A},$$

при

$$V_{\bar{o}} = 0,4 \cdot 300 = 120 \text{ B}.$$

Потужність батареї:

$$P_{\bar{o}} = 50 \cdot 120 = 6000 \text{ Вт}.$$

Для перевірки обчислимо потужність іншим способом.

Потужність одного елемента  $P_e = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2$  Вт, а всієї батареї  $P_{\bar{o}} = 0,2 \cdot 100 \cdot 300 = 6000$  Вт.

Запишемо даний приклад в алгебраїчній формі.

Дано:  $V_e = 0,4 \text{ B}; I_e = 0,5 \text{ A}; N_{nc} = 300; N_{np} = 100.$

Знайти:  $V_{\bar{o}}, I_{\bar{o}},$  та  $P_{\bar{o}}.$

Згідно наведених вище співвідношень, маємо:

$$V_{\bar{o}} = N_{nc} \cdot V_e = 300 \cdot 0,4 = 120 \text{ B}; I_{\bar{o}} = N_{np} \cdot I_e = 100 \cdot 0,5 = 50 \text{ A};$$

$$P_{\bar{o}} = N_{ce} \cdot P_e = N_{nc} \cdot N_{np} \cdot I_e \cdot V_e = 300 \cdot 100 \cdot 0,4 \cdot 0,5 = 6000 \text{ Вт}$$

або

$$P_{\bar{o}} = V_{\bar{o}} \cdot I_{\bar{o}} = 120 \cdot 50 = 6000 \text{ Вт}.$$

#### Задача 4

Необхідно створити СБ потужністю 100 Вт при вихідній напрузі, що дорівнює 120 В. Існують СЕ, розраховані на максимальну вихідну потужність

0,1 Вт при напрузі 0,4 В. Розрахувати параметри СБ, припустивши, що втрати, пов'язані з об'єднанням елементів в батареї – відсутні.

*Розв'язання.*

Відомо, що кожний СЕ генерує потужність  $P_e = 0,1$  Вт, тому  $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot N_{ce}$ , звідки  $N_{ce} = 100/0,1 = 1000$  елементів.

Тепер визначимо кількість послідовно з'єднаних елементів:  $0,4 \cdot N_{nc} = 120$ , звідки  $N_{nc} = 120/0,4 = 300$  елементів.

Знайдемо кількість паралельно з'єднаних елементів:  $N_{ce} = N_{nc} \cdot N_{np}$ , звідки  $N_{np} = N_{ce} / N_{nc} = 1000/300 = 3,33$  елемента.

Необхідно прийняти один з двох розв'язків:

при  $N_{np} = 3$

$$N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc} = 3 \cdot 300 = 900$$

потужність батареї:  $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot 900 = 90$  Вт.

при  $N_{np} = 4$

$$N_{ce} = N_{np} \cdot N_{nc} = 4 \cdot 300 = 1200$$

потужність батареї:  $P_{\bar{o}} = P_e \cdot N_{ce} = 0,1 \cdot 1200 = 120$  Вт.

Як бачимо, при  $N_{np} = 3$  потужність СБ є меншою, ніж необхідно створити, а при  $N_{np} = 4$  потужність СБ є більшою, ніж потрібно. За таким умов доцільним є прийняти другий варіант, оскільки головною умовою є забезпечити потужність 100 Вт.

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Розв'язати задачі 1-4, згідно індивідуального завдання.

### Варіанти завдань

#### До задачі 1

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$H, \text{ м}$	2,6	2,8	2,5	2,0	2,2	2,5	2,0	3,5	3,0
$t_{cm}, \text{ }^\circ\text{C}$	40	42	44	45	48	50	46	43	48
$t_{nos}, \text{ }^\circ\text{C}$	27	26	28	30	32	35	34	31	34



## До задачі 2

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$G$ , кг / год	100	45	50	110	60	120	70	80	90
$t_r$ , °C	45	50	55	65	55	50	46	45	55
$\varphi$ , °	47	48	49	50	49	48	47	50	48
Місяць року	2	7	3	8	10	1	4	5	6
Кут нахилу колектора, °	30	60	45	35	60	45	30	35	45
Кількість шарів скла, шт.	2	1	1	2	2	1	1	2	2
$t_x$ , °C	7	6	9	5	6	8	10	3	4
$t_c$ , °C	10	15	13	9	11	12	13	14	15
(діапазон) $V$ , м <sup>3</sup>	0,06	0,07	0,08	0,065	0,075	0,064	0,069	0,073	0,077
$K_p$	0,65	0,66	0,67	0,63	0,62	0,68	0,7	0,64	0,63

## До задачі 3

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$I_e$ , A	0,8	0,6	0,7	0,2	0,4	0,5	0,9	0,65	0,25
$V_e$ , B	0,6	0,4	0,2	0,5	0,8	0,7	0,5	0,3	0,9
$N_{nc}$ , шт.	50	70	120	75	80	300	125	200	95
$N_{np}$ , шт.	150	330	80	170	230	80	300	75	350

## До задачі 4

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{\phi}$ , Вт	200	100	250	300	240	150	350	175	270
$V_{\phi}$ , B	140	160	170	120	150	180	200	145	220
$P_e$ , Вт	0,2	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8	0,7	0,55	0,4
$V_e$ , B	0,6	0,4	0,8	0,5	0,7	0,3	0,2	0,75	0,9

## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які існують системи сонячного теплопостачання?
2. Що називають комфортною температурою?
3. Принцип дії пасивних сонячних систем?
4. Принцип дії активних сонячних систем?
5. Методи прямого перетворення сонячної енергії в електричну енергію?
6. Принцип дії сонячного елемента?
7. Схеми з'єднань сонячних елементів?
8. Що є сировиною для виготовлення сонячних елементів?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

### РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ

### ВІТРОЕЛЕКТРИЧНОЇ УСТАНОВКИ

*Мета роботи:* ознайомитись з принципом дії вітроелектричної установки та визначити основні показники її енергоефективності.

### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

**Вітроенергетика** – галузь енергетики, яка пов'язана з розробкою методів та засобів перетворення енергії вітру в механічну, теплову та електричну енергію.

**Вітроенергетична установка** – комплекс взаємопов'язаного обладнання та споруд, призначений для перетворення енергії вітру в інші види енергії.

**Вітроагрегат** – система, яка складається з вітродвигуна, трансмісії та приводної машини (генератора, насоса та ін.).

**Вітроелектрична установка (ВЕУ)** – установка, яка призначена для перетворення енергії вітру в електричну енергію.

**Автономна ВЕУ** – комплекс обладнання, який складається з ВЕУ, системи керування та пристроїв навантаження різного призначення (для електронагріву, опріснення води, заряду акумуляторних батарей та ін.), який зберігає працездатність в робочому діапазоні швидкостей вітру без зв'язку з електричною мережею.

**Вітроколесо (ВК)** – пристрій, який сприймає вітровий потік та перетворює енергію вітру в механічну енергію обертання вітроколеса.

**Вітродвигун** – пристрій для перетворення енергії вітру в механічну енергію обертання ВК.

**Діаметр ВК** – діаметр кола, який описується найбільш віддаленими від осі обертання ВК частинами лопатей.

Площа, яку обмітає ВК – геометрична проекція площі ВК, яке обертається, на площину, перпендикулярну швидкості вітру.

**Лопать ВК** – складова частина ВК, яка створює крутний момент.

**Енергетична характеристика ВЕУ** – залежність вихідної потужності ВЕУ від швидкості вітру.

**Номінальна потужність ВЕУ** – максимальне значення вихідної потужності.

**Коефіцієнт корисної дії ВЕУ** – відношення корисної енергії, яка генерується ВЕУ, до повної енергії вітру, яка проходить через площу поверхні, яку обмітає ВК.

**Мінімальна робоча швидкість вітру** – мінімальна швидкість вітру, при якій забезпечується робота вітроагрегату з номінальною частотою обертання на холостому ході.

**Розрахункова швидкість вітру** – мінімальна швидкість вітру, при якій Вітроагрегат починає розвивати номінальну потужність.

**Швидкохідність ВК** – відношення швидкості кінця лопатей до швидкості вітру.

**Вертикальний профіль вітру** – залежність швидкості вітру за висотою в приземному шарі, яка визначається для конкретної місцевості на основі зміни швидкості вітру на різній висоті відносно земної поверхні.

Існують різні види ВЕУ: роторні, карусельні, барабанні, крильчаті та ін.

Основні типи ВЕУ – з вертикальною віссю обертання та горизонтальною віссю обертання.

Горизонтально-осьовою ВЕУ називають вітродвигун, у якого вісь обертання вітроколеса розташована паралельно або майже паралельно вектору швидкості вітру. У випадку якщо вісь обертання розташована перпендикулярно вектору швидкості, то вітродвигун називають вертикально-осьовим.

Перевагами горизонтально-осьових ВЕУ є:

- можливість самостійного запуску без допоміжного приводу (за рахунок зміни кута встановлення лопатей);
- досить великі показники коефіцієнту використання енергії вітру та швидкохідності.

Основним недоліком є необхідність орієнтації на вітровий потік.

Вертикально-осьові ВЕУ мають такі переваги:

- незалежне функціонування від напрямлення вітрового потоку;
- відносно просте виготовлення лопатей;
- можливість кріплення лопатей до ротора в декількох місцях, що призводить до зменшення вимог щодо міцності та жорсткості лопатей.

До недоліків можна віднести значно менші коефіцієнт використання енергії вітру та швидкохідності, ніж у горизонтально-осьових ВЕУ.

За рівнем генерованої потужності ВЕУ поділяють на 4 групи: тихохідні (до 5 кВт); невеликої потужності (від 5 до 99 кВт); середньої потужності (від 100 кВт до 1 МВт); великої потужності (більше 1 МВт).

В більшості країн широке розповсюдження отримали горизонтально-осьові крильчаті ВЕУ. На рис. 8.1 наведено зовнішній вигляд горизонтально-осьової

ВЕУ. На рис. 8.2 наведено вигляд головки ВЕУ.

Принцип дії ВЕУ полягає в перетворенні кінетичної енергії вітру в механічну енергію з подальшим її перетворенням в електричну (за допомогою генератора). Вітровий потік впливає на лопаті ротора, створюючи крутний момент, який передається на ротор електричного генератора.

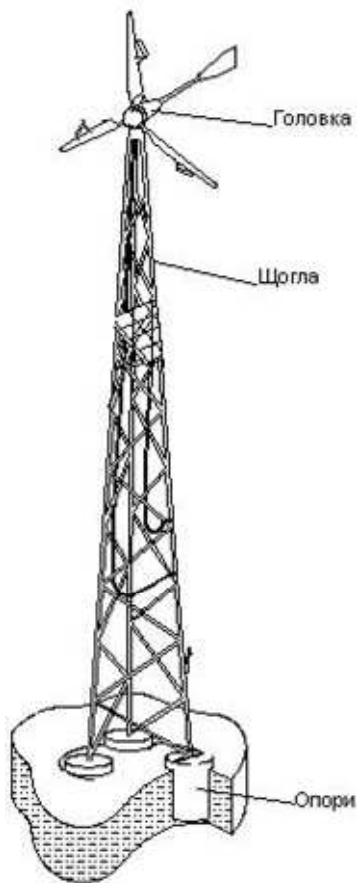


Рис. 8.1. Зовнішній вигляд горизонтально-осьової ВЕУ

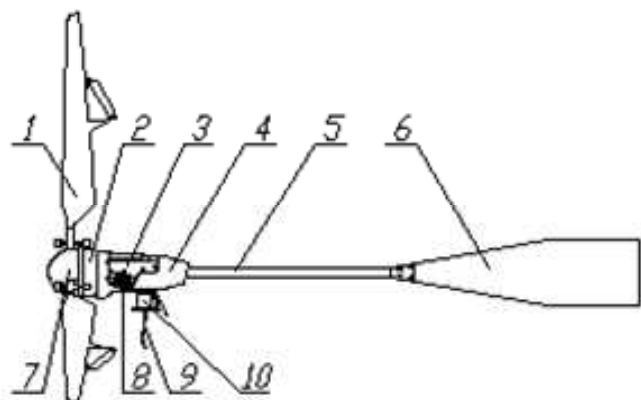


Рис. 8.2. Головка трьохлопатевої горизонтально-осьової ВЕУ:  
1 – турбіна; 2 – генератор;  
3 – центральна рама; 4 – кожух;  
5 – хвостова балка; 6 – кіль; 7 – кок турбіни;  
8 – випрямляч; 9 – трос флюгерування турбіни; 10 – опорно-поворотний пристрій

Конструкція ВЕУ наведена на рис. 8.3.

Основні агрегати з'єднані між собою центральною рамою, яка складається з пластин 21. Безпосередньо на рамі встановлюють вісь поворотного пристрою 28, вісь генератора 15, хвостову балку 23, гальмівний важіль 18 та випрямляч 19.

*Генератор* представляє собою торцеву трьохфазну багатополосну електричну машину на постійних магнітах. Статор, який складається з магнітопровода з обмотками 12 та корпусу 13 нерухомо закріплений на вісі 15. Ротор складається з магнітопровода 10, магнітів 11 та корпусу 9 і 14.

*Турбіна* складається з лопатей 8, маточини, яку з'єднано з ротором генератора 9, та синхронізатора. Керування турбіною здійснюється шляхом зміни кроку. Для цього лопаті повертають навколо вісі 6, які зафіксовано за допомогою фіксаторів 3. Синхронізація повороту лопатей здійснюється за

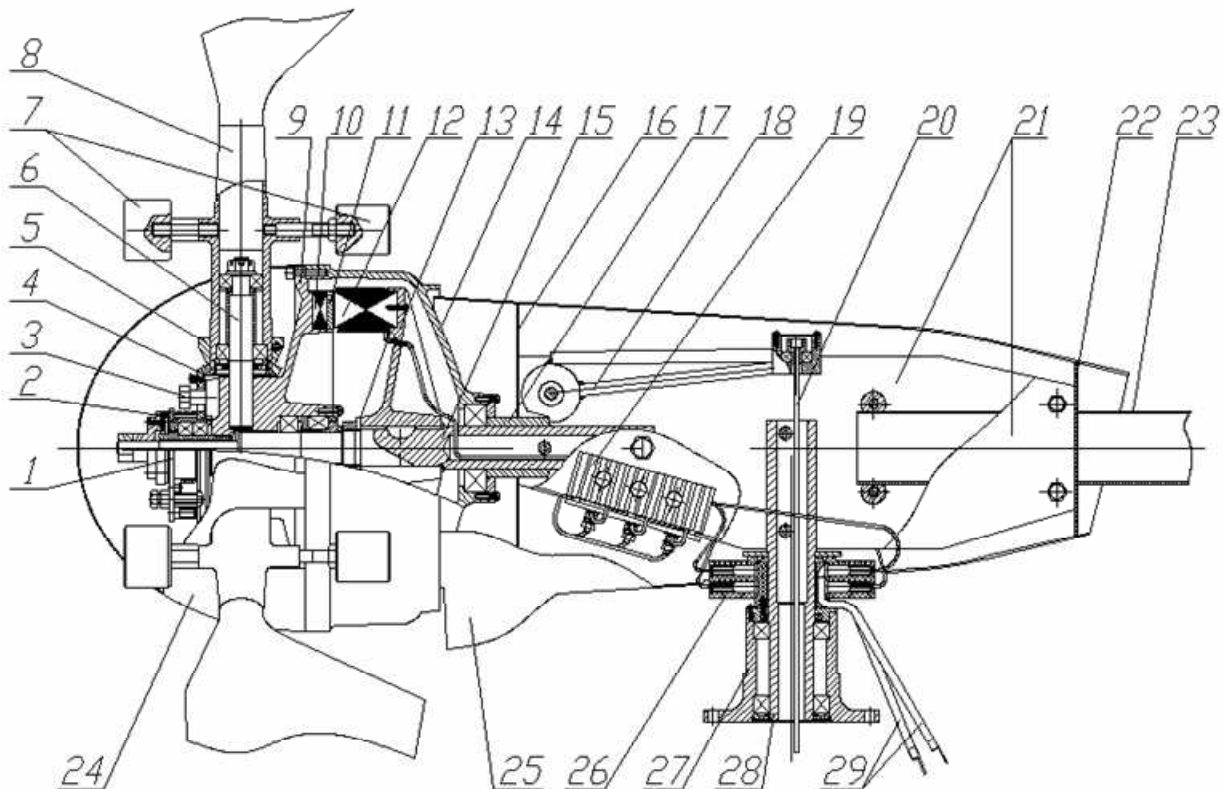
допомогою секторів 5 та шестерні 4.

*Опорно-поворотний пристрій* – необхідний для закріплення ВЕУ на щоглі, забезпечення її орієнтації за вітром та передачі електроенергії з головки ВЕУ до нерухомої щогли. Цей пристрій складається з корпусу 27, вісі 28, струмознімача 26.

*Випрямляч* 19 призначено для випрямлення струму, який генерується генератором.

*Кіль* призначено для повороту ВЕУ навколо вертикальної вісі, згідно напрямлення вітру.

*Кожух* – захищає вузли ВЕУ від опадів, пилу та сонячних променів.



**Рис.8.3. Конструкція горизонтально-осьової ВЕУ**

Технічні характеристики ВЕУ, які наводяться виробниками, не завжди дають змогу визначити кількість електроенергії, яку буде генерувати ВЕУ, особливо в умовах стохастичного характеру зміни вітрового потоку. Тому виникає необхідність розрахувати показники енергетичної ефективності роботи ВЕУ з урахуванням метеорологічних умов певної місцевості.

Основними показниками роботи горизонтально-осьової ВЕУ є:

- швидкість вітру на висоті щогли ВЕУ;
- площа поверхні, яку обмітає вітроколесо (ВК) з радіусом  $R$ ;
- потужність вітрового потоку, який проходить за 1 с через поперечний переріз площі поверхні, яку обмітає ВК;

- коефіцієнт використання енергії вітру в номінальному режимі роботи;
- швидкохідність;
- вихідна потужність генератора при різних швидкостях вітру;
- крутний момент;
- максимальне навантаження, яке діє на ВК;
- потужність ВК при різних швидкостях вітру;
- потужність ВЕУ при різних швидкостях вітру;

Для прикладу розрахунку основних показників горизонтально-осьової ВЕУ візьмемо ВЕУ-08. В табл. 8.1 наведено її технічні характеристики.

**Таблиця 8.1. Технічні характеристики ВЕУ-08**

<i>Основні характеристики</i>	
Номінальна потужність, Вт	800
Діаметр вітроколеса, м	3,1
Номінальна частота обертів вітроколеса, об/хв	310
Кількість лопатей, шт.	3
Номінальна напруга генератора, В	24
Рекомендована висота щогли, м	11-17
Коефіцієнт потужності вітроколеса	0,45
ККД генератора	0,85
<i>Робочий діапазон швидкостей вітру, м/с</i>	
Стартова (початок роботи)	2,5
Номінальна (генератор розвиває потужність 800 Вт)	8
Максимальна експлуатаційна	50

Порядок розрахунку наступний.

1. *Збір даних про швидкість вітру в конкретній місцевості.*

Ці дані можна знайти в довідниках. Візьмемо для розрахунку дані по Кіровоградському регіону, зібрані протягом року.

2. *Визначення швидкості вітру на висоті головки ВЕУ.*

Зазвичай головки ВЕУ, розташовані на висоті від 5 до 50 м. Збільшення енергетичного потенціалу з висотою пояснюється зростанням швидкості вітру, яка в приземному шарі змінюється за степеневим законом:

$$V = V_{\Phi} \cdot \left( \frac{h}{h_{\Phi}} \right)^{\alpha}, \quad (8.1)$$

де  $V$  та  $V_{\Phi}$  – швидкість вітру на розсіяній висоті  $h$  та на стандартній висоті флюгера  $h_{\Phi}$ ;  $\alpha$  – показник степені, який залежить від швидкості вітру.

Для Кіровоградського регіону  $\alpha = 0,2$ . Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. табл. 8.1) висота щогли даної установки знаходиться в межах від 11 м до 17 м. При розрахунку будемо вважати, що головка ВЕУ-08 розташована на висоті щогли  $h = 17$  м.

За допомогою виразу (8.1) було розраховано швидкості вітру на висоті щогли ВЕУ-08, наведені в табл. 8.2.

**Таблиця 8.2. Порівняльна характеристика швидкості вітру на різних висотах**

Висота, м	Швидкість вітру V, м/с													
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h=10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
h=17	0	1,1	2,2	3,3	4,5	5,6	6,7	7,8	8,9	10	11,1	12,2	13,3	14,5

### 3. Визначення енергетичного потенціалу вітрового потоку.

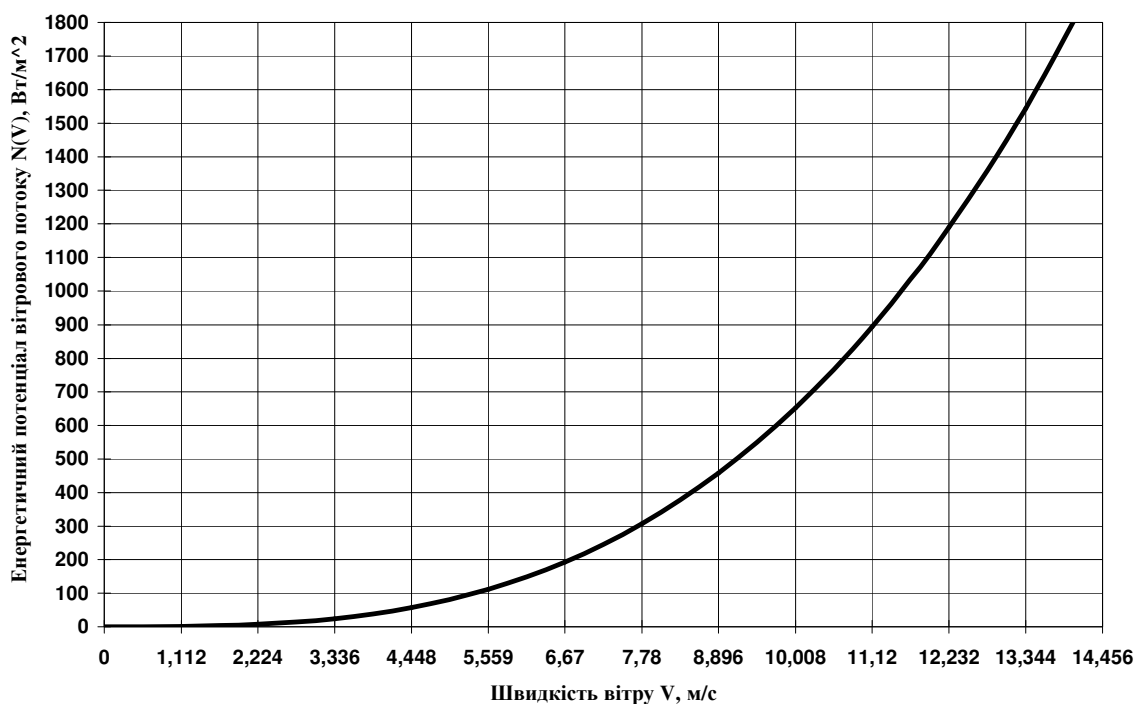
Енергетичний потенціал визначається рівнем питомої потужності вітрового потоку, тобто потужністю, віднесеною до  $1 \text{ м}^2$  площі та перпендикулярній напрямку вітру:

$$N(V) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3, \quad (8.2)$$

де  $\rho$  – густина повітря,  $\text{кг/м}^3$ ;  $V$  – швидкість вітру,  $\text{м/с}$ .

В середньому густина повітря становить  $\rho = 1,3 \text{ кг/м}^3$ , але вона відчутно залежить від температури та тиску.

За допомогою виразу (8.2) було отримано залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку  $N(V)$  від швидкості вітру  $V$ , представлена на рис. 8.4.



**Рис. 8.4. Залежність енергетичного потенціалу вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні**

4. *Визначення потужності потоку  $P_{\Pi}$ , який проходить за 1 с через поперечний переріз, площею  $F$ .*

Вона визначається за допомогою формули:

$$P_{\Pi} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^3}{2}, \quad (8.3)$$

де  $F = \pi \cdot R^2$  – площа поверхні, яку обмітає ВК з радіусом  $R$ , м<sup>2</sup>. Для обраної установки  $F = 7,54 \text{ м}^2$ .

Залежність потужності вітрового потоку  $P_{\Pi}$  від швидкості вітру  $V$ , наведено на рис. 8.5.

5. *Визначення коефіцієнту використання енергії вітру (або коефіцієнта потужності ВЕУ)  $\xi$ .*

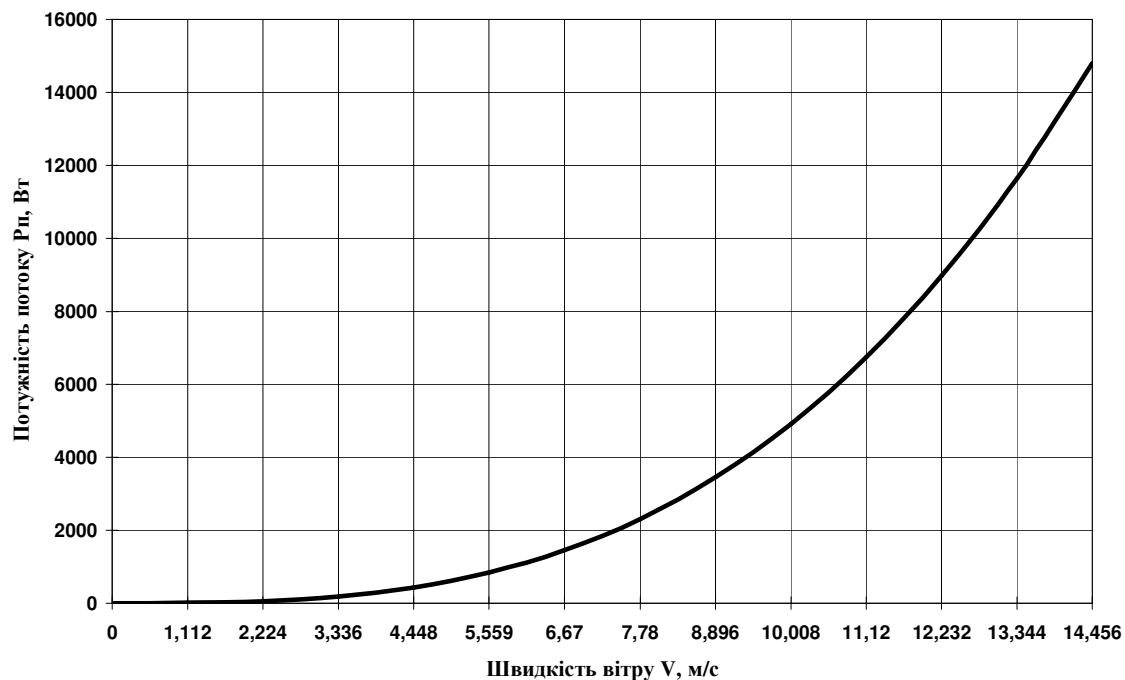
Цей параметр характеризує ефективність використання ВК енергії вітру. Він залежить від типу вітродвигуна та режиму його роботи. Його знаходять за допомогою формули:

$$\xi = \frac{P_{BK}}{P_{\Pi}}, \quad (8.4)$$

де  $P_{BK}$  – потужність вітроколеса, Вт.

Максимальна енергія, яку можна отримати від ідеального ВК складає 59% від кінетичної енергії повітряного потоку (згідно закону Бетца-Жуковського), тобто  $\xi_{max} = 0,59$ . Для сучасних горизонтально-осьових ВЕУ коефіцієнт потужності зазвичай знаходиться в діапазоні 0,41-0,49.

Згідно даних виробника ВЕУ-08 (див. табл. 8.1),  $\xi = 0,45$ .



**Рис. 8.5. Залежність потужності вітрового потоку від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні**



## 6. Визначення швидкохідності вітроколеса $Z$ .

Швидкохідність ВК визначається за допомогою виразу:

$$Z = \frac{\omega \cdot R}{V}, \quad (8.5)$$

де  $\omega$  – швидкість обертання вітроколеса, рад/с. Також  $Z$  можна визначити за допомогою таблиці, наведеної в джерелі [4]. Згідно цієї таблиці приймаємо  $Z = 2$ .

## 7. Визначення вихідної потужності генератора ВЕУ.

Вихідна потужність генератора ВЕУ визначається за допомогою формули:

$$P_{ген}(V) = P_{ном} \cdot \bar{P}_{ген}(V), \quad (8.6)$$

де  $P_{ном}$  – номінальна потужність генератора (зазвичай дорівнює встановленій потужності), Вт;  $\bar{P}_{ген}(V)$  – коефіцієнт вихідної потужності генератора.

Крім того, для виразу (8.6) існують такі умови:

$$\begin{cases} \bar{P}_{ген}(V) = 0, & \text{при } V < V_{min} \text{ та } V > V_{max}; \\ \bar{P}_{ген}(V) = \bar{P}_{ген}(V), & \text{при } V_{min} \leq V \leq V_{max}; \\ \bar{P}_{ген}(V) = 1, & \text{при } V_{ном} \leq V \leq V_{max} \end{cases}, \quad (8.7)$$

Згідно даних табл. 8.1, умови (8.7) можна записати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \bar{P}_{ген}(V) = 0, & \text{при } V < 2.5 \text{ та } V > 50; \\ \bar{P}_{ген}(V) = \bar{P}_{ген}(V), & \text{при } 2.5 \leq V \leq 50; \\ \bar{P}_{ген}(V) = 1, & \text{при } 8 \leq V \leq 50 \end{cases}, \quad (8.8)$$

Коефіцієнт вихідної потужності генератора  $\bar{P}_{ген}(V)$  розраховують за допомогою виразу:

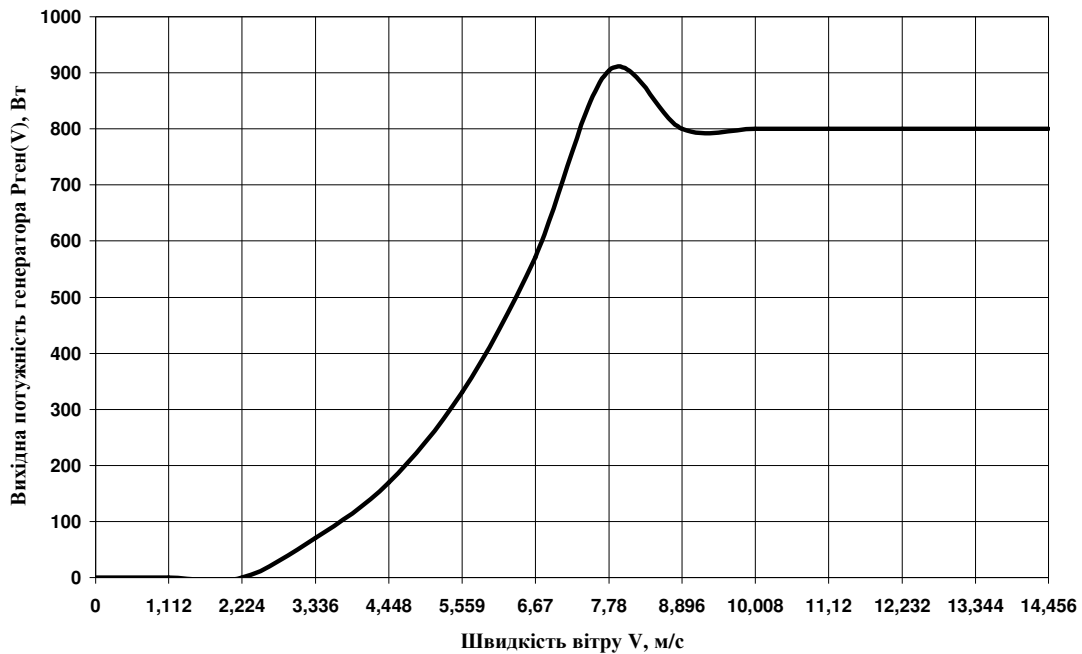
$$\bar{P}_{ген}(V) = \frac{N(V)}{P_{ген.пит}} \cdot \xi \cdot \eta, \quad (8.9)$$

де  $N(V)$  – питома потужність вітрового потоку, Вт/м<sup>2</sup>;  $P_{ген.пит}$  – питома потужність генератора, Вт/м<sup>2</sup>;  $\eta$  – ККД перетворення механічної енергії вітроколесом в електричну, або ККД генератора (зазвичай  $\eta = 0,80-0,90$ ).

Питому потужність генератора знаходять за допомогою співвідношення:

$$P_{ген.пит} = \frac{P_{ном}}{F}, \quad (8.10)$$

Підставивши відповідні значення у вирази (8.6), (8.9), (8.10) та врахувавши умови (8.8), одержимо залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру, яка наведена на рис. 8.6.



**Рис. 8.6. Залежність вихідної потужності генератора ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні**

8. *Визначення крутного моменту  $M$  на вихідному валу ВК.*

Вираз для знаходження крутного моменту, має наступний вигляд:

$$M = \frac{\xi \cdot \rho \cdot F \cdot R \cdot V^2}{2 \cdot Z}, \quad (8.11)$$

9. *Визначення максимального крутного моменту  $M_{max}$ .*

Максимальний крутний момент розраховують за допомогою наступного виразу:

$$M_{max} = W_{max} \cdot R, \quad (8.12)$$

де  $W_{max} = \frac{\rho \cdot F \cdot V^2}{2}$  – максимальне навантаження, яке діє на ВК.

На рис. (8.7) наведено залежність максимального крутного моменту  $M_{max}$  ВК від швидкості вітру.

10. *Визначення потужності вітроколеса  $P_{BK}$ .*

Вона визначається за допомогою наступного виразу:

$$P_{BK} = \xi \cdot P_{II}, \quad (8.13)$$

11. *Визначення потужності горизонтально-осьової ВЕУ.*

Потужність горизонтально-осьової ВЕУ розраховують за наступною формулою:

$$P_{BEU} = \eta \cdot P_{BK}, \quad (8.14)$$

Враховавши вираз (8.3), остання формула може бути записана у вигляді:

$$P_{BEU} = \frac{1}{2} \cdot \eta \cdot \rho \cdot \xi \cdot F \cdot V^3, \quad (8.15)$$

На рис. 8.8 наведено залежність потужності  $P_{BEY}$  ВЕУ-08 від швидкості вітру  $V$ .

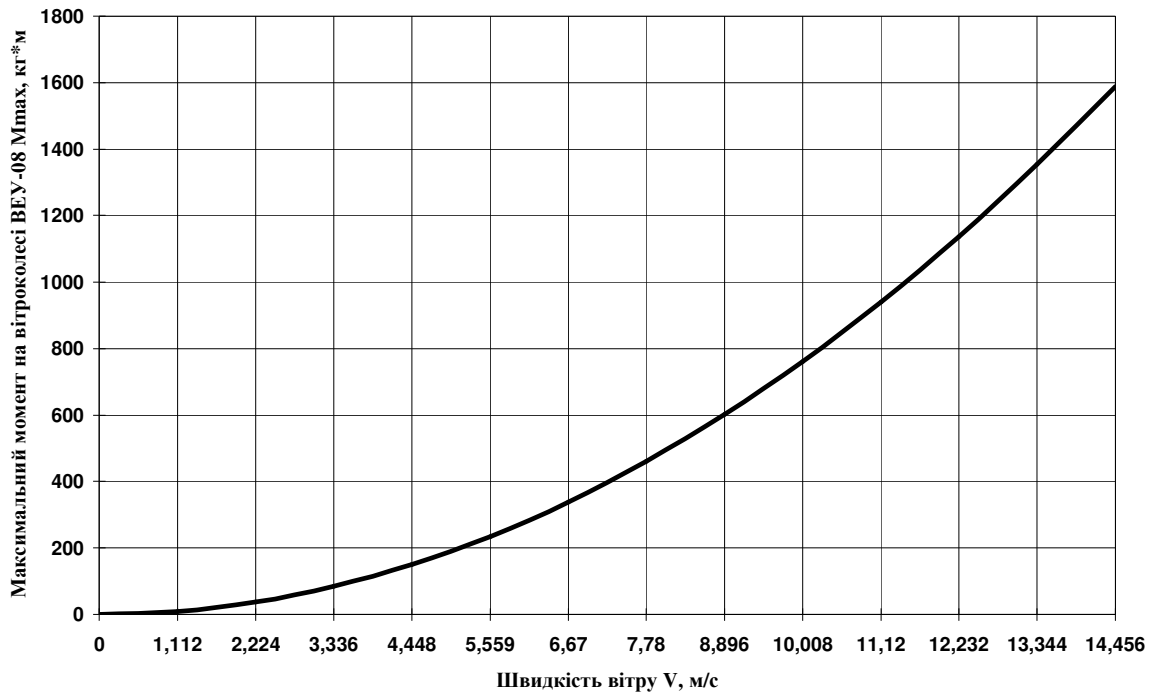


Рис. 8.7. Залежність максимального крутного моменту вітроколеса ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

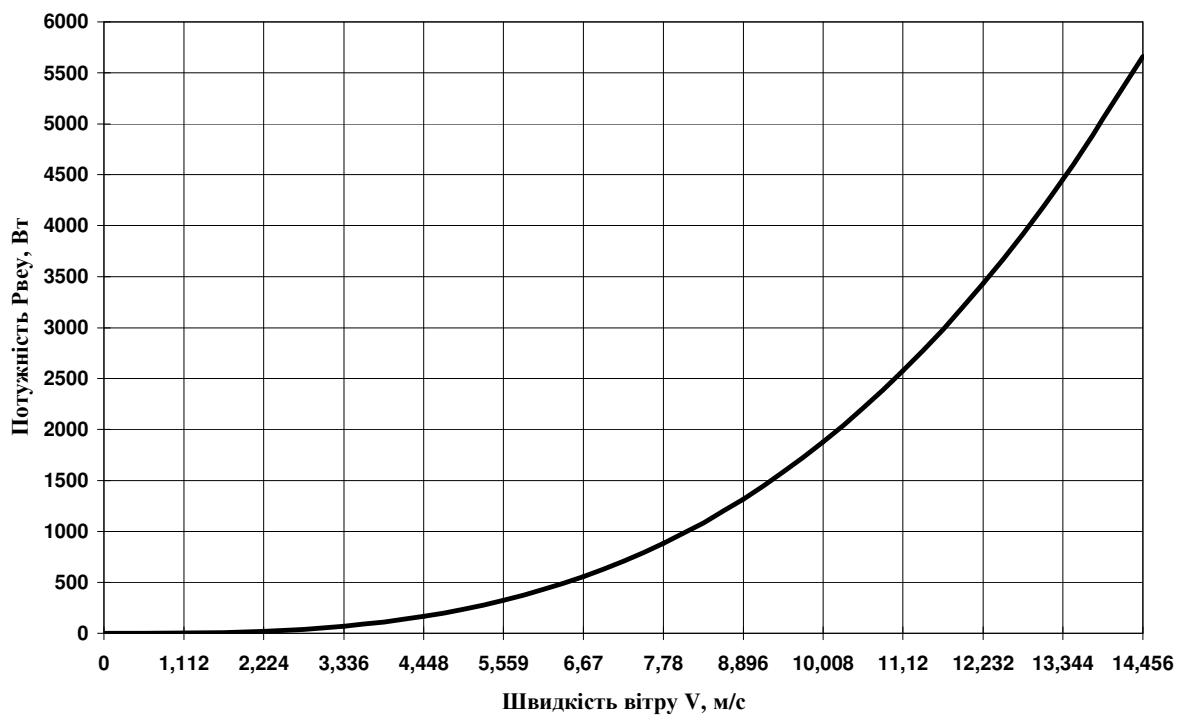


Рис. 8.8. Залежність потужності ВЕУ-08 від швидкості вітру в Кіровоградському регіоні

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Визначити основні показники роботи горизонтально-осьової ВЕУ, згідно варіанту.
2. Побудувати графіки залежностей.
3. Зробити висновки.

**Примітка:** для зручності розрахунків та побудови графіків залежностей рекомендується використовувати програмний пакет Microsoft Office Excel або інший подібний редактор.

### Варіанти завдань

Показники	Варіанти								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	АВЕУ-6-2	АВЕУ-6-4	ВЕС-1-5	ВЕ-2М	ФА-4.4/400	«Пчела»	ФА-6.7/1000	WG-3000	ВЕУ-10
Діаметр вітроколеса, м	6	6	5	2	4,4	1,2	6,7	4,5	12
Кількість лопатей, шт.	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Номінальна частота обертання, об./хв	210	210	245	600	230	800	145	220	120
Стартова швидкість вітру, м/с	4	4	4	3,5	2,5	3	2,5	2	4,5
Номінальна швидкість вітру, м/с	10	10	8	9	8	8	8	10	9
Максимальна швидкість вітру, м/с	40	40	50	50	50	35	50	60	25
Номінальна потужність, Вт	2000	4000	1000	100	1600	150	4000	3000	10000
Номінальна напруга, В	240	240	127	36	48	12	96	240	240
Діапазон швидкостей вітру, м / с	8..20	4..36	2..28	6..25	2..19	5..25	0..22	8..35	7..21

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Дайте визначення наступним поняттям: вітроагрегат, вітроенергетична установка, вітроелектрична установка? В чому головна відмінність між ними?
2. Переваги та недоліки горизонтально-осьової ВЕУ та ВЕУ з вертикальною віссю обертання?
3. Конструкція горизонтально-осьової ВЕУ?
4. Принцип дії горизонтально-осьової ВЕУ?

5. Що називають номінальною, мінімальною та розрахунковою швидкістю вітру?
6. Що називають вертикальним профілем вітру?
7. За яким законом змінюється швидкість вітру в приземному шарі?
8. Назвіть основні показники енергоефективності горизонтально-осьової ВЕУ?

#### СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

#### **БІОПАЛИВО. СПОСОБИ ОТРИМАННЯ БІОМАСИ ТА БІОГАЗУ.**

*Мета роботи:* ознайомитись з основними способами отримання біомаси та біогазу. Визначити об'єм генераторних газів в установці та продуктивність установки біогазу за добу.

#### **ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ**

Під терміном біомаса (БМ) розуміють органічні речовини рослинного і тваринного походження (деревина, солома, гній тощо), що містять вуглець.

Основним джерелом біомаси незаперечно є *ліс і сільськогосподарські рослини*. В основі виробництва БМ лежить механізм фотосинтезу рослин, за допомогою якого акумулюється сонячна енергія перетворюючись у хімічну.

#### **Принцип перероблення біомаси.**

Наведені нижче вимоги щодо принципу перероблення біомаси базуються на максимально ефективному використанні БМ з мінімальними технологічними витратами та захисту і збереженні навколишнього середовища.

- *Використання широкого спектру різних продуктів*, який дає кожний вид БМ. Наприклад, у виробництві цукру з цукрової тростини утворюються проміжні продукти: патока і волокно, спалювання останнього дає тепло, яке можна перетворити в електроенергію: попіл від спалювання можна повернути в ґрунт як добриво.

- *Здешевлення технологій виробництва палива*. Деякі технології для виробництва палива із БМ потребують більше енергії, ніж зможе паливо

пізніше віддати, наприклад, виробництво етилового спирту з крохмалю рослин. Однак можна дешевше отримати спирт з відходів соломи, рослинних волокон, хвої, листя дерев.

- *Реалізація економічного ефекту в АПК від впровадження комплексної переробки біомаси:* зростання національного доходу від збільшення зайнятості сільського населення, самозабезпечення споживача, зменшення імпорту, забезпечення власних потреб без централізованої допомоги.

- *Доцільність виробництва біопалива:* економічно оправдано, якщо ритмічно відновлюються запаси дешевої сировини (наприклад, обрізки і тирса на лісозаготовках, гній ферм, міські стоки, солома злакових культур та ін.).

- *Недопущення екстенсивного використання біопалива* – знищення лісів, ерозія ґрунту, заміна урожаїв для їжі «урожаєми» палива.

- *Альтернативне використання біопалив*, як похідних органічних сполук, в якості сировини або конструкційних матеріалів.

Розвиток енергетики за рахунок використання сільськогосподарських культур має свої переваги і недоліки.

Переваги	Недоліки
великі потенціальні запаси	збіднення та ерозія ґрунтів
різноманітність культур	можлива конкуренція з виробництвом їжі
різноманітне застосування (транспорт, виробництво електроенергії)	використання генної інженерії може викликати появу невідконтрольних організмів
підтримка інтегрованого с/г виробництва	перевезення БМ до місця переробки завантажить транспорт
ефективне використання супутніх продуктів, відходів, стоків	помилки в проектуванні і відсутність замкнутого циклу перероблення можуть привести до забруднення середовища
покращення екології довкілля (утилізація відходів)	
розвиток сільського господарства	

### **Процеси перероблення біомаси.**

Біологічну масу (БМ) переробляють з метою отримання тепла або палива високої якості. Враховуючи вид виробленого кінцевого продукту (тверде, рідке або газоподібне паливо), існують різні способи перероблення БМ: *термічний, хімічний, термохімічний, біологічний та біохімічний*. Ні один з названих способів не може претендувати на універсальність. Вибір способу перероблення залежить від виду БМ, кінцевої мети (одержання твердого. Рідкого або газоподібного палива), економічної і екологічної доцільності та ін.

Якість біопалива визначається вмістом в ньому вуглецю і води. Останній параметр визначає вологість біомаси  $W = \frac{(m - m_0)}{m}$ , де  $m$  – загальна маса матеріалу;  $m_0$  – його маса без води (внутріклітинної та міжклітинної).

Матеріал є сухим, якщо він зберігає 10-15 % вологості. Отже, потрібно витратити значну частину теплової енергії на випаровування води

( $\approx 2,3$  МДж / кг).

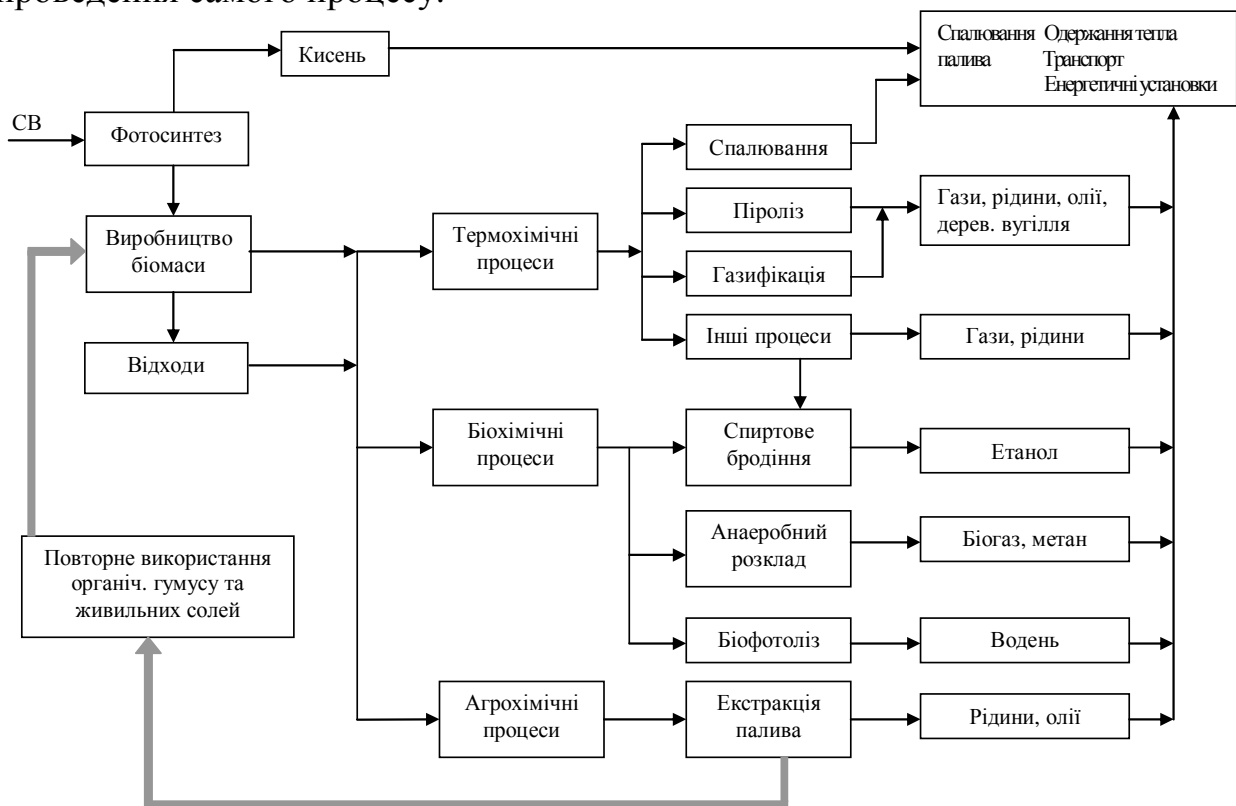
Нижче наведена класифікація основних типів енергетичних процесів, які пов'язані з переробленням біомаси (рис. 9.1).

*Термохімічні процеси:*

- *спалювання* з метою отримати тепло (сухе гомогенне паливо);
- *піроліз*. Біомасу нагрівають до температури  $450...550$  °С без доступу повітря. Отримують твердий залишок – кокс (деревне вугілля), гази ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ -пару тощо) та рідинну масу (спирти, олії тощо).

- *газифікація*. Процес нагрівання (часткове спалювання) палива з обмеженою кількістю повітря (кисню) у діапазоні температур  $800...1600$  °С та тиску  $1,0...10,0$  МПа. Під час газифікації утворюється синтез-газ ( $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  у відповідній пропорції).

- *гідрогенізація*, з різними варіантами попередньої підготовки сировини і проведення самого процесу.



**Рис. 9.1. Енергетичні процеси перероблення біомаси**

*Біохімічні процеси:*

- *спиртова ферментація*. Етиловий спирт (альтернатива бензинові), як правило, виробляється мікроорганізмами в процесі ферментації;

- *анаеробна переробка*. Без кисню мікроорганізми здатні поглинути енергію, безпосередньо переробляючи вуглецеві компоненти і виробляючи внаслідок  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$ . Це також ферментація, але називають її бродінням, за аналогією з процесами в тракті перетравлювання їжі в жуйних тварин. Отриману суміш  $\text{CO}_2$  і  $\text{CH}_4$ , а також супутніх газів називають біогазом;

- *біофотоліз*. Фотоліз – розклад води на водень та кисень під дією світла. Якщо водень згорає або вибухає як правило в суміші з повітрям, то проходить рекомбінація  $O_2$  та  $H_2$ . Деякі біоорганізми продукують або можуть продуктувати водень таким біофотолізом.

*Агрохімічні процеси:*

- *екстракція палива*. Рідке або тверде паливо можна отримати прямо від живих або свіжо зрізаних рослин, з яких збирають або витискають пресом сік (наприклад, виробництво каучуку).

*Газифікація* – це високотемпературний процес, в якому вуглець твердого палива в обмеженій кількості повітря або кисню перетворюється в генераторний газ.

Здійснюється цей процес за температур  $t = 950 \dots 1300 \text{ }^\circ\text{C}$  і вище в середовищі з обмеженим вмістом кисню. Процес газифікації близький до горіння, але відрізняється значеннями температури і коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  (для газифікації  $\alpha > 1$ , а в процесі горіння  $\alpha \geq 1$ ).

Процес газифікації умовно *поділяють на такі етапи:*

- *сушіння* – випаровування наявної в БМ вологи;
- *піроліз* – отримання пірогазу, випаровування смол, отримання вуглистої речовини;
- *окислення* – окислення пірогазу з утворенням  $CO_2$  і  $H_2O$ ;
- *відновлення* – відновлення до  $CO$ .

Процес газифікації здійснюється в спеціальних апаратах, які називають: *конверторами, реакторами, газогенераторами і газифікаторами*.

Газогенератор – вертикальний циліндр, обмурований всередині вогнестійкою цеглою (рис. 9.2).

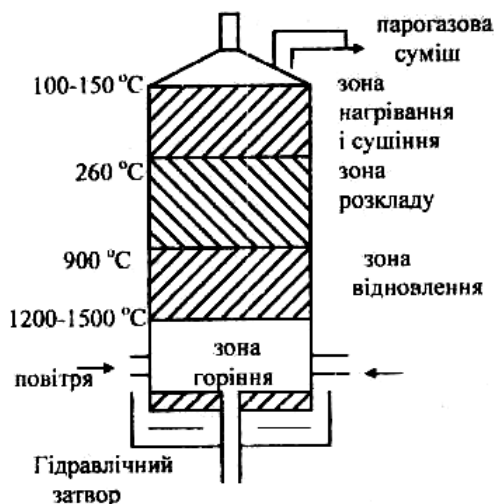


Рис. 9.2. Схема газифікації палива

В ньому переробляють широкий асортимент сировини, у тому числі деревину, с/г та деревинні відходи, водорості, тверді міські відходи. До основних типів газогенераторів з періодичною і неперервною газифікацією



належать:

- реактори з нерухомим або рухомим (ущільненим) шаром сировини;
- реактори з перемішу вальним шаром;
- реактори з проітовхувальним і обертовим шаром;
- реактори з псевдо розрідженим шаром;
- реактори з обертовим шаром сировини і прямим або непрямим нагріванням.

Залежність об'ємного виходу газів від температури і тиску в процесі газифікації описується такими співвідношеннями:

- об'ємний вихід CO:

$$V_{CO} = 0,3025 \cdot K_p \cdot P^{-1} \pm \sqrt{[(0,3025 \cdot K_p \cdot P^{-1}) + 0,21 \cdot K_p \cdot P^{-1}]}, \quad (9.1)$$

де  $P$  – тиск газової суміші;  $K_p$  – константа рівноваги складу газової суміші, для вугілля визначається так:

$$\lg K_p = 3,2673 - \left(8820,69/T\right) - 0,001208714T + 0,153734T^2 + 2,2954831 \lg T, \quad (9.2)$$

- вихід CO<sub>2</sub>:  $V_{CO_2} = 0,21 - 0,605 \cdot V_{CO},$  (9.3)

- вихід азоту:  $V_{N_2} = 1 - V_{CO} - V_{CO_2},$  (9.4)

Маса сухих газів, які утворюються з 1 кг сухого матеріалу за одиницю часу визначається так:

$$M_{CG} = G_{BC} \cdot K_2, \text{ кг / год} \quad (9.5)$$

де кількість сухого матеріалу:

$$G_{BC} = G_W \cdot \frac{100 - W^p}{100}, \quad (9.6)$$

де  $K_2 = 1,3 - 1,7$  – коефіцієнт виходу газу з сухої деревини;  $G_W$  – маса вологого матеріалу;  $W^p$  – вологість цього матеріалу.

Об'ємна витрата газів:

$$V_G = M_{CG} / \rho_G, \quad (9.7)$$

де  $\rho_G$  – густина газу, визначається за співвідношенням:

$$\rho_G = \frac{(44 \cdot CO_2 + 28 \cdot (CO + C_n H_m + N_2) + 36 \cdot O_2 + 2H_2 + 16 \cdot CH_4)}{2240}, \text{ кг / м}^3 \quad (9.8)$$

Площа поперечного перерізу газогенератора:

$$F = G_{BC} / R, \quad (9.9)$$

де  $R = 300 \dots 400$  кг / (м<sup>2</sup>·год) – інтенсивність газифікації.

Витрата повітря на газифікацію:

$$V_{\text{пов}} = \left( \frac{N_2}{79} \right) \cdot V_{\text{сг}}, \quad (9.10)$$

Об'єм газів визначають так:

$$V_{\text{сг}} = V_{\text{г}} + V_{\text{вл}}, \quad (9.11)$$

Калорійність газоподібного палива в кДж / м<sup>3</sup> визначають за співвідношенням:

$$Q_H^p = 358 \cdot C H_4 + 640 \cdot C_2 H_6 + 915 \cdot C_3 H_8 + 1190 \cdot C_4 H_{10} + \\ + 1465 \cdot C_5 H_{12} + 126,5 \cdot CO + 107,5 \cdot H_2 + 234 \cdot H_2 S, \quad (9.12)$$

Для зручності розрахунків паливно-енергетичних балансів, а також обліку запасів палива або відходів виробництва різної калорійності використовують *умовне паливо*.

Під *умовним паливом* (ум. п.) розуміють уявний універсальний енергоносіє, спалюючи 1 кг якого отримують 29300 кДж теплоти (7000 ккал).

В процесі практичного використання відходів деревини (генераторного газу, біогазу) як вторинних енергетичних ресурсів, застосовують калорійний еквівалент  $E$  (кг ум.п. / м<sup>3</sup>), котрий залежить від теплоти згоряння, вологості і густини деревини:

$$E = Q_H^p \cdot \rho / 29300, \text{ кг ум.п. / м}^3, \quad (9.13)$$

Перерахунок витрати з робочої маси палива  $B_p$  в умовну  $B_{ум}$  здійснюють за співвідношенням:

$$B_{ум} = B_p \cdot \frac{Q_H^p}{29300} = B_p \cdot E, \quad (9.14)$$

## Приклад.

### Задача 1

В газогенератор подають  $G$  (кг / год) відходів деревини з вологістю  $W$  (%). Визначити об'єм генераторних газів, які утворюються в установці за одиницю часу, якщо коефіцієнт виходу газу  $K_g$ .

Склад газів знаходиться в таких межах:

$$CO_2 = 5,5 \dots 6 \% ; CO = 30 \dots 31 \% ; N_2 = 48,9 \% ; H_2 = 12 \dots 15 \% ;$$

$$CH_4 = 2 \dots 3,3 \% ; \Sigma C_n H_m = 0,3 \dots 0,4 \% ; O_2 = 0 \dots 0,3 \% .$$

Розв'язання.

Задачу розв'язуємо для таких значень:  $G = 180$  кг / год;  $K_G = 1,7$ ;  $W = 30$  %.

Склад газів:

$CO_2 = 5,5$  %;  $CO = 31$  %;  $N_2 = 48,9$  %;  $H_2 = 12$  %;  $CH_4 = 2$  %;

$\Sigma C_n H_m = 0,35$  %;  $O_2 = 0,2$  %.

Визначаємо суху масу відходів деревини за годину з (9.6):

$$G_{BC} = 180 \cdot [(100 - 30/100)] = 126 \text{ кг / год.}$$

Маса сухих газів, які утворюються в процесі газифікації за годину:

$$M_{CG} = G_{BC} \cdot K_G = 126 \cdot 1,7 = 214 \text{ кг / год.}$$

Для визначення об'ємної витрати сухих газів розраховуємо їх густину за (9.8):

$$\rho_G = \frac{44 \cdot 5,5 + 28 \cdot (31 + 0,35 + 48,9) + 36 \cdot 0,2 + 2 \cdot 12 + 16 \cdot 2}{2240} = 1,16 \text{ кг / м}^3$$

Об'ємна витрата газів:  $V_G = M_{CG} / \rho_G = 214 / 1,16 = 184,48 \text{ м}^3 / \text{год.}$

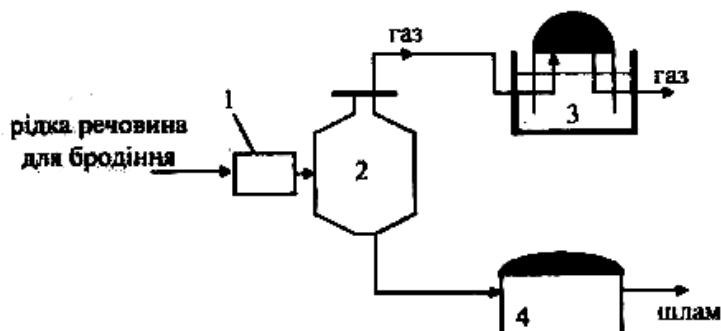
*Біогаз* – суміш  $CH_4$  та  $CO_2$  – продукт анаеробної ферментації органічних речовин. Ці речовини розкладаються метановими бактеріями за таких основних сприятливих умов для їх життєздатності:

- відсутності вільного кисню;
- достатньої кількості азоту;
- наявності лужного середовища ( $pH = 6,6 \dots 7,2$ );
- відсутності світла;
- відповідного значення температури;
- високої вологості (вище 50 %).

На продуктивність біогазової установки впливають:

- температурний та  $pH$  режими;
- хімічний склад та розміри частинок біомаси, яку завантажуюємо;
- тиск газового середовища в реакторі;
- концентрація мікроорганізмів всередині реактора;
- спосіб та ефективність перемішування бродильного середовища;
- швидкість завантаження біомасою реактора;
- тривалість бродіння (час утримання біомаси в реакторі);
- наявність живильних та отруйних речовин.

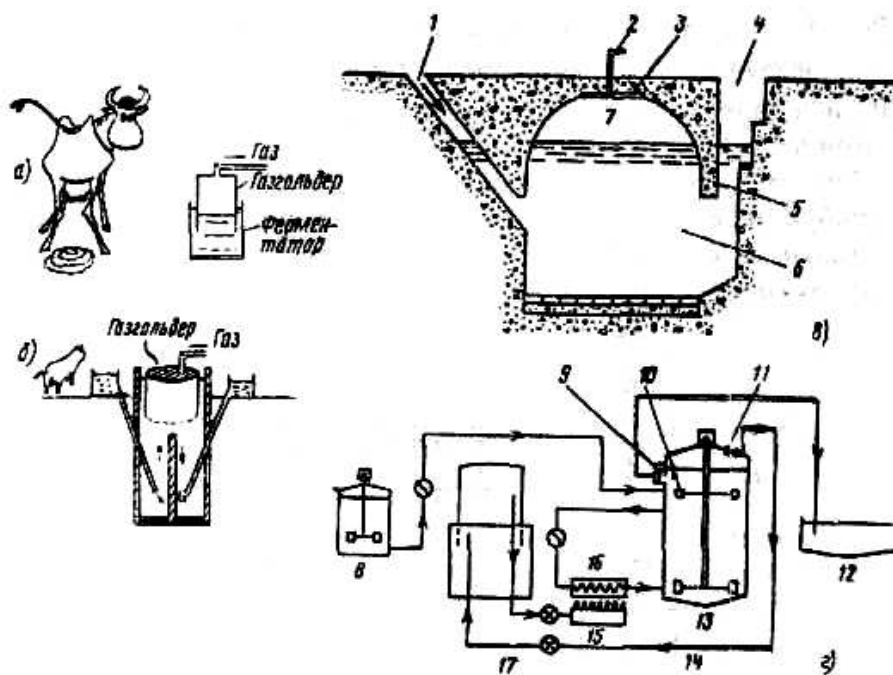
Визначаючим конструктивним елементом системи для вироблення біогазу є *біореактор* (метантенк), який наведено на рис. 9.3.



**Рис. 9.3. Схема анаеробного процесу:**  
 1 – теплообмінник; 2 – метантенк; 3 – газгольдер; 4 - шламонакопичувач

Він може бути горизонтального або вертикального виконання. Його об'єм можна визначити за кількістю завантажувальної речовини і тривалості процесу бродіння, тобто за величиною навантажувальної площі бродіння. Біогазогенератор повинен бути водо- і газонепроникливим, стійким до дії кислот, які утворюються в процесі бродіння. Виготовляють його зі сталі, бетону, пластмаси та інших матеріалів, які задовольняють поставленим вимогам. Форма метантенка залежить від місця розташування, умов експлуатації і проточно здатності конструкції.

У світовій практиці тепер використовуються такі види біогазогенераторів (рис. 9.4).



**Рис. 9.4. Різновиди біогазогенераторів:**  
 1 – вхід сировини; 2 – газопровід; 3 – рухоме накриття; 4 – вихід переробленої сировини; 5 – проміжна стінка; 6 – ферментатор; 7 – газ; 8 – нагромаджувач;  
 9 – клапан; 10 – розміщувач; 11 – скло; 12 – ємність для продуктів переробки;  
 13 – газогенератор; 14 – подача газу; 15 – пальник; 16 – теплообмінник;  
 17 – водяний газгольдер

- *домашній блок* для тропічних регіонів (для переробки гною) (а);
- *індійська система на гобарі*. Гобар – висушений на сонці «коров'ячий плячок» стає придатним, як паливо. Понад 100 тис. таких установок є в Індії. У нагромаджувачі гній відділяється від зайвих домішок (соломи). Пізніше в ньому йде процес бродіння 14-30 діб. Газгольдер одночасно створює тиск до 10 см водяного стовпчика. Відходи від переробки йдуть на удобрення ґрунту (б);
- *китайський біогазогенератор*: стаціонарний купольний корпус з бетону (є дешевим за металічний плаваючий газгольдер). Збільшення об'єму газу призводить до зростання тиску, тим самим до регулювання подачі бродильної біомаси (в);
- *автоматизована промислова установка з підігрівом до 35 °С* (г).

### **Розрахунок анаеробного процесу.**

Продуктивність біогазової установки:

$$V_{\bar{o}} = B_{ek} \cdot a \cdot \vartheta \cdot K, \quad (9.15)$$

де  $a$  – кількість органічних речовин, %;  $\vartheta$  - вихід біогазу на 1 кг органічної речовини (ОР). Орієнтовні значення  $\vartheta$ : для великої рогатої худоби (ВРХ) – 0,24...0,3 м<sup>3</sup> / кг; для свиней – 0,4...0,45 м<sup>3</sup> / кг; для птиці – 0,6 м<sup>3</sup> / кг;  $K$  – коефіцієнт бродіння (0,4-0,3);  $B_{ek}$  – кількість екскрементів за добу:

$$B_{ek} = n_1 b_1 + n_2 b_2, \quad (9.16)$$

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 метантенка:

$$V_{\bar{o}} = \frac{(\vartheta_{ГР} \cdot K_{op.p.})}{\tau} \cdot \left( 1 - \frac{K}{(\tau \cdot W_{max} - 1 + K)} \right), \quad (9.17)$$

де  $V_{\bar{o}}$  – добовий вихід метану СН<sub>4</sub> (м<sup>3</sup> за добу з 1 м<sup>3</sup> реактора);  $\vartheta_{ГР}$  - граничний вихід метану за добу (м<sup>3</sup> за добу з 1 кг ОР);

- для гною ВРХ 0,2 ± 0,05;
- для свинячого гною 0,5 ± 0,05;

$K_{op.p.}$  – концентрація ОР на виході (м<sup>3</sup> / кг);  $\tau$  – час повного обміну рідини в реакторі, год;  $K$  – кінематичний коефіцієнт:

$$\text{- для гною (ВРХ)} \quad K = 0,8 + 0,001e^{0,06S}, \quad (9.18)$$

$$\text{- для свинячого гною} \quad K = 0,5 + 0,0043e^{0,091S}; \quad (9.19)$$

$W_{max}$  – максимальна швидкість росту мікроорганізмів (доба<sup>-1</sup>), яка залежить від температури бродіння  $T_{\phi}$ :  $W_{max} = 0,013 \cdot T_{\phi} - 0,129$ .

Об'єм метантенка:

$$V_M = \tau \cdot V_P \cdot K_3, \quad (9.20)$$

де  $V_P$  – об'єм рідкої маси екскрементів, які подають в установку за добу;  $K_3$  – коефіцієнт, який враховує поправку на об'єм біогазу.

Рівняння теплового балансу метантенка:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \quad (9.21)$$

де  $Q$  – кількість тепла з виробленого біогазу протягом доби:

$$Q = V_6 \cdot Q_H^C, \quad (9.22)$$

де  $V_6$  – кількість біогазу, який утворюється протягом доби;  $Q_H^C$  – теплотворна здатність біогазу, кДж / м<sup>3</sup>;  $Q_1$  – кількість теплоти, яка необхідна для підігрівання органічних речовин в об'ємі добової продуктивності установки:

$$Q_1 = B_{ek} \cdot C_p \cdot \Delta t \cdot (t_k - t_{II}), \text{ мДж / добу} \quad (9.23)$$

$Q_2$  – втрати теплоти через поверхню реактора;  $Q_3$  – кількість теплоти, яка еквівалентна спожитій електричній енергії;  $Q_4$  – кількість теплоти, яка еквівалентна енергії затраченій на перемішування органічних речовин в метантенку.

### Приклад.

#### Задача 2

Біогазова установка об'ємом  $V$  переробляє с/г відходи (гній ВРХ). Технологічні параметри анаеробного процесу: температура ферментації  $t_\phi$ , тривалість повного обміну біомаси  $\tau_{6p}$ . Визначити продуктивність установки з біогазу за добу.

*Розв'язання.*

Приймаємо:  $V = 8 \text{ м}^3$ ;  $t_\phi = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $\tau_{6p} = 10$  діб.

Продуктивність біогазової установки визначаємо із співвідношення (17), де  $\vartheta_{гр}$  - граничний вихід метану за добу з 1 кг гною ВРХ –  $0,2 \pm 0,05$ ;  $K_{op.p.}$  – концентрація ОР на виході ( $210 \text{ м}^3 / \text{кг}$ );  $\tau$  – час повного обміну матеріалу в реакторі (10 діб);  $K$  – кінематичний коефіцієнт гною (ВРХ):  $K = 0,8 + 0,001 \cdot e^{0,06S}$ ;  $S$  – ацетат, його величина коливається в межах 80...120.

$$K = 0,8 + 2,7^{0,0685} = 158,47$$

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

$$W_{max} = 0,013 \cdot 313 - 0,129 = 3,94$$

Продуктивність з 1 м<sup>3</sup> установки за добу:

$$V_6 = \frac{(0,25 \cdot 210)}{10} \cdot \left( 1 - \frac{158,47}{(10 \cdot 3,94 - 1 + 158,47)} \right) = 1,0237 \frac{M_{\text{біог.}}^3}{\text{добу}}$$

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Розв'язати задачі 1 та 2, згідно варіанту.
3. Зробити висновки.

### Варіанти завдань

#### До задачі 1

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>G</i> , кг / год	200	300	400	500	100	600	700	800	900
<i>W</i> , %	30	35	40	45	50	55	60	32	38
<i>Kz</i> ,	1,7	1,8	1,9	1,6	1,4	1,35	1,75	1,3	1,4

#### До задачі 2

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>V</i> , м <sup>3</sup>	8	10	12	14	16	18	20	22	15
<i>t<sub>ф</sub></i> , °C	40	41	42	39	43	38	44	45	46
<i>τ<sub>ор</sub></i> , діб	10	12	14	16	12	14	10	12	13
<i>ϑ<sub>ГР</sub></i> , (ВРХ)	0,2	0,1	0,08	0,09	0,075	0,05	0,115	0,15	0,06
<i>K<sub>ор.р.</sub></i> , м <sup>3</sup> / кг	210	210	210	210	210	210	210	210	210
<i>S</i>	85	80	100	95	90	110	105	120	105

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають біомасою і що є джерелом біомаси?
2. Вимоги до принципу перероблення біомаси?
3. Переваги та недоліки використання біомаси?
4. Енергетичні процеси перероблення біомаси?
5. Що називають газифікацією?
6. Що називають біогазом і що впливає на продуктивність біогазової установки?
7. Що називають анаеробним процесом?
8. Різновиди біогазогенераторів?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

#### ГЕОТЕРМАЛЬНА ЕНЕРГІЯ. РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ГЕОТЕРМАЛЬНОГО ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.

*Мета роботи:* вивчити способи використання геотермальної енергії та визначити кількість геотермальної води для теплоносія.

#### ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Серед поновлюваних джерел енергії найбільш перспективним і готовим до практичного використання є тепло Землі. Теплове випромінювання Землі складає приблизно  $1,2 \cdot 10^6$  кал / (см<sup>2</sup> · с), або для всієї поверхні планети –  $2 \cdot 10^{20}$  кал / рік.

Критерієм теплового стану земної кулі є поверхневий градієнт температури, який дозволяє судити про втрати тепла планетою Земля. Екстраполюючи  $\text{grad } t$  на великі глибини, можна в певній мірі оцінити температурний стан Землі.

Величина, яка відповідає заглибленню в метрах, водночас з підвищенням температури на 1 °С, називається *геотермальною ступінню*  $\sigma$ .

У зв'язку із зміною інтенсивності сонячного випромінювання тепловий режим перших 1,5-40 м земної кори характеризується добовими і річними коливаннями температури. Глибше мають місце багаторічні і вікові коливання температури, які з глибиною затухають.

На будь-якій глибині температуру  $T$  гірських порід можна розрахувати за таким співвідношенням:

$$T = \frac{t_0 + (H + h)}{\sigma}, \quad (10.1)$$

де  $t_0$  – середня температура даної місцевості;  $H$  - глибина, для якої розраховують температуру;  $h$  – глибина шарів постійних річних температур;  $\sigma$  – геотермальна ступінь, її величина дорівнює 33 м і з поглибленням від зон постійних температур на кожні 33 м температура підвищується на 1 °С.



Системи для добування теплоти поділяють на три основні групи:

- з природними або ендегенними рухомими теплоносіями (термальні води, пара, газ, магма), які виходять на земну поверхню під дією власного природного напору:

Повний запас теплоти водоносного шару з товщиною  $h$  дорівнює:

$$E_0 = F[p' \cdot p_B \cdot C_B + ((1-p') \cdot p_{CF} \cdot C_{CF})] \cdot h \cdot (T_2 - T_1), \text{ Дж} \quad (10.2)$$

де  $p_B$ ,  $C_B$  – густина і теплоємність води;  $p_{CF}$ ,  $C_{CF}$  – густина (кг / м<sup>3</sup>) і теплоємність (Дж / (кг · К)) сухої скельної породи;  $F$  – площа залягання, м<sup>2</sup>;  $p'$  – пористість породи.

- з техногенними (нагнітання речовини в горизонти) теплоносіями. У цьому випадку нагрівання теплоносія здійснюють в природних або штучних породах-теплообмінниках. Циркуляція теплоносія здійснюється за допомогою системи pomp і експлуатаційних свердловин:

Повний запас теплоти скельного ґрунту на глибині  $(z_2 - z_1)$  дорівнює:

$$E_0 = p_{CF} \cdot F \cdot C_{CF} \cdot G \cdot \frac{(z_2 - z_1)^2}{2} = p_{CF} \cdot F \cdot C_{CF} \cdot (z_2 - z_1) \cdot \frac{T_2 - T_1}{2}, \text{ Дж} \quad (10.3)$$

де  $G = \frac{dT}{dz} = \frac{T_2 - T_1}{z_2 - z_1}$  - температурний градієнт, К / км.

- без рухомих теплоносіїв. До них відносять системи перенесення теплоти у теплопровідних каналах, транс енергетичні системи з напівпровідниковими батареями і хімічними реакторами.

### **Способи використання геотермального тепла.**

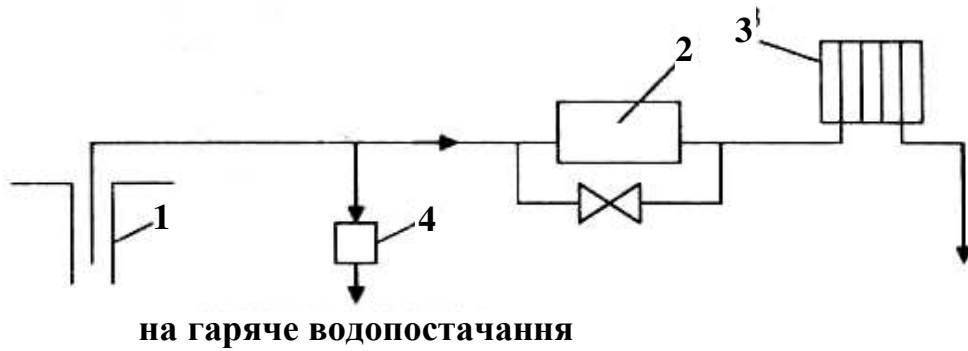
Потенційними споживачами глибинного тепла Землі можуть бути різні галузі: енергетична, харчова, сільське господарство, лісопереробна, целюлозно-паперова, нафтогазова.

Основними показниками, які впливають на використання геотермального теплоносія в галузі є: температура, яка може коливатись від 40 до 150 °С і вище; дебіт, який може бути від 100 до 10<sup>4</sup> м<sup>3</sup> / добу; ступінь мінералізації від 1,5 до 100 г / л.

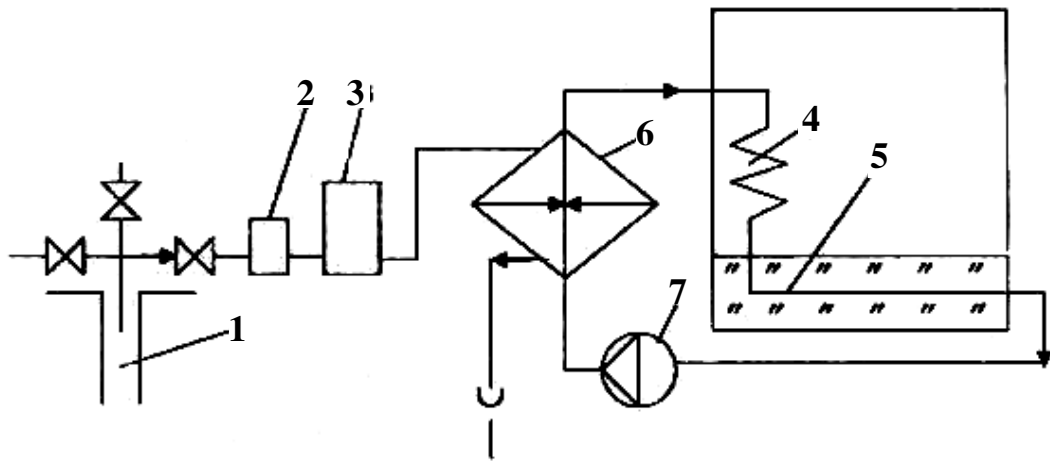
Для теплопостачання житлових і промислових приміщень існують такі способи використання геотермальної води:

- безпосереднє подавання води в систему опалення;
- безпосереднє подавання з попереднім хімводоочищенням;
- безпосереднє подавання і до нагрівання води у водонагрівних котлах або теплообмінниках;
- незалежна схема подавання з використанням проміжних теплообмінників різних типів. У цих випадках температура геотермальної води повинна бути не нижча, ніж 50...60 °С.

На рис. 10.1 та 10.2 наведено схеми прямого геотермального теплопостачання різних приміщень.



**Рис. 10.1.** Подавання геотермального тепла для опалення та гарячого водопостачання:  
 1 – свердловина; 2 – піковий нагрівач; 3 – система опалення; 4 – бак-акумулятор



**Рис. 10.2.** Незалежна схема з теплообмінником поверхневого типу:  
 1 – свердловина; 2 – пристрій очищення від забруднень; 3 – дегазатор;  
 4 – система опалення в теплиці; 5 – система опалення ґрунту;  
 6 – теплообмінник поверхневого типу; 7 - помпа

Для перетворення теплової енергії геотермального теплоносія у механічну роботу використовують парові і гідропаротурбінні енергоустановки. Надходження геотермального теплоносія до паротурбінної установки у випадку фонтанного добування може здійснюватись за такими схемами: *прямою, непрямою і змішаною.*

У прямій схемі теплоносій у вигляді пари із свердловини рухається трубопроводами безпосередньо до турбіни. Після турбінний конденсат і неконденсовану пару використовують для теплофікації або для хімічного виробництва. В непрямій схемі проводиться попереднє очищення пари від агресивних газів. У випадку змішаної схеми неочищений природний газ надходить в турбіну, виконуючи роботу, а з утвореного конденсату виділяють нерозчинені у ньому газу.

Геотермальну енергію доцільно використовувати як для виробництва електроенергії, так і для опалювання. Якщо температура теплоносія буде 300 °С і більше, то в цьому випадку доцільно виробляти електроенергію. За менших

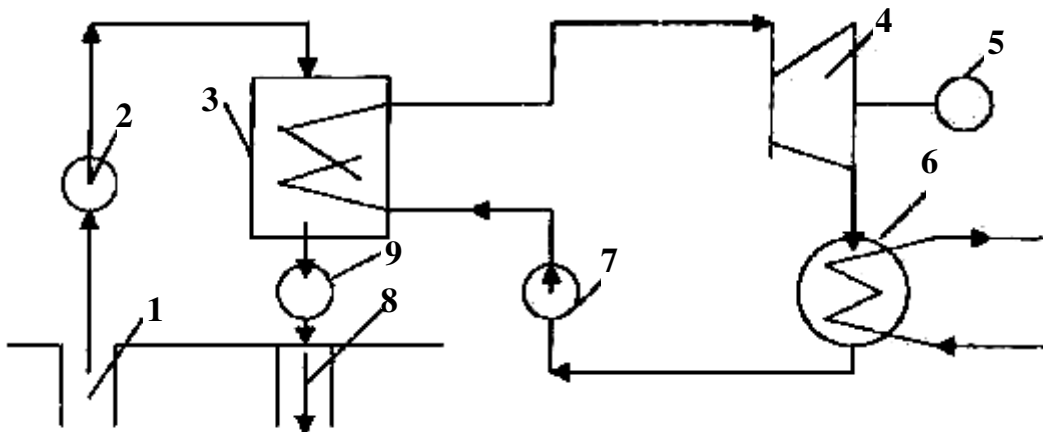
температур доцільно використовувати геотермальну енергію у вигляді тепла, з застосуванням його безпосередньо в місцях видобування. Теплова станція потужністю 100 МВт може забезпечити населений район площею до 400 км<sup>2</sup> зі споживанням тепла до 2 кВт на окрему забудову.

### **Основи розрахунку з використання геотермальної енергії.**

На рис. 10.4 наведено одноконтурну паротурбінну геотермальну станцію.

Тепловий розрахунок одноконтурної паротурбінної геотермальної станції (рис. 10.4) проводять в такій послідовності.

1. Визначають питому роботу за цикл (роботу, яка припадає на 1 кг геотермального теплоносія).
2. Визначають внутрішній ККД енергоустановки.
3. Ефективний ККД енергоустановки ГеоТЕС визначається так:
4. Важливим пристроєм в системі теплопостачання геотермальними водами є теплообмінний апарат. В основі розрахунку теплообмінного апарату лежать два рівняння: рівняння балансу і теплопередачі.



**Рис. 10.4. Геотермальної ТЕС з використанням замкнутого контуру на низькокипячій речовині:**

- 1, 8 – свердловини відповідно для гарячого та відпрацьованого теплоносія;  
 2, 9 – помпи відповідно для гарячого та відпрацьованого теплоносія;  
 3 – парогенератор; 4 – парова турбіна; 5 – електричний генератор;  
 6 – конденсатор; 7 – помпа для низькокипячої речовини**

### **Приклад.**

Розрахувати необхідну кількість геотермальної води з температурою  $t_T = 68\text{ }^\circ\text{C}$  для теплиці площею  $F = 150\text{ м}^2$ . Мінімально допустима температура теплоносія на виході із системи опалення за агротехнічними вимогами дорівнює  $33\text{ }^\circ\text{C}$ . Температура повітря зовні, при якій включається система нагрівання ґрунту  $t'_H = 5\text{ }^\circ\text{C}$ .

Розв'язання.

Витрату геотермального теплоносія визначаємо за співвідношенням:

$$F_{ГР} = 10^3 \cdot G_{Г} \cdot \frac{(t_{Т} - t'_{Т})}{(t_{Т} + t'_{Т} - 2t'_{Н})}$$

де  $G_{Г}$  – витрата геотермальної води, т / год;  $t_{Т}$  – температура геотермальної води, яка використовується в системі обігрівання теплиці;  $t'_{Т}$  – мінімально допустима температура теплоносія на виході із системи опалення за агротехнічними вимогами;  $t'_{Н}$  – температура повітря зовні, за якої включається система нагрівання ґрунту.

звідки:

$$G_{Г} = F_{ГР} \frac{(t_{Т} + t'_{Т} - 2t'_{Н})}{(t_{Т} - t'_{Т})} \cdot 10^3 =$$
$$= 150 \cdot \frac{(68 + 33 - 2 \cdot 5)}{(68 - 33)} \cdot 10^3 = 0,411 \text{ , кг / с.}$$

## ЗАВДАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Розв'язати задачу, згідно з варіантом.
2. Зробити висновки.

### Варіанти завдань

Варіанти	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$t_{Т}, ^{\circ}\text{C}$	82	85	72	67	90	75	65	82	55
$F, \text{м}^2$	330	420	250	200	220	300	460	320	340
$t'_{Н}, ^{\circ}\text{C}$	1	-1	-2	-3	0	-5	-8	-7	-4

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають геотермальною енергією?
2. На які групи поділяються системи добування теплоти?
3. Способи використання геотермального тепла?
4. Схеми геотермального теплопостачання?
5. Порядок розрахунку одно контурної паротурбінної геотермальної станції?
6. Пряма, непряма та змішана схема надходження геотермального теплоносія до паротурбінної установки?

## СКЛАД ЗВІТУ:

1. Титульний аркуш.
2. Назву роботи.
3. Мету роботи.
4. Теоретичні відомості.
5. Завдання до виконання роботи, згідно варіанту.
6. Результати виконання завдання.
7. Висновки.

Звіт з лабораторної роботи повинен бути виконаний на аркушах формату А4 (297\*210 мм).

## ЛІТЕРАТУРА ДО ЛАБОРАТОРНОГО КУРСУ

1. Довідник сільського електрика / [за ред. В. С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп.] – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
2. Притака І. П. Електропостачання сільського господарства / Притака І. П. – 2-е вид. перероб. та доп. – К.: Вища школа. Головне вид-во, 1983. – 343 с.
3. Будзко І. А. Електроснабження сільського хазяйства / Будзко І. А., Зуль Н. М. – М.: Агропромиздат, 1990. – 496 с.
4. Практикум по електроснабженню сільського хазяйства / [под редакцией Будзко І. А.] – М.: Колос, 1982. – 319 с.
5. Правила устрою електроустановок. – Х.: Изд-во «Форт», 2009. – 704 с.
6. Харкута К. С. Практикум по електроснабженню сільського хазяйства / Харкута К. С., Яницький С. В., Ляш Э. В. – М.: Агропромиздат, 1992. – 223 с.
7. Федотов А. А. Основы электроснабжения промышленных предприятий. Учебник для вузов / Федотов А. А., Каменева В. В. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с.
8. Самохвалов В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження / Самохвалов В. С.: навч. посібник – К.: Центр учбової літератури, 2008. – 224 с.
9. Двигатели внутреннего сгорания : учебник для студ. вузов, обучающихся по спец. "Автомобили и автомобильное хозяйство" направления подгот. дипломир. специалистов "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / [В. Н. Луканин, И. В. Алексеев, М. Г. Шатров и др.]. – 2-изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2005. – 400 с.
10. Станиславский Л. В. Двигатели внутреннего сгорания: [учеб. пособие] / Л. В. Станиславский, О. П. Дзецина // Восточноукраинский ун-т. – К.: ИСИО, 1994. – Ч. 1. – 100 с.
11. Дудюк Д. Л. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: [навчальний посібник] / Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. – Львів: «Магнолія 2006», 2008. – 188 с.
12. Савчук А. Й. Нетрадиційні способи та засоби видобутку

електроенергії: [навчальний посібник: частина перша] / Савчук А. Й. – Чернівці: Рута, 2002. – 58 с.

13. Щербина О. М. Енергія для всіх: [технічний довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії / Вид. 4-е, допов. і перероб.] / Щербина О. М. – Ужгород: Вид-во В. Падяка, 2007. – 340 с.

14. Твайдейл Дж. Возобновляемые источники энергии / Твайдейл Дж., Уэйр А. : [пер. с англ.] – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 392 с.

15. Паранич С. Ю. Використання енергії Сонця: [навчальний посібник] / Паранич С. Ю. – Чернівці: Рута, 2002. – 47 с.

16. Ветроэнергетика / [под. ред. Д. де Ренццо: пер. с англ.: под ред. Я.И. Шефтера]. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 272 с.

17. Андерсон Б. Солнечная энергия: (Основы строительного проектирования) / Андерсон Б.: [пер. с англ. Анисимова А. Р.; Под ред. Малевского Ю. Н.]. – М. : Строииздат, 1982. – 375 с.

18. Раушенбах Г. Справочник по проектированию солнечных батарей / Раушенбах Г. [пер. с англ.]. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 360 с.

19. Голик О. П. Розрахунок основних показників роботи горизонтально-осьової вітроелектричної установки у складі системи автоматизованого енергопостачання автономного споживача в умовах Кіровоградського регіону / О. П. Голик, Р. В. Жесан, Є. П. Босов, Н. С. Крепак // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць Кіровоград. нац. техн. ун-ту – 2008. – Вип. 21. – С. 224-233.

20. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Частина I: навчальний посібник для здобувачів освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Уклад.: О.П. Голик, Р.В. Жесан, І.В. Волков [та ін.]. – Кропивницький : Видавець Лисенко В.Ф., 2020 – 192 с. ISBN 978-617-7813-05-6

<http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/9295>

ДЛЯ НОТАТОК