

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

**Конспект лекцій
з навчальної дисципліни
«Енергозбереження та використання поновлюваних
джерел енергії»**

для студентів 4 курсу
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Частина I



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

**Конспект лекцій
з навчальної дисципліни
«Енергозбереження та використання поновлюваних
джерел енергії»**

для студентів 4 курсу
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Частина I

Рекомендовано кафедрою
автоматизації виробничих
процесів,
протокол № 9 від 20.03.2023 р.

Конспект лекцій з навчальної дисципліни «Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії» для студентів 4 курсу спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. / [уклад.: Р. В. Жесан, О. П. Голик]. Частина I. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 63 с.

Рецензент: к. т. н., проф. В. М. Каліч.

Рекомендовано кафедрою автоматизації виробничих процесів, протокол № 9 від 20.03.2023 р.

ЗМІСТ

<u>ТЕМА 1</u>	МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ». ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ	7
	Мета та завдання навчальної дисципліни	7
	Основні поняття, терміни та визначення	8
<u>ТЕМА 2</u>	ПОТЕНЦІАЛ ПОТРЕБИ І ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ	17
	Енергетичний потенціал та структура енергетики світу	17
	Енергетика України на сучасному етапі	20
	Енергетика України до повномасштабної війни з РФ	20
	<i>На рубежі XX та XXI сторіч</i>	20
	<i>У 10-20-х роках XXI сторіччя</i>	23
	Енергетика України під час повномасштабної війни з РФ (починаючи з 24.02.2022 р.)	28
<u>ТЕМА 3</u>	ПАЛИВО	29
	Загальні відомості	29
	Склад і характеристика палива	29
	Тверде паливо	31
	Рідке паливо	32
	Газоподібне паливо	33
<u>ТЕМА 4</u>	СІЛЬСЬКІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ	35
	Поняття сільської електростанції	35
	Різновиди сільських електростанцій	35
	Теплові електростанції, їх різновиди і основні конструкції	35
	<i>Теплові конденсаційні електричні станції (КЕС)</i>	35
	<i>Теплофікаційні електростанції – теплоелектроцентралі (ТЕЦ)</i>	38
	<i>Газотурбінні електростанції</i>	39
	<i>Атомні електричні станції (АЕС)</i>	40
	<i>Електроагрегати та електростанції з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ)</i>	40
	Гідравлічні електростанції, їх різновиди та особливості, типові схеми	42
	<i>Класичні (греблеві) гідравлічні електричні станції (ГЕС)</i>	42
	<i>Гідроакумлювальні електричні станції (ГАЕС)</i>	45
<u>ТЕМА 5</u>	ГРАФІКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	47
	Електричні навантаження с/г підприємств і населених пунктів	47
	Методи одержання графіків навантажень та їх різновиди	48

Побудова річного графіка навантаження за тривалістю та визначення основних показників ефективності енергопостачання (енергоспоживання)	50
Приклад побудови річного графіка навантаження за тривалістю за конкретними даними	52
<u>РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА</u>	62

ТЕМА 1
МЕТА ТА ЗАВДАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ПОНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ». ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ

Мета та завдання навчальної дисципліни

Навчальна дисципліна *«Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії»* відноситься до дисциплін вільного вибору і викладається для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» 1-го освітнього рівня «бакалавр» в обсязі 2 кредитів ЄКТС (60 год.) у 8-му навчальному семестрі.

Мета навчальної дисципліни – забезпечення здобувачів вищої освіти комплексом знань, умінь та навичок, необхідних для застосування в професійній діяльності у сфері використання різних видів енергії та різноманітних енергетичних пристроїв і обладнання; ознайомлення із існуючими та перспективними методами енергозбереження; принципами, способами та особливостями використання поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії, що застосовуються для задоволення потреб сучасного виробництва; формування навичок системного підходу до створення та використання сучасних енергетичних засобів, наукових досліджень, адміністративно-організаційного управління.

Передумови для вивчення дисципліни (структурно логічна схема підготовки бакалавра): враховуючи послідовність накопичення знань та інформації, дисципліна *«Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії»* вивчається після викладання наступних дисциплін: «Фізика»; «Технології виробництва, переробки та зберігання с/г продукції»; «Теоретичні основи електротехніки»; «Теплотехніка»; «Основи екології»; «Електроніка та мікросхемотехніка»; «Основи метрології та електричних вимірювань»; «Основи електроприводу»; «Машини та обладнання АПК»; «Основи енергоменеджменту в АПК».

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- стан та перспективи розвитку енергетичної галузі;
- поняття, визначення та термінологію щодо категорій «енергія», «паливо», «енергетичні засоби», «енергозбереження», «поновлювані джерела енергії»;
- класифікацію палив та джерел енергії;
- методи побудови та дослідження графіків навантажень;
- елементи розрахунку засобів енергетики, що застосовуються в сільськогосподарському виробництві;
- методи, аналізу, синтезу та оптимізації функціональних вузлів та електричних схем;

вміти:

- робити обґрунтований вибір видів енергії, палива та енергетичних засобів;

- розраховувати основні елементи сучасних засобів енергетики;
- будувати та досліджувати графіки енергопостачання (енергоспоживання) споживачів енергії;
- моделювати та досліджувати роботу енергетичних засобів у сучасних програмних пакетах;
- обґрунтовано обирати елементи схем електричних принципів;
- застосовувати на практиці методи оптимізації схем.
- формувати у суспільстві нову свідомість в сфері використання поновлюваних (відновлюваних) джерел енергії.

Результатом вивчення навчальної дисципліни є використання набутих знань в курсовому та дипломному проектуванні, а також у подальшій практичній діяльності.

Основні поняття, терміни та визначення

Розглянемо основні поняття, терміни та визначення, з якими нам доведеться оперувати в подальшому.

Енергія (з давньогрецьк. – діяльність) – це скалярна фізична величина, загальна кількісна міра руху і взаємодії всіх видів матерії. Енергія не виникає ні з чого і нікуди не зникає, вона може тільки переходити з одного стану в інший (закон збереження енергії). Поняття енергії поєднує всі явища природи в одне ціле, є загальною характеристикою стану фізичних тіл і фізичних полів. Внаслідок існування закону збереження енергії поняття «енергія» поєднує всі явища природи.

Поняття енергії пов'язане зі здатністю фізичного тіла або системи виконувати *роботу*. При цьому тіло або система частково втрачає енергію, витрачаючи її на зміни в навколишніх тілах.

Поняття енергії складалося в науці протягом багатьох століть. Його розуміння весь час змінювалося. Уперше термін «енергія» у сучасному фізичному розумінні застосував у 1808 р. англійський учений широкого профілю (фізик, механік, лікар, ботанік, астроном, філолог і сходознавець) Т. Юнг. До того вживався термін «жива сила» (латиною *vis viva*), який ще в 17-му столітті ввів у обіг німецький математик, фізик, філософ, логік, мовознавець і дипломат Г. В. Лейбніц, визначивши його як добуток маси на квадрат швидкості.

Відповідно до різних форм руху матерії, розрізняють кілька типів енергії: *механічна, електрична, хімічна, атомна, теплова* та ін. Цей поділ є досить умовним. Так, хімічна енергія складається з кінетичної енергії руху електронів, їхньої взаємодії та взаємодії з атомами. У різноманітних фізичних процесах різні види енергії можуть перетворюватися один у інший. Наприклад, атомна енергія в атомних електростанціях перетворюється спочатку у внутрішню теплову енергію пари, яка обертає турбіни (механічна енергія), що в свою чергу індукують електричний струм у генераторах (електрична енергія), який використовується для освітлення (енергія електромагнітного поля) тощо.

У фізиці енергія зазвичай позначається латинською літерою *E*.

У Міжнародній системі одиниць (SI) енергія вимірюється у джоулях (Дж), а у системі СГС – у ергах ($1 \text{ ерг} = 10^{-7} \text{ Дж}$).

Поняття «енергія» нам настільки знайоме, що ми відносно нього часто навіть не замислюємося, незважаючи на його багатогранність... Проте, і при вивченні даної навчальної дисципліни, і, тим більш, у Вашій подальшій професійній діяльності ми будемо говорити про енергію у її *прикладному значенні* – як про основоположну складову виробництва, побуту і життя в цілому.

Під *енергозбереженням*, у відповідності до Закону України «Про енергозбереження», 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.

Енергозбереження, енергоощадність або енергоощадження, стосується зменшення споживання енергії шляхом використання меншої кількості енергетичних послуг. *Енергоощадність* відрізняється від *енергоефективності*, яка стосується використання меншої кількості енергії за ту саму послугу. Наприклад, менше користуватись авто – *енергоощадність (енергозбереження, заощадження енергії)*, а пересісти на авто з меншою витратою палива, або на електромобіль – *енергоефективність*. Але і *енергоощадження*, і *енергоефективність* є техніками зменшення використання енергії.

Проблема енергозбереження тісно переплітається з проблемами енергетики, екології, технічного переозброєння та структурної перебудови всієї економіки. Важливість енергозбереження підтверджується статусом державної політики та державними органами в усіх високорозвинених країнах (Японія, США, Франція, Німеччина, Велика Британія тощо). Багато країн світу, й Україна в тому числі, прийняли відповідні законодавчі акти та створили як загальнодержавні, так і регіональні органи з управління енергозбереженням.

Енергетичні ресурси (енергоресурси) або джерела енергії – це матеріальні об'єкти, в яких зосереджена енергія, придатна для практичного використання людиною. Енергоресурси поділяють на:

- *первинні енергоресурси {джерела енергії};*
- *вторинні енергоресурси {джерела енергії}.*

Первинні енергоресурси – це природні ресурси, які не переробляли і не перетворювали: сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, вода річок і морів, гейзери, вітер тощо.

Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) – енергія різних видів, що вивільняється з технологічного процесу чи установки, використання якої не є обов'язковим для здійснення основного техногенного процесу. У вужчому розумінні, *ВЕР* – 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).

ВЕР поділяють на п'ять основних груп:

- 1) *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;

- 2) *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.

- 3) *надлишкового 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;
- 4) *механічні* – ВЕР у вигляді кінетичної чи потенційної енергії в енергоносіях, якій можна реалізувати перетворенням в інші види енергії;
- 5) *силові* – енергія, що поповнює прибуткову частину енергобалансу й одержана при організації випробування суднових електростанції із навантаженням на розподільчі мережі підприємства.

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 навколишнє середовище і кількість енергетичних відходів, отриманих при виробництві та експлуатації виробленого продукту.

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

Всі існуючі на сьогодні *джерела енергії* на Землі прийнято поділяти на два класи:

- *відновлювані джерела енергії;*
- *невідновлювані джерела енергії.*

Примітка: не зважаючи на те, що у назві нашої навчальної дисципліни фігурує термін «*поновлювані джерела енергії*», серед спеціалістів закріпилася практика використовувати усталений термін «*відновлювані джерела енергії*». Хоча ці терміни, в принципі, є тотожними, все ж другий термін є загальноприйнятим у професійному середовищі, й тому в подальшому будемо переважно користуватися саме ним.

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) – це джерела на основі постійно існуючих або таких, що періодично виникають в навколишньому середовищі, потоків енергії. Типовим прикладом такого джерела є сонячне випромінювання з характерним періодом відновлення {поновлення} 24 год. Відновлювана енергія присутня у навколишньому середовищі у вигляді енергії, що не є наслідком цілеспрямованої діяльності людини, і це її найхарактерніша відмінна ознака.

Невідновлювані джерела енергії (НВДЕ) – це природні запаси речовин і матеріалів, які можуть бути використані людиною для виробництва енергії. В якості прикладів можна навести: вугілля, нафту, газ, ядерне паливо. Енергія НВДЕ, на відміну від ВДЕ, знаходиться в природі у зв'язаному стані {в родовищах} і вивільняється в результаті цілеспрямованих дій людини. Інколи про НВДЕ кажуть ще *виснажувані* або *вичерпувані*.

Існує всього *n* *ять* *першоджерел енергії*:

- 1) сонячне випромінювання;
- 2) рух і тяжіння Сонця, Землі та Місяця;
- 3) теплова енергія ядра Землі, а також хімічних реакцій та радіоактивного розпаду у її надрах;
- 4) ядерні реакції;
- 5) хімічні реакції різноманітних речовин.

Джерела 1-3 є джерелами відновлюваної енергії (за деякими винятками, див. далі). Джерелами невідновлюваної енергії є 1 (паливо на основі скам'янілих органічних з'єднань), 3 (гарячі гірські породи), 4 та 5.

Ще раз підкреслимо, що *економія енергії* – результати реалізації дій, спрямованих на зниження невиробничих витрат палива, електроенергії, теплоти механічної енергії. Характер дій може бути *пасивний* (наприклад, заміна теплоізоляції), *активний* (утилізація теплоти викидів) або *організаційний* (заміна одного виду транспорту іншим, більш ефективним в енергетичному відношенні).

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 теплоізолюючі 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 витрати, пов'язані з її нанесенням. Тому найбільш вигідна така товщина ізоляції, за якої сумарна величина затрат на ізоляцію і витрат, пов'язаних із втратами теплоти у зовнішнє середовище, мінімальна.

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

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

Запрограмоване керування 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 виатратах, 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 ВЕР на діючому енергетичному й енергоспоживаючому обладнанні. Прикладами цього є:

- *регенерація енергії* – використання залишкової енергії після завершення конкретного процесу в тому 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* – різновид 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 й інтенсифікацію технологічних процесів, захист оточуючого середовища від забруднення технологічними викидами і шкідливими газами, а також підвищення економічності промислового виробництва в цілому.

На *Рис. 1.1* наведено схему 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.

Зниження виходу горючих ВЕР передбачає:

- збір і збут сміття на підприємствах вторсировини;
- реалізацію горючих відходів у якості палива для населення;
- використання відходів деревини для виготовлення деревинно-стружкових матеріалів;
- регенерацію мастил на підприємстві або здачу на нафтобазу для їхньої централізованої регенерації, з метою забезпечення можливості повторного використання.

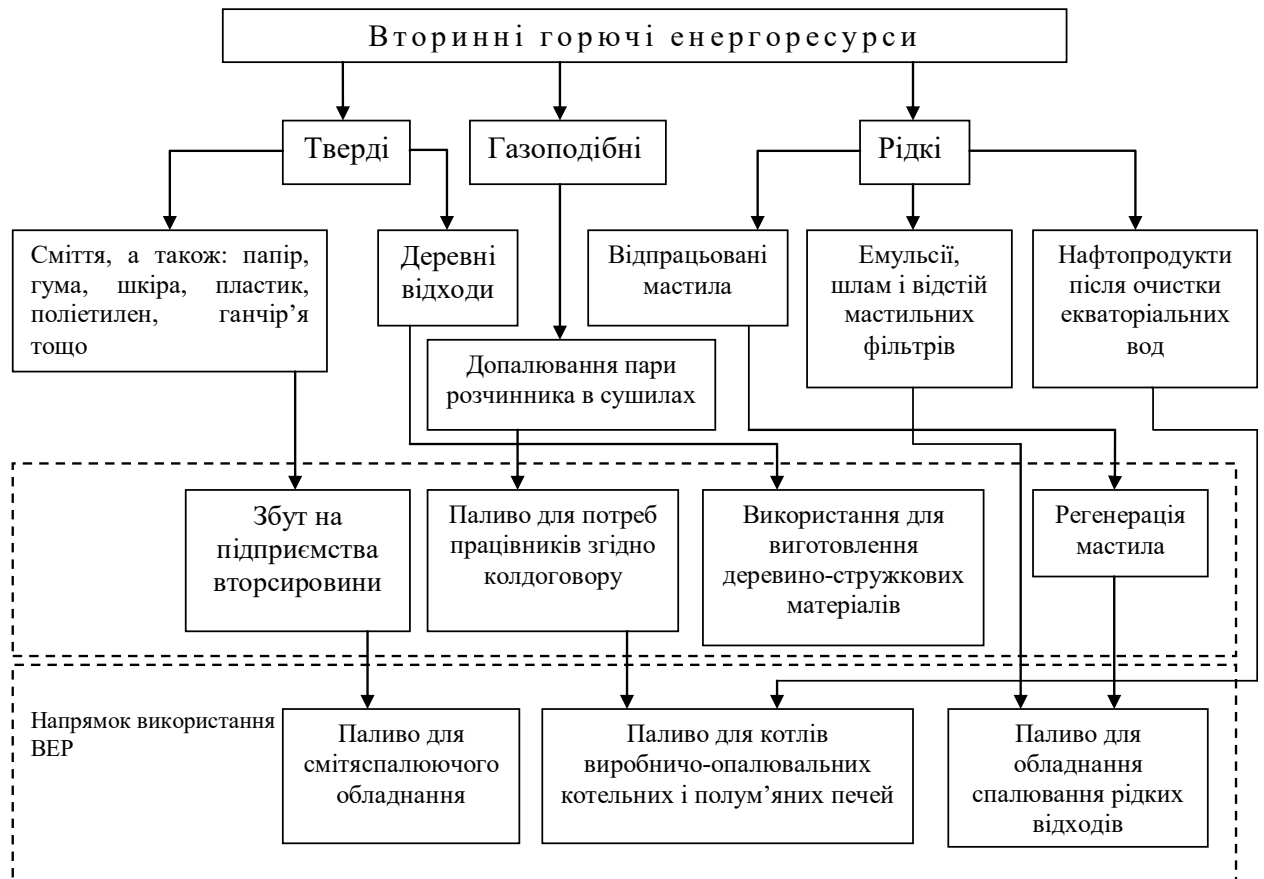


Рисунок 1.1 – Схема комплексного використання горючих ВЕР на підприємствах

Після здійснення заходів щодо зниження виходу горючих ВЕР, варто розглядати можливість забезпечення потреби в паливі за рахунок використання горючих ВЕР. 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 із 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 низькопотенціальної теплоти води (охолоджувальної води 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 у якості палива; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
 - *лакофарбове виробництво* – спалювання парів розчинника, з використанням отриманої теплоти;
 - *механічна обробка матеріалів* – використання відпрацьованих мастил у якості палива; 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 у якості палива; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
 - *випробовування енергетичних виробів* – організація випробовувань із видачею електроенергії в розподільчі мережі підприємства; використання теплоти вентиляційних викидів для підігріву припливного повітря;
 - *виробництво енергоносіїв* – установка на котлах економайзерів і повітропідігрівачів; використання відхідних газів котлів для підігріву води в контактному економайзері; утилізація теплоти стисненого повітря, при його виробленні; використання охолоджувальної 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 різновидами виробництва, а за різновидами ВЕР.

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

Рекуператор (від лат. *rekuperator* – той, що отримує зворотно, повертальний) – теплообмінник, призначений для утилізації теплоти вихідних газів, в якому теплообмін між теплоносіями відбувається безперервно через стінку, що їх розділяє (з одного боку стінки рухаються димові гази, а з іншого – повітря або газ, що нагрівається). В залежності від матеріалу, з якого виготовлені елементи рекуператорів, їх поділяють на металеві та 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 мережевій 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 сталим або таким, що мало змінюється, тепловим навантаженням, із котлами, конструктивні особливості яких створюють складнощі щодо встановлення індивідуальних економайзерів, і, нарешті, з котлами паропродуктивністю менше 2,5 т/год.

Утилізатори теплоти стисненого повітря застосовуються в компресорних станціях промислових підприємств з метою 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 охолоджувальної води в кінцевому холодильнику і зменшити втрату тиску стисненого повітря в процесі його осушення.

Відпрацьована пара використовується для потреб теплоспоживання і вироблення холоду (опалення, вентиляція, гаряче водопостачання, технологічні споживачі, абсорбційні холодильні установки). Вироблення холоду із використанням відпрацьованої пари доцільне, оскільки влітку спостерігається велика потреба в холоді, і всі надлишки відпрацьованої пари, що зазвичай 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 низькопотенціальних теплових ВЕР – регенерація теплоти повітря, що викидається в атмосферу вентиляційними системами, яке варто розглядати у якості головного джерела зниження експлуатаційних втрат на теплову обробку зовнішнього припливного повітря в системах опалення, вентиляції та кондиціонування повітря виробничих приміщень.

ТЕМА 2

ПОТЕНЦІАЛ ПОТРЕБИ І ПРОБЛЕМИ СУЧАСНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

Енергетичний потенціал та структура енергетики світу

Енергетичні проблеми, що являли нещодавно інтерес лише для вузької групи технологів та керівників, журналістів та футурологів набувають останнім часом значення шкали цінностей і дій для всіх людей, що населяють планету.

Зв'язок між життєвим рівнем суспільства і розвитком енергетики відомий. Енергетика робить внесок в добробут, забезпечуючи такі галузі споживання, як опалення, освітлення і приготування їжі, а також забезпечує необхідною енергією виробництво. Разом з тим витрати на енергетику, включаючи не лише грошові, і інші ресурси, спрямовані на одержання і використання енергії, а й видатки пов'язані з захистом навколишнього середовища і соціально-психологічними проблемами, знижують рівень добробуту.

Останнім часом першочергове значення набувають саме негативні процеси, пов'язані з енергетикою. По-перше, виникла стійка тенденція до зростання вартості енергії. Так у США за останні 20-25 років грошові витрати на постачання нафтопродуктами зросли на 25 %, а вартість виробництва електроенергії на теплових та атомних електростанціях збільшилася на 40 % і більше. При існуючих енергетичних системах та технологіях використання енергії споживачем і при схемах її споживання, що склалися, більшість промислово розвинених країн вже підійшло до тієї межі, коли з подальшим зростанням виробництва енергії видатки починають перевищувати прибуток. По-друге, велика доля тиску на навколишнє середовище, що припадає на енергопостачання, тепер починає порушувати природні процеси вже у глобальному масштабі.

На даному етапі людство стоїть перед дилемою: з одного боку, без енергії неможливо забезпечити матеріальний добробут людей, з іншого – збереження існуючих темпів її споживання може призвести до зруйнування навколишнього середовища і, як наслідок, – до зниження життєвого рівня й навіть до загрози нашому існуванню.

У Великобританії за останні 100 років інтенсивність споживання енергії на одиницю валового національного продукту знизилася більш як у 2,5 рази. Тим не менш виробництво первинної енергії зростало і складає нині 6 т у. п. на душу населення на рік. У Сполучених Штатах кількість первинної енергії, що припадає на душу населення, ще більша і складає приблизно 12 т у. п. Однак, навіть якщо виробництво енергії залишиться на існуючому рівні, гострота проблем, пов'язаних з енергетикою, не зменшиться.

Як уже відзначалося, енергоресурси Землі прийнято поділяти на відновлювані та не відновлювані (або джерела енергії – на ВДЕ та НВДЕ). Очевидно, що невідновлювані ресурси скінченні і колись мають зникнути, оскільки *швидкість їх нагромадження в надрах планети набагато менша швидкості їх витрачання* {або, іншими словами, *час накопичення (відновлення) на кілька порядків більший за час витрачання*}. Для відновлюваних ресурсів характерна співвимірність між темпами витрачання та відновлення.

Примітки: 1) для того, щоб утворився, наприклад, 1 кг кам'яного вугілля (у родовищі) природі знадобляться мільйони років, а витратиться цей 1 кг (у топці) за

- декілька хвилин;
2) якщо ж розглянути, наприклад, сонячну енергію, то її витрачання і відновлення відбуваються одночасно і періодично.

Це одна з найбільш визначальних ознак, що відрізняє НВДЕ та ВДЕ. Зважаючи на неї, вважається доцільним вимірювати НВДЕ одиницями роботи – джоулями (Дж). ВДЕ ж вимірюють одиницями потужності – ваттами (Вт).

У дев'яності роки минулого сторіччя на потреби не повних 6 млрд. чоловік, які жили на Землі, йшло 10 млрд. кВт енергії. Причому три чверті населення користувалися в середньому менше, ніж 2 кВт, а майже 400 млн. – менше 100 Вт на душу. На сьогодні споживання енергії, за різними оцінками, становить 14-25 млрд. т у. п. на рік. Енергія, що виробляється на даному етапі, отримується за рахунок різних видів палива. Зокрема, вугілля – 26,0-30,2 %, нафти – 38,2-42,0 %, газу – 20,0 %, гідроенергії – 4,0-4,2 %, ядерної енергії – 5,0 %, інших енергетичних ресурсів – близько 3,0 %. Легко підрахувати, що сьогодні до 90 % енергії ми маємо за рахунок трьох органічних палив: нафти, вугілля та газу. А утворення органічних палив є результатом теплового, механічного і біологічного впливу протягом багатьох століть на залишки рослинного та тваринного світу, що відклалися у всіх геологічних формаціях.

Найбільші енергетичні ресурси органічного палива зосереджені у вугіллі. Прогнозовані геологічні ресурси кам'яного та бурого вугілля у світі становлять 6000-15000 млрд. т у. п. Розвідана кількість вугілля складає близько 5-10 % від цих запасів. Більшість розвіданого вугілля припадає на країни СНД (53 %), Сполучені Штати Америки (27 %) та Китайську Народну Республіку (9 %). Значні родовища вугілля знаходяться в Україні.

Земні геологічні ресурси нафти складають 280-515 млрд. т у. п., з них розвідані запаси – близько 130 млрд. т у. п. Ресурси природного газу у світі оцінюються у 180-315 млрд. т у. п. Розвідані запаси нараховують 40-55 % загальногеологічної кількості.

З невідновлюваних земних енергоресурсів найбільшими є ресурси майбутньої термоядерної енергетики (яка використовує тритій, дейтерій, водень, гелій, літій) – вони, за оцінками спеціалістів, дорівнюють $3 \cdot 10^{23}$ кДж. Питання про виснаження цих ресурсів поки що серйозно не розглядалися, оскільки початок функціонування термоядерних реакторів синтезу ще тільки планується.

Загальні запаси ядерного пального визначити важко, але можна стверджувати, що вони налічують десятки або навіть сотні мільйонів тон. Бринкворт Б. стверджував, що, якби всі наявні запаси урану та торію були б піддані, розпаду, то з кожної тони сировини можна було б отримати щонайменше 100 Вт·год електроенергії. У світлі сучасних знань, ця цифра виглядає дещо сумнівною (заниженою), а теперішні запаси енергоресурсів для ядерної енергетики (із застосуванням реакторів поділу) оцінюються у $2 \cdot 10^{21}$ кДж. Це скромно, у порівнянні з ресурсами термоядерної енергетики, але на порядок перевищує енергію всіх палих копалин (близько $2 \cdot 10^{20}$ кДж). Щоправда, середній ККД перетворення потенціальної енергії ядерних енергоносіїв в корисну роботу складає 30 %.

Навіть якщо всі існуючі запаси органічного палива будуть своєчасно розвідані (що із зменшенням кількості останнього становитиме все більш складну

задачу), то, з урахуванням всезростаючого рівня витрат енергії, їх може вистачити тільки на 150-200 років (за деякими песимістичними прогнозами, із виснаженням традиційних викопних палив людство зіткнеться вже через 50-70 років).

Крім кількісних показників ще одним важливим фактором є забруднення атмосфери та поверхні Землі, що супроводжує використання органічного палива в енергетичному господарстві. Типова ТЕС потужністю 1000 МВт, що працює на вугіллі, при загальному ККД 40 %, викидає в атмосферу за рік: CO_2 – 72500 т, CO – 94 т, оксидів азоту – 350 т, оксидів сірки – до 1100 т, а також тепла з димовими газами та з водяним конденсатом до $5.5 \cdot 10^9$ кДж. При цьому, за той же рік, ТЕС поглинає з атмосфери близько 52000 т кисню. Міра забруднення атмосфери залежить від якостей палива і устаткування. Відомо, що викиди в атмосферу такої шкідливої речовини, як сірчаний газ, тепловою станцією, яка працює на вугіллі, майже в 2 рази більші, ніж тією, яка використовує нафту, і в 100 разів більші від тієї, яка використовує газ.

Передбачається скоротити споживання нафти та природного газу для потреб енергетики. Вони будуть використовуватись, головним чином, як сировина для нафтохімічної промисловості і, можливо, на виробництво палива для транспорту. Тільки вугілля ще довгий час може зберігати своє місце в енергетичному балансі, що пояснюється існуванням відносно великих його запасів.

Для відновлюваних енергетичних ресурсів енергетичний потенціал звичайно приймають рівним терміну їх використання у 100 років. Найбільш широко з відновлюваних ресурсів в даний час використовується гідроенергія. Загальні геологічні ресурси гідроенергії річок оцінюються у 2857 ГВт. Значно меншим потенціалом володіють припливи Світового океану – 13 ГВт, однак припливні електростанції (ПЕС) уже зараз з успіхом конкурують з ГЕС. Біопаливо (деревина, сільськогосподарські та інші відходи) – $8 \cdot 10^{12}$ т/рік. Крім того в Світовому океані щорічно утворюється $6 \cdot 10^9$ т рослинної маси. Енергетичні ресурси Сонця на поверхні Землі складають, за різними оцінками, від 10^{18} до $1,48 \cdot 10^{18}$ кВт·год/рік (потужність сонячної радіації, що досягає Землі $1,7 \cdot 10^{17}$ Вт). Вітровий потенціал – 20-25 млрд. кВт·год/рік. Геотермальна енергія складає, за різними оцінками, від $5 \cdot 10^{17}$ до $4 \cdot 10^{19}$ кДж.

Первісна людина до відкриття секрету зберігання вогню могла користуватися лише своєю м'язовою енергією, щоденне значення якої складало в середньому 10^7 Дж. Зараз, на початку XXI сторіччя, потреби людини в енергії, в залежності від віку, роду занять та фізичного навантаження, складають $1,1 \cdot 10^7$ - $2,1 \cdot 10^7$ Дж.

Прогнози відносно тенденцій розвитку енергетики говорять про те, що доля нетрадиційної енергетики в різних її формах буде неперервно зростати. У США доля альтернативних джерел на початок XXI ст. складала більш як 10 %. Так, якщо в 1989 р. на відновлювані джерела в США припадало 7,6 %, а на ядерне паливо – 6,6 %, то у 2000 р. доля ядерного палива залишалася на тому ж рівні, в той час, як доля сонячної енергії зросла до 23,8 %, енергії вітру – до 5,9 %, гідроенергія складає 4,2 %, енергія біомаси – 17,9 %.

Для того, щоб підтримувати сучасний рівень добробуту, людству доведеться перейти на нові системи енергопостачання. Без цього сумарне споживання високоякісних енергетичних ресурсів, за умов постійного зменшення здібності навколишнього середовища протидіяти тискові енергетики, призведе до

зростання загальних витрат, навіть при постійному рівні енергоспоживання. Щоб забезпечити економічний розвиток людства без значних витрат, які можуть звести нанівець всі вигоди, необхідно переходити на екологічно більш чисті технології виробництва енергії.

Енергетика України на сучасному етапі

Енергетика України до повномасштабної війни з РФ.

На рубежі XX та XXI сторіч.

Рівень економічного розвитку країни, досконалість технологій, що застосовуються, продуктивність праці в різних галузях господарства значною мірою визначається кількістю енергії, що виробляється і споживається, особливо електроенергії.

З аналітичної записки Науково-технічної спілки енергетиків і електротехніків України у 1999 році: «Загальна встановлена потужність електростанцій Міненерго України складає 48800 МВт, з них теплових (ТЕС) – 57,5 %, атомних (АЕС) – 26,4 %, гідравлічних (ГЕС) та гідроакумулювальних (ГАЕС) – 9,4 %, теплоелектроцентралей (ТЕЦ) – 6,7 %. В експлуатації знаходилося більше 1 млн. км ліній електропередачі всіх класів напруги, а також близько 3000 км теплових мереж».

Бачимо, що незаперечна перевага в енергетичному балансі країни належить тепловим електростанціям. Але більша частина ТЕС проектувалась і будувалась у 60-70-і роки минулого століття, їхнє обладнання, фізично зношене і морально застаріле, не відповідає технічним вимогам. 82 % теплових блоків вже відпрацювали свій розрахунковий ресурс (100 тис. год.), а 48 % – перевищили верхню межу (170 тис. год.). У мирний час з 98 блоків теплових електростанцій в роботі знаходилися, як правило, 32-33 одиниці. Екологічні показники за викидами перевищували всі норми вітчизняного законодавства, не говорячи вже про вимоги з боку Європейської Спільноти.

Для прикладу, в першому півріччі 1999 р. на електростанціях України було вироблено 86,6 млрд. кВт·год. Електроенергії; з них електростанціями Міненерго – майже 84 млрд. кВт·год., в тому числі на ТЕС вироблено 39,1 % електроенергії, на АЕС – 46,7 %, на ГЕС – 11,2 %. Виробництво енергії знизилося порівняно з першим півріччям 1998 р. на 1,54 млрд. кВт·год., або на 1,8 %. З 1990 року виробництво електроенергії в державі знизилося до 40 % початкового рівня, при зниженні споживання до 30 %. Між тим питома енергоемність підприємств-споживачів зросла в середньому на 30 %.

На рубежі XX та XXI сторіч Україна перебувала в смузі жорстокої енергетичної кризи. В умовах ринкових відносин та відсутності необхідної кількості власних запасів, за нафто- та газоенергоносії доводилося платити за світовими розцінками, а це призводило до постійного зростання цін на електроенергію. Спостерігалась суттєва невідповідність між діючими тарифами на електроенергію та фактичною вартістю палива. Кілька Урядів України намагалися ліквідувати цю невідповідність, примусивши споживачів повністю відшкодовувати вартість електроенергії (На той момент відшкодовувалося близько 80 %). Тому ціни на електрику постійно зростали.

Відомо, що власним паливом наша енергетика була забезпечена лише на третину, інше закуповувалося за кордоном, в основному в Росії. Постачання ж вугіллям, наприклад, у 1999-2001 рр. не перевищувало 80000 т на добу при потребі 110000-120000 т. Паливо для атомних електростанцій також закуповувалося за кордоном. Після того, як Україна отримала останню партію тепловиділяючих елементів (ТВЕЛ) для атомних реакторів (у якості компенсації за ліквідацію власної ядерної зброї), питання забезпеченості паливом АЕС значно загострилося. Через зміну екологічних та кліматичних умов не були забезпечені на всі 100 % гідроелектростанції; обладнання ГЕС та споруди гідровузлів, внаслідок тривалої експлуатації, мали високий ступінь фізичного зносу і вимагали реконструкції. Ситуація в національному енергетичному комплексі суттєво погіршувалася кризою неплатежів, шахтарськими страйками та роз'єднанням енергосистем України та Росії. І це ще до початку бойових дій на Сході у 2014 р., коли на окупованих територіях залишились найбільш продуктивні шахти, де видобувалося майже 100 % коксу і велика частка енергетичного вугілля.

У зимовий період частота електроенергії в національній мережі знижувалася до 49,27 Гц (1995-1997 рр.), а з кінця 1998 р. постійно балансувала на межі критичних 49 Гц. Критичні ситуації починали виникати і в літній період. Так у серпні 1999 р. довелося проголошувати надзвичайний стан в енергетиці, а в червні 2000 р. лише надзвичайними зусиллями центральної диспетчерської служби, в ручному режимі, вдалося втримати Об'єднану енергетичну систему України (ОЕС-У) від розпаду, коли частота раптом впала до 48,33 Гц. При подальшому погіршенні якості енергії реальним міг стати масовий невідворотний процес спрацьовування автоматики захисту, яка одну за одною виводила б з роботи електростанції країни і не просто знеструмила б промислові підприємства і побутових споживачів, а взагалі «поховала» українську єдину енергосистему.

Майже щотижня виникали передаварійні ситуації на українських АЕС, а виведення з ладу одного атомного реактору автоматично призводить до падіння частоти в мережі приблизно на 0,3 Гц. Загроза повного паралічу енергосистеми примушувала енергетиків інколи відмовлятися від планових профілактичних та ремонтних зупинок енергоблоків АЕС. Українська енергетика балансувала між повним крахом і загрозою виникнення нових катастроф, аналогічних чорнобильській. Виконання міжнародних зобов'язань України по закриттю Чорнобильської АЕС також далеко не покращить ситуацію.

Звичайно, безпосередні причини тодішньої енергетичної кризи в Україні носили, головним чином, політичний та економічний характер. Тим не менш, у галузі енергетичних ресурсів і виробництва енергії об'єктивно існувала й загроза вичерпання запасів палива. Через виснаження вугільних пластів закривалися шахти Донбасу, а нові родовища завжди потребують все більших капіталовкладень. Країна не мала достатніх запасів нафти та газу і імпортувала їх, все міцніше залежачи від примх магнатів – Росії та Туркменістану. Все це примушувало відшуковувати нові власні, досить потужні джерела енергії.

Крім того гостро постала проблема захисту навколишнього середовища, оскільки розвиток промисловості вів до незворотних порушень існуючої у природі рівноваги. Паливна енергетика грає не останню роль у забрудненні повітряного та водного басейнів шкідливими викидами, а також у тепловому

забрудненні навколишнього середовища. Про можливість радіоактивного забруднення в Україні всі жителі знають краще, ніж де б то не було в світі. Таким чином, нові енергоджерела, покликані замінити паливні копалини й забезпечити енергетичні потреби України в майбутньому, повинні бути не лише дуже потужними, але й досить «чистими». На тодішньому рівні розвитку науки й техніки найперспективнішими вважалися керований ядерний (термоядерний) синтез та ВДЕ (саме такі напрямки були обрані кільком Урядами України). Слід відзначити, що в нашій державі існувало і тоді, й зараз існує досить потужне атомне лобі, яке не хоче чути жодних аргументів на користь обмеження використання атомної енергії і розвитку нових форм енергопостачання.

Щоденний попит на електроенергію перевищував потужності працюючих блоків на 300 МВт (що еквівалентно потужності Південноукраїнської АЕС), «звичними» були «планові» {«віялові»} відключення електроенергії, особливо в сільській місцевості. Це складало аварійну ситуацію в ОЕС-У і постійно загрожувало відключенням енергоблоків атомних електростанцій і знеструмленням промисловості та 17 млн. побутових абонентів. Це ще і ще раз спонукало до поширення використання «нетрадиційних» ВДЕ, адже постійно підтверджувалося актуальне твердження: «Жоден вид енергії не обходиться так дорого, як її нестача».

Заради об'єктивності слід зазначити, що кілька разів робилися спроби поновлення сумісної роботи вітчизняної та російської енергосистем, і остання постійно безжально відокремлювала нас знову. Так, наприклад, 23 червня 1997 р. в Україні розпочинався процес переходу на паралельну роботу з російською енергосистемою. Після возз'єднання вітчизняної енергетики очікували досягти стабілізації частоти в мережі і наближення її до заповітної позначки 50 Гц. Перетоки енергії мали відбуватися за попередньо узгодженими сторонами графіками. А вже 12 вересня 1997 р., через значне перевищення обсягів перетоку енергії з РФ в Україну та різке падіння частоти, спрацювала автоматика російської енергосистеми, знову відокремивши останню від вітчизняної. Ми знову повернулися у вихідну точку, а Уряд знову звернувся до споживачів електроенергії із закликами до економії. Подібні ситуації неодноразово склалися і в подальшому.

Через нестабільність параметрів української енергосистеми, часто не вдавалося отримати додаткові потужності ні з Росії, ні з енергосистем європейських країн (де, крім того, і вартість електроенергії значно вища), оскільки там стабільно тримають стандартну частоту 50 Гц. З'являлися порадики, які пропонували компенсувати нестачу енергії відключенням енергосистеми Молдови (яка будувалась у радянські часи, як спільна із українською, й весь цей час стійко переживала всі наші негаразди). А роз'єднання об'єднаної українсько-молдовської енергосистеми могло викликати не тільки економічні, але й політичні претензії на міжнародній арені. Тому, як неодноразово заявляли у своїх телеінтерв'ю керівники вітчизняної енергогалузі, «віялові» відключення цілих регіонів – єдиний прийнятний, на практиці, крок. А, враховуючи значні заборгованості окремих регіонів, навіть озвучувалося, що можливою є ситуація, коли, для збереження ОЕС-У, доведеться обмежитись енергопостачанням лише Київського та Донецько-Дніпропетровського регіонів,

весь же інший простір занурити у пільму.

З протоколу засідання Кабінету Міністрів України від 13.01.1998 р.: «Розрахунки через банки за електричну і теплову енергію становлять в середньому 22,3 %. Найгірше розраховуються споживачі Дніпропетровської (5,8 %), Харківської (7,0 %), Луганської (8,0 %), Донецької (10,3 %), Запорізької (13,5 %) областей...».

Діяла постанова Кабміну від 21.05.1997 р. «Про вдосконалення системи розрахунків за спожиту електричну та теплову енергію» та ще цілий ряд постанов, які передбачали відключення злісних неплатників. Значну частину цих нещасних становили сільськогосподарські виробники, які часто не в змозі розрахуватися з енергетиками, через борги держави перед ними самими. Таким чином «драконівські» заходи вимушено-примусової економії електроенергії набували рис тривалості й звичності.

У 10-20-х роках ХХІ сторіччя.

Після кризових явищ на рубежі ХХ-ХХІ сторіч українська енергетика перейшла у пару десятиліть стабільної роботи. Була ліквідована криза неплатежів, стабілізована частота в ОЕС-У, нормалізовані перетоки між регіонами. Стабільність у виробництві електроенергії зумовило появу її надлишків {на початку 20-х років}, які успішно почали продаватися до Європи, де ціна на енергію у кілька разів вище, ніж всередині країни.

Хоча відголоски старих проблем та, інколи, непрофесійні дії міністрів кількох політично заангажованих урядів, що змінювалися, звинувачуючи у всіх негараздах «попередників», все ще відбивалися на стані енергетичної галузі. Зокрема, у кілька зимових періодів Україна входила, не маючи достатніх запасів газу в газосховищах та вугілля на складах ТЕС. Крім того, тривала нещадна експлуатація енергетичного обладнання, а модернізація не набувала значних темпів. За словами колишнього міністра енергетики України І. Плачкова: «На початок 90-х років український енергетичний комплекс був одним із найефективніших, найтехнологічніших і найпотужніших у світі. Сумірний із Францією. На сьогодні {2021 р.} в Україні енергетичний комплекс – це ретрокомплекс. За 40 років все застаріло, ми нічого не оновлювали, не модернізували, не реконструювали. І сьогодні {2021 р.} енергетика України – одна з найвитратніших у світі. На виробництво 1 кВт·год електроенергії, порівняно з 90-ми роками, ми витрачаємо енергоресурсів на 30-40% більше. Раніше для отримання 1 кВт·год спалювалося 320 г умовного палива (у. п.), зараз {2021 р.} – 420 г. у. п.».

Був запроваджений ринок електроенергії. Але, через недосконалість організаційної моделі управління галуззю, при недостатній кількості нормативних документів, періодично з'являлись зловживання чиновників та олігархів (наприклад, за прямими договорами електроенергія продавалася нижче собівартості, виникаючі борги покладались на державу, а формування тарифів не було прозорим і підконтрольним).

Енергетична галузь має свою специфіку, що вирізняє її від інших галузей економіки – в ній виробництво і споживання товару (енергії) відбувається одночасно. Але ж споживання електроенергії відбувається дуже нерівномірно:

вранці та ввечері – багато, вдень менше, уночі – загалом мало. А задачею енергетиків є забезпечення балансу, тобто виробляти більше енергії у піки споживання і менше – у періоди «затухання» попиту. Для цього необхідно володіти маневровими можливостями за потужністю в енергосистемі. Найбільш зручними в цьому плані у 10-20-х роках ХХІ сторіччя були енергоблоки ТЕС. А це, в свою чергу, ставило жорсткі вимоги щодо наявності достатніх запасів палива на складах.

Стабільно працювали 14 блоків на вітчизняних АЕС. Часом до 20 енергоблоків ТЕС простоювали, через нестачу палива, і тоді доводилось експортувати електроенергію з РФ та Білорусі (зокрема, від 600 до 800 МВт взимку 2021-2022 рр.), сплачуючи за це у валюті.

Загалом енергетичний баланс і динаміку змін в національній енергетиці у 10-20-х роках ХХІ сторіччя можна охарактеризувати наступними відомостями. За даними Укрстату, кінцеве споживання палива й енергії у 2020 р. склало 47,8 млн. т нафтового еквіваленту (одиниця виміру енергії, яку зазвичай застосовують для порівняння використання великої кількості енергії з різних джерел). Це на 3,7 % менше, ніж у 2019 р. і на 35,5 % менше, ніж у 2010 р. У 2020 р. серед основних джерел енергії найбільшою залишалась частка природного газу – 27,6 %, частка електроенергії складала 20,4 %, сирової нафти та нафтопродуктів – 20,3 %. При цьому частка споживання газу у 2020 р. збільшилася на 0,5 % порівняно з 2019 р., і зменшилася на 10,8 % порівняно з 2010 р. Також зменшилася частка споживання теплоенергії – на 1,9 % порівняно з 2010 р., але не значно зросла порівняно з 2019 р. – на 0,5 %. Частка споживання електроенергії натомість зросла у 2020 р. на 0,2 % порівняно з 2019 р. і на 4,8 % порівняно з 2010 р. Також зросла частка кінцевого споживання біопального – втричі, порівняно з 2010 р., та нафти – на 3,8 %, порівняно з цим же періодом. Частка споживання вугілля та торфу упродовж 10 років зберігалася на відносно однаковому рівні. Доповнити суху статистику може слайд (*Рис. 2.1*).

Відносно формування запасів палива дозволю собі навести ще кілька тез І. Плачкова, розміщених ним у власному блозі 24.12.2021 р.

Отже, відносно вугілля: «У нас на складах 450 тисяч тонн вугілля, це критично мало, практично нема».

Відносно газу: «Наші газові сховища мають можливість закачати близько 32 млрд. м³ газу. Завжди було від 23 до 28. Цього року ми розпочали опалювальний сезон із 18 млрд. м³, з них 5 – буферний, залишається 13 млрд.

І коли президент, прем'єр, голова Нафтогазу кажуть, що нам газу вистачить на зиму – вони не дурять. В середньому на зиму газу може вистачити. Але вони не договороють, як усілякі політики...

Сьогодні Україна споживає десь 80-90 млн. м³ газу на добу, це за 0°C, або +1°C і -1°C. При -10°C – -15°C – споживатимемо 130-150 млн. м³ газу. А за -18°C – всі 180.

Ми видобуваємо 60 млн. м³. Отже, нам треба ще 120 млн. м³.

Зі сховищ ми не зможемо підняти 90-100. Чим менше у сховищах газу – тим менше зможемо відібрати. Сховище як камера для автомобільного колеса: її надуєш, а коли знімаєш золотник – з нього «дує». І що менше залишається там повітря, то менше воно «дує». І настає ситуація, коли повітря там ще є, а вже не

дме – так само і з буферним газом у сховищах цими 5 млрд. Хоч вони і є – «дути» не буде.

Тому зможемо витягнути 80, за необхідності 120. Де взяти 40? Можна купити. Лише у Словаччині – 40-60. Більше ніде.

А в цей час у газотранспортній системі прокачується 40 млрд. до Європи.».

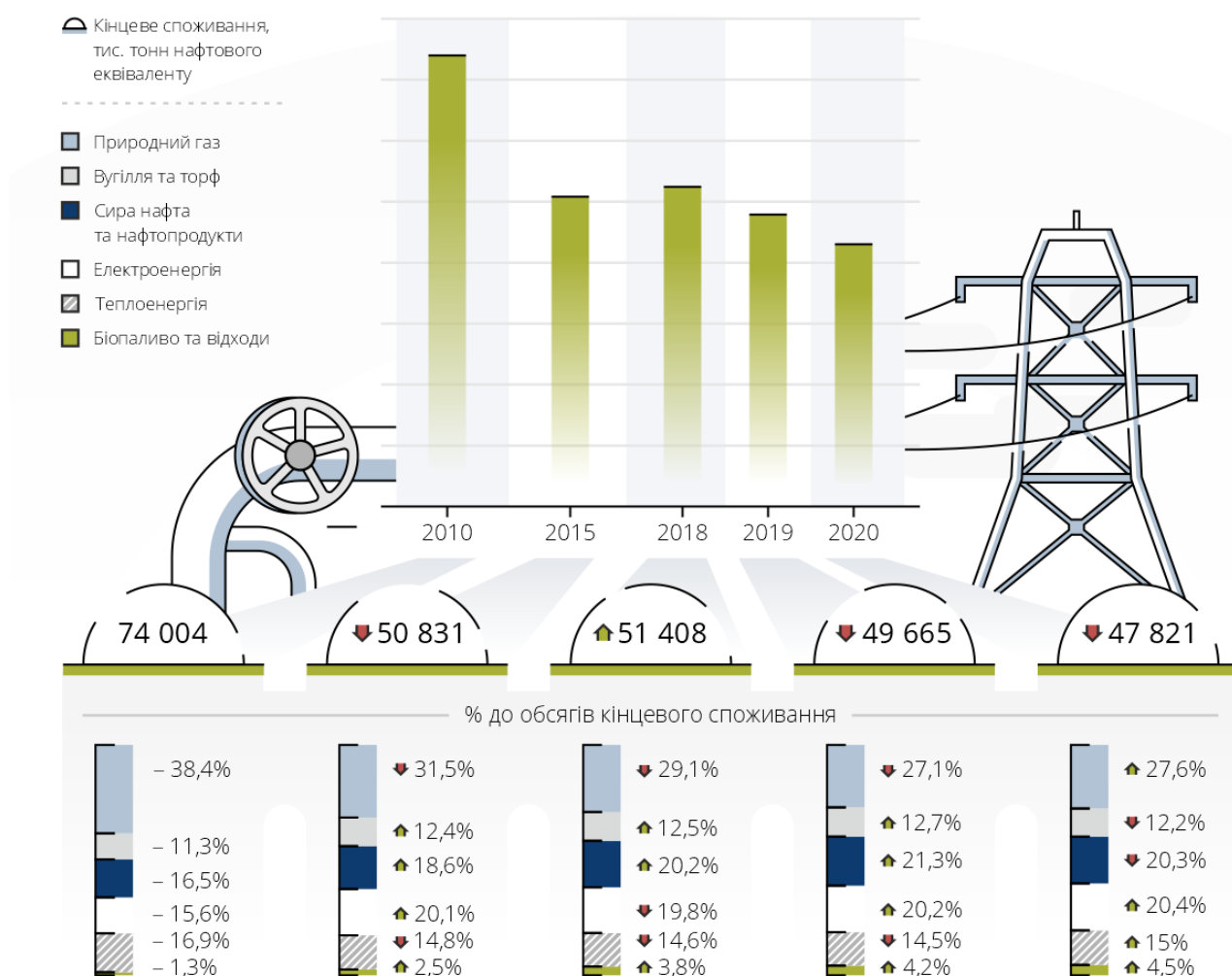


Рисунок 2.1 – Споживання енергії та пального в Україні за 10 років на підприємствах

У перше 20-річчя ХХІ століття в Україні склалися всі передумови для масштабного освоєння технологій на основі ВДЕ. Насамперед це наявність значного енергетичного потенціалу (вітрова, сонячна енергія, енергія малих річок, біомаси, геотермальна енергія і енергія доквілля), а також розвинена науково-технічна і промислова база. Крім того, ключовими факторами розвитку ВДЕ в Україні стала необхідність поліпшення екологічної ситуації; вичерпність традиційних паливно-енергетичних ресурсів; нагальна потреба в подоланні залежності від імпорту енергоносіїв; міжнародні зобов'язання; необхідність термінової реновації основних фондів енергетичного обладнання в країні. Ця галузь стала однією з найпривабливіших для інвестування.

Держава певною мірою підтримувала розвиток відновлюваної енергетики, переважно через запровадження низки нормативно-правових актів. Зокрема, в 2009 р., згідно зі змінами до Закону України «Про електроенергетику», в Україні

було введено систему стимулювання розвитку відновлюваної енергетики, завдяки так званим «зеленим тарифам».

Примітка: Згідно із Законом України «Про альтернативні джерела енергії», «зелений тариф» – спеціальні фіксовані стимулювальні тарифи, відповідно до яких закуповується електрична енергія, вироблена на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії. Інакше кажучи, це – зобов'язання держави викуповувати всю вироблену проектами ВДЕ електроенергію за фіксованим тарифом, який в Україні до того ж прив'язаний до євро. У 2015 р. та 2019 р. ці тарифи було скориговано, з метою запобігання корупційним схемам та збалансування наявної тарифної системи.

Встановлена потужність електростанцій на основі ВДЕ з 2010 р. до початку 2015 р. зросла в 10 разів і на кінець 2014 р. становила 1462,2 МВт, що відповідає 2,7 % загальної встановленої потужності електростанцій в Україні. З них сонячна енергетика – 818,9 МВт, вітроенергетика – 513,9 МВт, малі ГЕС – 80,3 МВт, станції на біомасі – 35,2 МВт, на біогазі – 13,9 МВт. Загалом за 2014 р. станціями, що працюють на основі ВДЕ, було вироблено 2 млрд. кВт·год. електроенергії.

У цей же період було здійснено ряд робіт щодо комплексного використання ВДЕ. Зокрема можна відзначити практичні реалізації комбінованих вітро-сонячних установок. Наприклад, такі комбіновані елементи системи комплексного енергозабезпечення було встановлено у Національному ботанічному саду ім. М. М. Гришка НАН України і на кафедрі ВДЕ НТУУ «КПІ». У Чорному морі, біля берегів Херсонщини на о. Тендрівська коса працював автономний комплексний енерговузол на основі вітро-сонячної системи.

З'явилися вітчизняні прототипи електротранспорту з комплексним використанням ВДЕ. Зокрема, спільні розробки Інституту відновлюваної енергетики НАН України, Інституту електродинаміки НАН України та НТУУ «КПІ» – гібридні вантажопасажирські електромобілі на базі серійних зразків автомобілів з використанням власної силової установки. Було розроблено також прототип електроцикла на базі серійної моделі «Дніпро-300» Київського мотозаводу.

Розроблено ряд проектів з будівництва сонячних електричних станцій (СЕС) {або фотоелектричних станцій (ФЕС)}: «Добровлянська ФЕС» потужністю 4,17 МВт (Заліщицький р-н Тернопільської обл.); «Сичівська ФЕС» потужністю 2,0 МВт (Христинівський р-н Черкаської обл.); СЕС «Артек» потужністю 1,0 МВт з автоматизованою системою диспетчеризації та візуалізації (Гурзуф, АР Крим). Створено демонстраційно-випробувальну систему фотоелектричного та геліоенергетичного електропостачання в корпусі Інституту відновлюваної енергетики НАН України, а також на території Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України.

Вітроенергетика залишалася другою, після сонячної енергетики, в національному секторі ВДЕ, за загальною встановленою потужністю. Загальна встановлена потужність вітроенергетичного сектору на кінець 2021 р. становила 1672,9 МВт. До початку широкомасштабної війни, в Україні «зелену» електроенергію генерували 34 вітроелектростанції (ВЕС) або 699 вітрових турбін, середня одинична потужність яких становить 3,5 МВт (див. *Рис. 2.2*).

За даними Міністерства енергетики, у 2021 р. виробництво електроенергії в Україні становило 156,576 млрд. кВт·год. Основну частку в загальному виробітку

становили АЕС – 55,1 %, ТЕС та ТЕЦ – 29,3 %, ГЕС та ГАЕС – 6,7 %.

Виробництво електроенергії на ТЕС становило 37,225 млрд. кВт·год., на ТЕЦ та когенераційних установках – 8,6 млрд. кВт·год. ГЕС та ГАЕС довели виробництво електроенергії до 10,44 млрд. кВт·год. АЕС – до 86,2 млрд. кВт·год. Виробництво електроенергії електростанціями на основі ВДЕ становило 12,52 млрд. кВт·год.



Рисунок 2.2 – Вітрові станції України станом на кінець 2021 р.

Споживання електроенергії у 2021 р. складало 154,82 млрд. кВт·год. (у тому числі, населенням – 38,66 млрд. кВт·год. та комунально-побутовими споживачами – 15,02 млрд. кВт·год.). Експорт електроенергії становив 34,96 млрд. кВт·год.

Слід відзначити, що маючи за глобальну мету вступ України до Європейського Союзу, керівництво нашої держави розгорнуло активну послідовну роботу щодо роз'єднання енергосистем РФ та України і натомість приєднання останньої до європейської енергосистеми. Буквально перед самим

вторгненням 24.02.2022 р. Українські енергетики вступили у активний експеримент по підключенню ОЕС-У до Єдиної енергосистеми Європи (ENTSO-E). Російські агресори сподівалися, що активні бойові дії примусять нас перервати експерименти щодо поєднання з європейською енергосистемою і повернутись до об'єднаної енергосистеми за зразком часів СРСР, проте Міністерство енергетики і політичне керівництво України заявили, що, після роботи в ізолюваному режимі, Україна не може приєднатися до системи агресора і *відмовляється це робити*. У рамках підготовки до синхронізації з енергомережею ENTSO-E, Україна інвестувала у модернізацію власної мережі понад € 600 млн. І, незважаючи на активні бойові дії, вже 16.03.2022 р. В. Зеленський написав у своєму Твіттері (@ZelenskyUa): «Україна стала членом «енергетичного Євросоюзу». Завершилось об'єднання української та європейської енергосистем. Тепер наша електроенергія тече в EU, а європейська – в UA. Дякую членам EU, особисто @vonderleyen, @KadriSimson і всім, завдяки кому у нас тепер єдина енергосистема!»

Енергетика України під час повномасштабної війни з РФ (починаючи з 24.02.2022 р.).

ВИВЧИТИ САМОСТІЙНО!

Ознайомитися, за новинними сайтами, з ситуацію щодо ракетних, артилерійських та дронів атак на енергетичні об'єкти, обмеження в енергопостачанні, застосуванні пересувних генераторів, організації «Пунктів незламності».

Дослідити хід відновлення та вдосконалення пошкоджених ворогом об'єктів енергетичної інфраструктури та захисту їх від уражень в майбутньому, за виступами у пресі:

- Міністра енергетики України Г. В. Галущенка;
- Голови правління ПрАТ «Національна енергетична компанія "Укренерго"» (НЕК «Укренерго») В. Д. Кудрицького;
- керівників 8 регіональних електроенергетичних систем: Дніпровської, Донбаської, Західної, Кримської, Південної, Південно-Західної, Північної та Центральної;
- керівників обласних, районних та інших місцевих військових адміністрацій;
- керівників окремих об'єктів та структурних підрозділів енергетичної галузі.

ТЕМА 3 **ПАЛИВО**

Загальні відомості

Основним джерелом енергії, що використовується людиною, є *паливо*.

Паливом називають горючу речовину, яку спалюють для одержання необхідної кількості теплоти.

Для палива є декілька загальноприйнятих класифікацій:

- за агрегатним станом паливо поділяють на *тверде*, *рідке* та *газоподібне*;
- за походженням воно може бути *природним* і *штучним*;
- за властивостями – *органічним* та *ядерним*.

В *органічному паливі* теплота виділяється у результаті *реакцій сполучення* горючих складових із окислювачем – киснем повітря.

В *ядерному паливі* – при *реакціях розпаду* атомних ядер деяких ізотопів важких елементів (урану U^{235} та U^{233} , плутонію Pu^{239}). Органічне паливо – *горюче*, ядерне – *розщеплюється*.

Органічне паливо поділяють на *викопне природне* та *штучне*.

Викопне природне паливо є продуктом біологічних та хімічних перетворень речовини рослин та мікроорганізмів, що існували мільйони років тому. Воно нагромаджене у надрах Землі.

Штучне органічне паливо створене людиною шляхом відповідної переробки природних сполук.

Штучне паливо поділяють на *композиційне* і *синтетичне*.

Композиційне паливо являє собою механічну суміш горючих (наприклад, пропан-бутан).

Синтетичне паливо – це продукт термохімічної переробки горючих речовин, у результаті якої вони набувають нових властивостей, що задовольняють споживача більшою мірою. До синтетичного палива відносять: продукти переробки нафти; рідке паливо, що одержують з вугілля; етанол з рослинності тощо.

Поняття «паливо» є *категорія* не тільки *технічна*, а й *економічна* та *екологічна*, оскільки у кожному конкретному випадку його використання має бути ефективним. До того ж, при спалюванні палива необхідно створити умови для якомога меншого забруднення навколишнього середовища.

Класифікація основних видів палива за його походженням та агрегатним станом наведена у **Табл. 3.1**.

Склад і характеристика палива

Органічне паливо складається із *горючих елементів* – водню (H), вуглецю (C), сірки (S) та *негорючих елементів* – кисню (O) та азоту (N). Сірку, що міститься у паливі, поділяють на горючу, так звану летку сірку S_l , та негорючу S_n . Горюча сірка складається із органічних S_{op} та колчеданних S_k сполук: $S_l = S_{op} + S_k$. Крім того, до складу палива входять волога W та зола A . Вміст елементів

визначають у відсотках за масою.

Таблиця 3.1

Класифікація палива за його походженням та агрегатним станом

Агрегатний стан палива	Походження палива	
	Природне	Штучне
Тверде	Викопне (торф, буре та кам'яне вугілля, антрацит, горючі сланці); дрова; відходи с/г виробництва.	Кокс; напівкокс; торфові та кам'яновугільні брикети; паливні пелети (гранули); деревне вугілля.
Рідке	Нафта.	Топкові мазути; паливо пічкове побутове (ППП); дизельне, солярове пальне; бензин; гас; біоетанол тощо.
Газоподібне	Природний газ; попутний газ.	Гази: генераторний, доменний, коксовий та ін.; пропан-бутанова суміш; біогаз.

Газоподібне паливо являє собою суміш різних *горючих газів* (CO , H_2 , CH_4 , C), *негорючих газів* (O_2 , N_2 , CO_2) й невеликої кількості *водяної пари*. *Баластом* у сухому природному газі є *азот* та *діоксид вуглецю*.

Склад газоподібного палива задається у відсотках до об'єму і всі розрахунки відносять до кубічного метра сухого газу за *нормальних умов*: тиску 101,3 кПа (760 мм рт. ст.) і температури 0°C. Вміст домішок (водяних парів, смоли,пилу) виражають у г/м³ сухого газу.

Важливою характеристикою горючої маси палива є *вихід летких речовин*. Чим більше летких речовин, тим більше при нагріванні палива виділяється горючих газів і, отже, простіше запалити це паливо і легше підтримувати стійке горіння.

Теплота згоряння палива – це параметр, що характеризує його енергетичну цінність. Теплота згоряння дорівнює кількості теплоти, яка може виділятися при повному згорянні 1 кг маси твердого або рідкого палива або 1 м³ газового палива за нормальних фізичних умов. Відповідно, одиниці вимірювання теплоти згоряння – кДж/кг і кДж/м³ (або МДж/кг і МДж/м³).

Розрізняють *вищу* та *нижчу теплоту згоряння*.

Вищою теплотою згоряння Q_B^P називають кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива, з урахуванням теплоти конденсації водяних парів, що утворюються при згорянні водню H_2 і випаровуванні вологи палива W^P . Якщо з Q_B^P відняти величину теплоти конденсації водяних парів, одержимо *нижчу теплоту згоряння* Q_H^P . Оскільки 1 кг водню дає при згорянні 9 кг води, а теплота конденсації 1 кг водяної пари дорівнює близько 2,5 МДж, то:

$$Q_H^P = Q_B^P - 0,025 \cdot (9 \cdot H^P + W^P).$$

Тверде паливо

Тверде органічне паливо – це деревина (дрова), торф, буре вугілля, кам'яне вугілля і антрацит. Цінність палива, як горючої речовини, визначається його хімічним складом і основними властивостями.

Дрова за геологічним віком – наймолодше органічне паливо. Вони містять понад 60 % целюлози, близько 30 % лігніну і приблизно 1 % мінеральних домішок. Для різних порід склад органічної маси дров приблизно однаковий: C_2 – 50 %, N_2 – 6 %, O_2 – 43 %, N_2 – 1 %.

Основним баластом у дровах є волога, вміст якої у свіжозрубаній деревині досягає 50...60 %. Дрова бувають:

- *сухі* (з вологістю менше 25 %);
- *напівсухі* (з вологістю 25...35 %);
- *сирі* (з вологістю понад 35 %).

Зольність дров на робочу масу не перевищує 1 %.

Теплота згоряння горючої маси дров становить 18,8...19,2 МДж/кг, проте при вологості 30 % вона знижується до 13,0...13,3 МДж/кг.

Торф – молоде за геологічним віком викопне паливо. Він утворюється у результаті розкладання рослинності в умовах надлишку води і незначного доступу повітря. Розрізняють торф *моховий*, або *верховий*, (з незначним вмістом золи 2...4 %) і *лучний*, або *низинний* (із зольністю 8...16 %). Зустрічаються торф'яники *змішаного перехідного походження* (із зольністю 7...9 %).

Вологість свіжовидобутого торфу становить приблизно 90 %. У процесі природного сушіння його вологість знижується до 40 %.

Органічна маса торфу характеризується таким складом: C_2 – 55...56 %, H_2 – 6 %, O_2 – 35...40 %, N_2 – 0,5...3,0 %, S – 0,12...1,5 %.

Нижча теплота згоряння горючої маси торфу становить близько 12,6 МДж/кг.

У шарових топках спалюють кусковий торф, що формується у процесі видобування у вигляді цеглин із наступним їх сушінням. Найбільше застосовують в енергетиці фрезерний торф, що одержують у вигляді дрібняку. Такий торф використовують у топках камерного типу.

Горючі сланці складаються із вапняків, що просякнуті продуктами розкладу рослин і тваринних організмів без доступу повітря. Вони відрізняються високим вмістом золи (50...60 %) і води (15...25 %). У горючій частині сланців високий вміст кисню (до 10 %) і великий вихід летких речовин (до 90 %), тому вони легко займаються. Значна зольність різко знижує теплову цінність сланців. Їх теплота згоряння коливається у межах 5,8...10,8 МДж/кг. У сільському господарстві сланці, як і торф, використовують як місцеве котельне паливо.

Буре вугілля – паливо рослинного походження старішого розкладання, ніж торф. Воно має високу зольність (15...30 %) і вологість (15...30 %), тому діапазон значень його теплоти згоряння великий – 6,3...18,9 МДж/кг. За вологістю його поділяють на три групи:

- *група Б1* (із вмістом води понад 40 %);
- *група Б2* (із вмістом води 30...40 %);

– група БЗ (із вмістом води до 30 %).

Склад горючої маси бурого вугілля дуже неоднорідний: C_2 – 65...78 %, H_2 – 4,3...6,2 %, O_2 – 16...17 %, N_2 – 0,7...1,8 %, S – 0,4...3,0 %. Вихід летких речовин на горючу масу становить 30...60 %.

Буре вугілля має схильність до самозаймання, тому його рекомендується вкладати у штабелі висотою до 2,5 м і зберігати не більше місяця.

Кам'яне вугілля утворювалось у результаті повільного розкладання деревовидних рослин без доступу повітря протягом мільйонів років. Це основний вид твердого палива в енергетиці.

Кам'яне вугілля поділяють на марки, які розрізняють за виходом летких речовин і характером леткого залишку (Табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Марки кам'яного вугілля

Вугілля	Марка	Q_H^p , МДж/кг
Довгополуменеве	Д	понад 37
Газове	Г	понад 35
Жирне	Ж	27...35
Коксівне	К	18...27
Опіснене спікливе	ОС	14...22
Слабкоспікливе	СС	25...37
Пісне	П	8...17

Антрацити мають найдавніший геологічний вік серед твердого палива. Вони чорного кольору, їм властиві високі щільність і міцність, їх можна перевозити на великі відстані без помітного подрібнення. Вологість антрацитів 3...7 %, зольність 10...18 %, вихід летких речовин 2...9 %, теплота згоряння 25...27 МДж/кг.

Відходи с/г виробництва використовують як паливо для виробничих та побутових потреб. До них відносять соломку, стебла соняшника і бавовни, кострицю, лушпиння соняшника, рисову лузгу тощо. За складом органічної маси ці відходи близькі до деревини. З відходів с/г виробництва, із застосуванням зв'язуючих речовин, одержують паливні брикети та пелети (гранули). Вони найзручніші для спалювання.

Рідке паливо

Рідке паливо, що використовують для потреб енергетики, одержують методами його *термохімічного розкладання*.

Нафта складається, в основному, з вуглеводнів трьох класів:

- метанові – метан, етан, пропан, бутан, ізобутан тощо;
- нафтенові – циклопентан, циклогексан тощо;
- ароматичні – бензол, толуол, нафталін тощо.

Із нафти, залежно від температури перегонки, одержують *нафтопродукти*:

- бензинові;

- *гасові;*
- *дизельні;*
- *соляріві;*
- *мазутні.*

Для побутового опалення випускають *паливо пічкове побутове (ППП)*. У великих опалювальних котельнях, що працюють на рідкому паливі, зазвичай застосовують мазут, а у невеликих котельнях та побутових установках – ППП.

ППП широко використовується у с/г виробництві. На цьому паливі працюють парові та водогрійні котли, теплогенератори, зерносушарки, установки для комунально-побутових потреб. Температура його застигання – не вище -15°C і тому ємкості, де зберігається ППП, і баки, звідки воно надходить до установок для спалювання, *розміщують в утеплених приміщеннях.*

Гас використовують як паливо у теплогенераторах і сушарках, а також для побутових потреб.

Дизельне пальне випускають двох марок: *ДТ* і *ДМ*.

Дизпаливо марки *ДТ* має в'язкість, при 50°C , менше 5 ВУ; температуру спалаху – понад 65°C ; температуру застигання – менше -5°C .

Дизпаливо марки *ДМ* характеризується в'язкістю, при температурі 50°C , 20 ВУ; температурою спалаху – 85°C , температурою застигання – -10°C .

Нижча теплота згоряння дизельного пального дорівнює приблизно 42,5 МДж/кг. Дизпаливо використовують в основному у дизелях, у тому числі у дизельних електростанціях.

Біоетанол – це етанол (етиловий спирт $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), який отримують у процесі переробки рослинної сировини для використання у якості біопалива або паливної добавки. Біоетанол, на відміну від нафти, є однією з форм використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), які можна отримати з с/г сировини або, наприклад, морських водоростей.

Газоподібне паливо

Газоподібне паливо поділяють на *природне* і *штучне*.

До природних відносять:

- *газ, що видобувається з газових родовищ;*
- *попутний газ, одержуваний одночасно із видобутком нафти;*
- *газ, що видобувається із конденсатних родовищ.*

До штучних відносять:

- *гази, одержані при переробці нафти;*
- *гази, одержані при перегонці твердого палива;*
- *біогаз, що одержують при анаеробній (без доступу повітря) ферментації відходів;*
- *зріджені гази.*

Гази, що видобуваються з газових родовищ, складаються, в основному, з метану (85...95 %). Вміст у них N_2 – 0...4 %, CO_2 – не більше 15 %, H_2S – не більше 6 %.

Нижча теплота згоряння цих газів $Q_H^p = 33...40 \text{ МДж/м}^3$.

Генераторний газ одержують при перегонці твердого палива (кам'яне або буре вугілля, дрова, торф) із нестачею повітря близько 60 % у спеціальних установках – *газогенераторах*.

Склад генераторного газу коливається у межах: CO – 25...30 %, H_2 – 12...15 %, CH_4 – 0,5...3,5 %, CO_2 – 5...8 %, O_2 – 0,2...0,5 %, N_2 – 45...50 %.

Нижча теплота згоряння генераторного газу $Q_H^P = 5...6,5$ МДж/м³.

ТЕМА 4

СІЛЬСЬКІ ЕЛЕКТРИЧНІ СТАНЦІЇ

Поняття сільської електростанції

Від електричних мереж у сільських районах живиться велика кількість різноманітних *споживачів електричної енергії*.

Споживач електричної енергії – це *приймач електричної енергії* або група приймачів, об'єднаних технологічним процесом і розташованих на певній території.

Приймачем електричної енергії (електроприймачем) називають апарат, агрегат, механізм, пристрій, призначений для перетворення енергії з електричної у інший її різновид.

У сільських районах знаходяться наступні споживачі електричної енергії:

- а) житлові будинки сільських населених пунктах та розподілених окремих фермерських господарствах;
- б) підприємства інфраструктури з обслуговування населення (лікарні; ФАПи; школи; пекарні; магазини; пральні та ін.);
- в) виробничі споживачі агропромислового комплексу (тваринницькі ферми; зерноочисні пункти; сховища с/г продукції – зерна, овочів, фруктів; теплиці; млини; м'ясокомбінати; молокозаводи; консервні заводи; гаражі; котельні тощо);
- г) інші споживачі, серед яких можуть бути і промислові підприємства.

При плануванні електропостачання, енергетиками до особливої групи відносяться великі підприємства з виробництва с/г продукції на промисловій основі, в першу чергу, тваринницькі комплекси, птахофабрики, тепличні комбінати. Схеми їх електропостачання відрізняються від типових схем у районах розподіленого с/г навантаження і наближені до схем електропостачання промислових підприємств.

В переважній більшості, споживачі у аграрних районах (*сільські споживачі*) живляться енергією від *сільських електричних станцій*.

Електрична станція називається *сільською електричною станцією*, якщо понад 50 % її споживачів становлять сільські споживачі.

Різновиди сільських електростанцій

У якості сільських електричних станцій в нашій країні використовуються:

- теплові електростанції різних типів;
 - гідравлічні електростанції;
 - електростанції на основі ВДЕ
- та їх комбінації.

Теплові електростанції, їх різновиди і основні конструкції

Теплові конденсаційні електричні станції (КЕС)

На *теплових електростанціях (ТЕС)* хімічна енергія спалюваного палива перетворюється в парогенераторі (котлі) в енергію водяної пари, що приводить у рух турбоагрегат (парову турбіну, сполучену з генератором). Механічна енергія

обертання перетворюється генератором в електричну. Паливом для ТЕС служать газ і мазут, а також вугілля, торф, горючі сланці.

Класичною ТЕС здавна вважають теплову конденсаційну електричну станцію (КЕС).

У вітчизняній енергетиці на долю КЕС припадає до 60 % вироблення електроенергії.

Основними особливостями КЕС є:

- значна віддаленість від безпосередніх споживачів електроенергії (що визначає в основному видачу потужності на високих і надвисоких напругах);
- блоковий принцип побудови електростанції.

Потужність сучасних КЕС зазвичай така, що кожна з них може забезпечити електроенергією великий район (регіон) країни. Звідси ще одна назва електростанцій цього типу – *державна районна електрична станція (ДРЕС)*.

На *Рис. 4.1* зображено загальний вигляд сучасної КЕС.

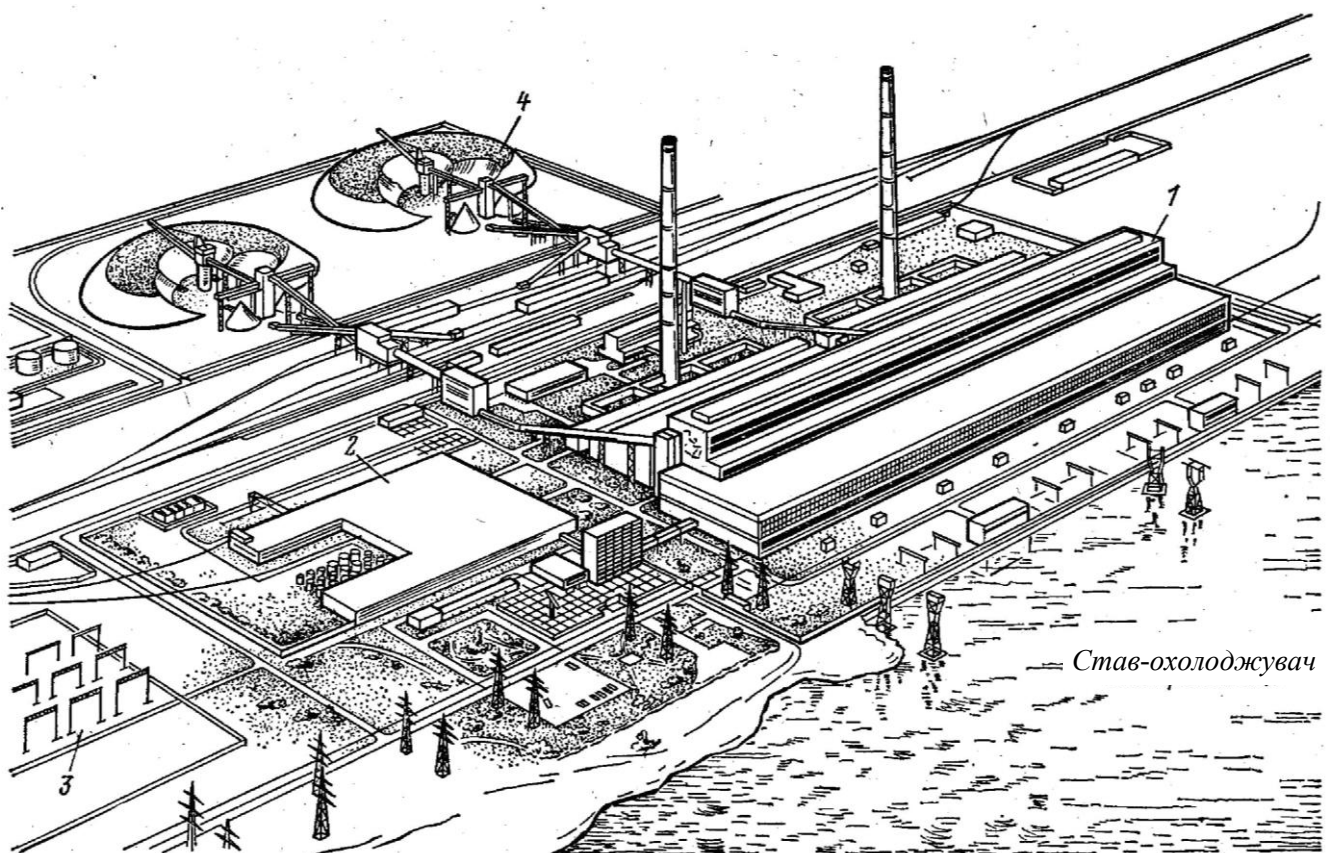


Рисунок 4.1 – Загальний вигляд сучасної КЕС:

1 – виробничі приміщення із тепловим та турбінним та генераторним обладнанням; 2 – центр керування; 3 – розподільча електрична підстанція; 4 – склади палива із обладнанням паливоприготування

Кожен блок КЕС являє собою ніби окрему електростанцію із своїм основним і допоміжним устаткуванням і центром керування – блоковим щитом. Зв'язків між сусідніми блоками за технологічними лініями, як правило, не передбачається.

Побудова КЕС за блоковим принципом дає певні техніко-економічні переваги, що полягають у наступному:

- полегшується застосування пари високих і надвисоких параметрів, унаслідок більш простої системи паропроводів, що особливо важливо для освоєння агрегатів великої потужності;
- спрощується і стає більш чіткою технологічна схема електростанції, унаслідок чого збільшується надійність роботи й полегшується експлуатація;
- зменшується, а в окремих випадках може взагалі бути відсутнім резервне допоміжне тепломеханічне устаткування;
- скорочуються обсяги будівельних робіт;
- зменшуються капітальні витрати на спорудження електростанції;
- забезпечується зручне розширення електростанції блоками, причому нові блоки при необхідності можуть відрізнятися від попередніх за своїми параметрами.

На **Рис. 4.2** представлено спрощену технологічну схему окремого блоку КЕС.

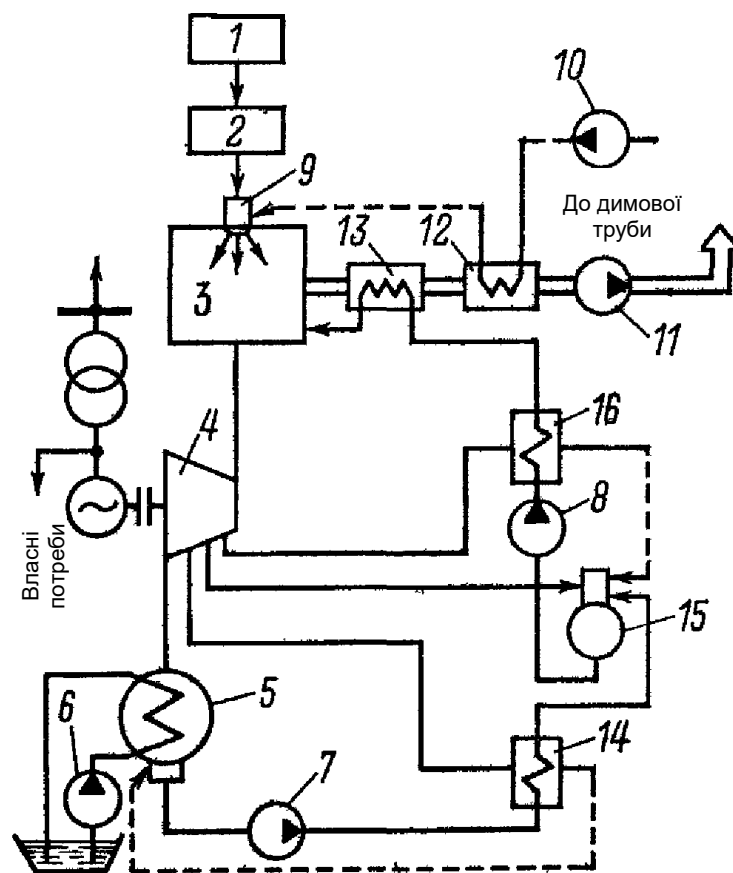


Рисунок 4.2 – Спрощена технологічна схема КЕС:

1 - склад палива і система паливоподачі; 2 – система паливоприготування; 3 – парогенератор; 4 – турбіна; 5 - конденсатор; 6 - циркуляційний насос; 7 – конденсатний насос; 8 – живильний насос; 9 - палик парогенератора; 10 – вентилятор; 11 – димосос; 12 - повітронагрівач; 13 - водяний економайзер; 14 - підігрівач низького тиску; 15 – деаератор; 16 - підігрівач високого тиску

Технологічна схема КЕС складається з кількох систем: паливоподачі; паливоприготування; основного пароводяного контуру разом із парогенератором і турбіною; циркуляційного водопостачання; водопідготовки; золєвловлювання та

золевидалення і, наостанок, електричної частини станції.

Механізми й установки, що забезпечують нормальне функціонування всіх цих елементів, входять у так звану *систему власних потреб* станції (блоку).

Найбільші енергетичні втрати на КЕС мають місце в основному пароводяному контурі, а саме конденсаторі, де відпрацьована пара, яка містить ще велику кількість тепла, витраченого при паротворенні, віддає його циркуляційній воді. Тепло з циркуляційною водою виноситься у став-охолоджувач, тобто губиться. Ці втрати в основному визначають ККД. електростанції, що становить навіть для найсучасніших КЕС не більше 40-42 %.

Електроенергія, вироблена електростанцією, видається на напрузі 110-750 кВ і лише частина її відбирається на власні потреби через трансформатор власних потреб, під'єднаний до виводів генератора.

Генератори і підвищувальні трансформатори з'єднують у блоки і підключають до розподільчого пристрою (підстанції) високої напруги, що зазвичай виконується відкритим. Варіанти розташування основних споруд можуть бути різноманітними.

Сучасні КЕС оснащуються в основному блоками 200-800 МВт. Застосування крупних агрегатів дозволяє забезпечити швидке нарощування потужностей електростанції, прийнятну собівартість електроенергії, а також знизити вартість установленної потужності.

Теплофікаційні електростанції – теплоелектроцентралі (ТЕЦ)

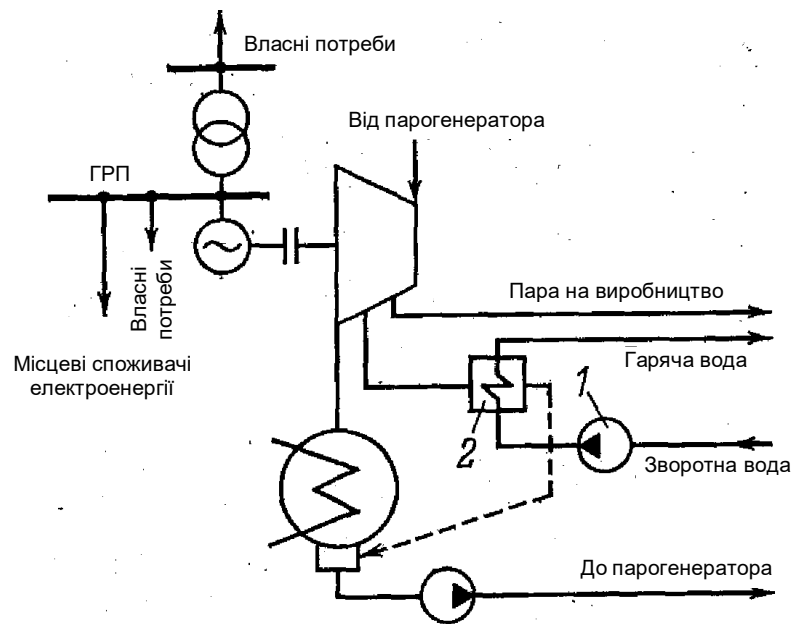
Теплофікаційні електростанції – теплоелектроцентралі (ТЕЦ) – різновид теплових електростанцій, призначений для *централізованого забезпечення* промислових та с/г підприємств і населених пунктів *електроенергією й теплом*. Від КЕС вони відрізняються тим, що використовують тепло «відпрацьованої» пари, що пройшла турбіну, для потреб промислового та с/г виробництва, а також для опалення, кондиціонування повітря, гарячого водопостачання. При такому комбінованому виробленні електроенергії і тепла досягається значна економія палива, в порівнянні з роздільним енергопостачанням (тобто виробництвом електроенергії на КЕС і одержанням тепла від місцевих котелень). Тому ТЕЦ набули широкого поширення в районах (містах) із великим споживанням тепла й електроенергії. В цілому на ТЕЦ виробляється близько 25 % усієї вироблюваної в країні електроенергії.

Особливості технологічної схеми ТЕЦ наведені на **Рис. 4.3**. Частина схеми, що за своєю структурою є аналогічними до таких самих для КЕС (див. **Рис. 4.2**), тут не вказані. Основна відмінність полягає у специфіці пароводяного контуру і способі видачі електроенергії.

Специфіка електричної частини ТЕЦ визначається розташуванням електростанції поблизу центрів електричних навантажень. У цих умовах частина потужності може видаватися в місцеву мережу безпосередньо на генераторній напрузі. З цією метою на електростанції створюється звичайно *генераторний розподільчий пристрій (ГРП)*. Надлишок потужності видається, як і у випадку КЕС, в енергосистему на підвищеній напрузі.

Суттєвою особливістю ТЕЦ є також підвищена потужність теплового устаткування, в порівнянні з електричною потужністю електростанції, з

урахуванням видачі тепла. Ця обставина визначає більшу відносну витрату електроенергії на власні потреби, ніж на КЕС.



**Рисунок 4.3 – Особливості технологічної схеми ТЕЦ:
1 – мережний насос; 2 – мережний підігрівач**

Газотурбінні електростанції

Газотурбінна електростанція – це ТЕС, у якій у якості приводу електричного генератора використовується газова турбіна.

Спрощена технологічна схема газотурбінної електростанції наведена на **Рис. 4.4.**

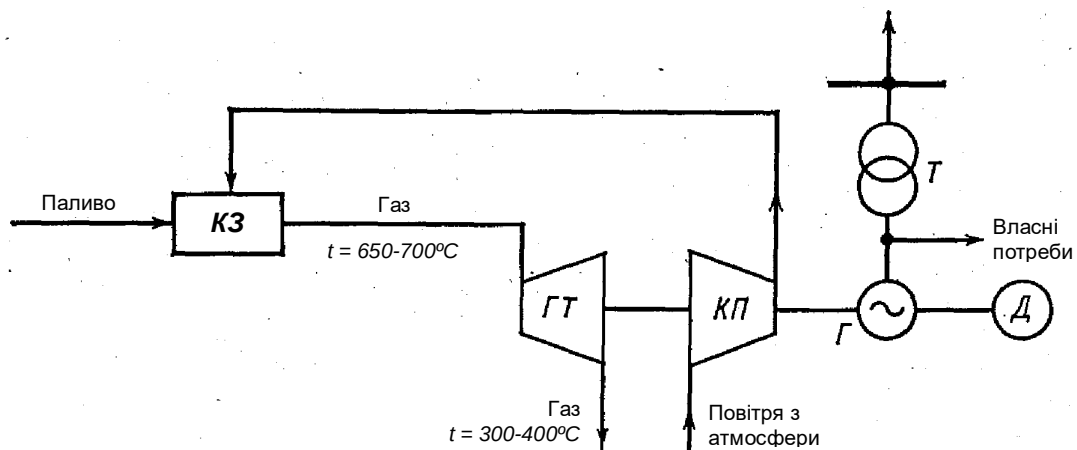


Рисунок 4.4 – Спрощена технологічна схема газотурбінної електростанції:

**КЗ – камера згоряння; КП – компресор; ГТ – газова турбіна; Г – генератор;
Т – трансформатор; Д – пусковий електродвигун**

Основу сучасних газотурбінних електростанцій складають газові турбіни потужності 25-100 МВт.

Паливо (газ, дизельне пальне) подається в камеру згоряння, туди ж компресором нагнітається стисле повітря. Гарячі продукти згоряння віддають свою енергію газовій турбіні, що обертає компресор і синхронний генератор.

Запуск установки здійснюється за допомогою розгінного (пускового) електродвигуна і триває 1-2 хв., у зв'язку з чим газотурбінні установки відрізняються високою маневреністю і придатні для покриття піків навантаження в енергосистемах.

Загальний ККД газотурбінних електростанцій складає близько 30 %.

Україна є одним з виробників у світі газотурбінних електростанцій невеликої потужності (до 50 МВт). Вони, як правило, не потребують особливого людського втручання і обслуговування та дозволяють легко нарощувати потужність паралельним приєднанням аналогічних агрегатів (блоків).

Для підвищення економічності газових турбін розроблені *парогазові установки (ПГУ)*. У них паливо спалюється в топці парогенератора, пара з якої спрямовується в парову турбіну. Продукти згоряння з парогенератора, після того як вони охолонуть до необхідної температури, спрямовуються в газову турбіну. Таким чином, ПГУ має два електричних генератори, які приводяться в рух: один – газовою турбіною, інший – паровою турбіною. При цьому потужність газової турбіни складає близько 20 % парової.

Розроблені ПГУ потужністю 200-250 МВт із прийнятними техніко-економічними показниками.

Атомні електричні станції (АЕС)

Атомні електричні станції (АЕС) – це, по суті, ТЕС, які використовують теплову енергію ядерних реакцій. Їхня технологічна схема фактично аналогічна схемі КЕС.

Оскільки АЕС не використовуються у якості сільських електричних станцій, вони не є об'єктом розгляду у даній навчальній дисципліні.

Електроагрегати та електростанції з двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ)

Електроагрегат з двигуном внутрішнього згоряння (ЕА з ДВЗ) – це комплектна установка, що складається з ДВЗ та генератора, змонтованих на спільній рамі, укомплектовані щитом керування і допоміжним обладнанням.

Електростанція з двигуном внутрішнього згоряння (ЕС з ДВЗ) – це комплектна установка, змонтована на одному з транспортних засобів або фундаменті, захищена від атмосферного впливу, призначена для електропостачання рухомих або стаціонарних споживачів і здатна вводиться в дію у короткі терміни (до 30-60 хв.).

ЕА з ДВЗ поділяють на:

- пересувні;
- стаціонарні;
- судові.

Пересувні ЕА з ДВЗ встановлюють на транспортному засобі (кузові автомобіля, автомобільному причепі, залізничній платформі тощо), а також на

відкритому майданчику чи під легким навісом. Такі ЕА виконують на базі карбюраторних двигунів і швидкохідних дизелів із повітряною або радіаторною системою охолодження. Все обладнання, в тому числі щит керування і автоматику, паливні і мастильні баки, компонують на металевій рамі так, щоб ЕА без попереднього монтажу був готовий до пуску і прийняття навантаження. Для захисту від атмосферного впливу пересувні ЕА з ДВЗ обладнують знімними капотами.

Стаціонарні ЕА з ДВЗ призначені для встановлення у спеціально обладнаних кузовах-фургонів та приміщеннях.

Суднові ЕА з ДВЗ призначені для встановлення на річкових та морських суднах. Проте, в Україні накопичено багатий практичний досвід використання суднових ЕА з ДВЗ у якості стаціонарних у сільській місцевості.

Стаціонарні та суднові ЕА з ДВЗ використовують, як правило, у якості основних (автономних) джерел електроенергії, тому їх виготовляють на базі тихохідних дизелів, що мають великий моторесурс. Тільки ті ЕА, які працюють у якості аварійних або резервних джерел електроенергії, будують на базі швидкохідних дизелів (для зменшення ваги і габаритів).

ЕС з ДВЗ за призначенням поділяють на:

- силові;
- освітлювальні;
- зарядні;
- спеціальні.

Силові ЕС з ДВЗ служать для електропостачання великих, зосереджених в одному місці або під'єднаних до загальної електромережі споживачів. Для приєднання до ГРП або безпосередньо до затискачів приймачів енергії силові ЕС з ДВЗ комплектують кабелем довжиною 50-100 м.

Освітлювальні ЕС з ДВЗ мають у своєму складі, крім ЕА і звичайного обладнання, комплект світильників або прожекторів із штангами-тримачами і кабельну мережу. Вони призначені для освітлення різноманітних тимчасових господарських об'єктів, будівельних майданчиків тощо.

Зарядні ЕС з ДВЗ призначені для заряджання акумуляторних батарей різних типів і обладнані ЕА постійного струму напругою 28,5 В або 115 В, а також зарядно-розрядними пристроями, запасом електролітів та спеціальним обладнанням.

Спеціальні ЕС з ДВЗ обладнують і комплектують відповідно до призначення.

ЕА з ДВЗ та ЕС з ДВЗ, крім як за призначенням, класифікують за:

- *типом ДВЗ* (бензоелектричні; дизель-електричні; газоелектричні);
- *родом струму* (змінного; постійного);
- *частотою змінного струму* (50 Гц; 200 Гц; 400 Гц);
- *напругою* (низької напруги – 28,5 В, 115 В, 230 В, 400 В; високої напруги – 6300 В, 10500 В);
- *потужністю* (малої потужності – до 50 кВт; середньої потужності – 50-1000 кВт; великої потужності – понад 1000 кВт);

- типом системи охолодження ДВЗ (з повітряною; з водо-повітряною {радіаторною}; з водо-водяною двоконтурною; з водяною проточною);
- швидкістю v ходу поршня у циліндрі ДВЗ (тихохідні – $v \leq 6,5$ м/с; швидкохідні – $v > 6,5$ м/с).

На **Рис. 4.5** наведено приклади електроагрегатів та електростанцій з ДВЗ.

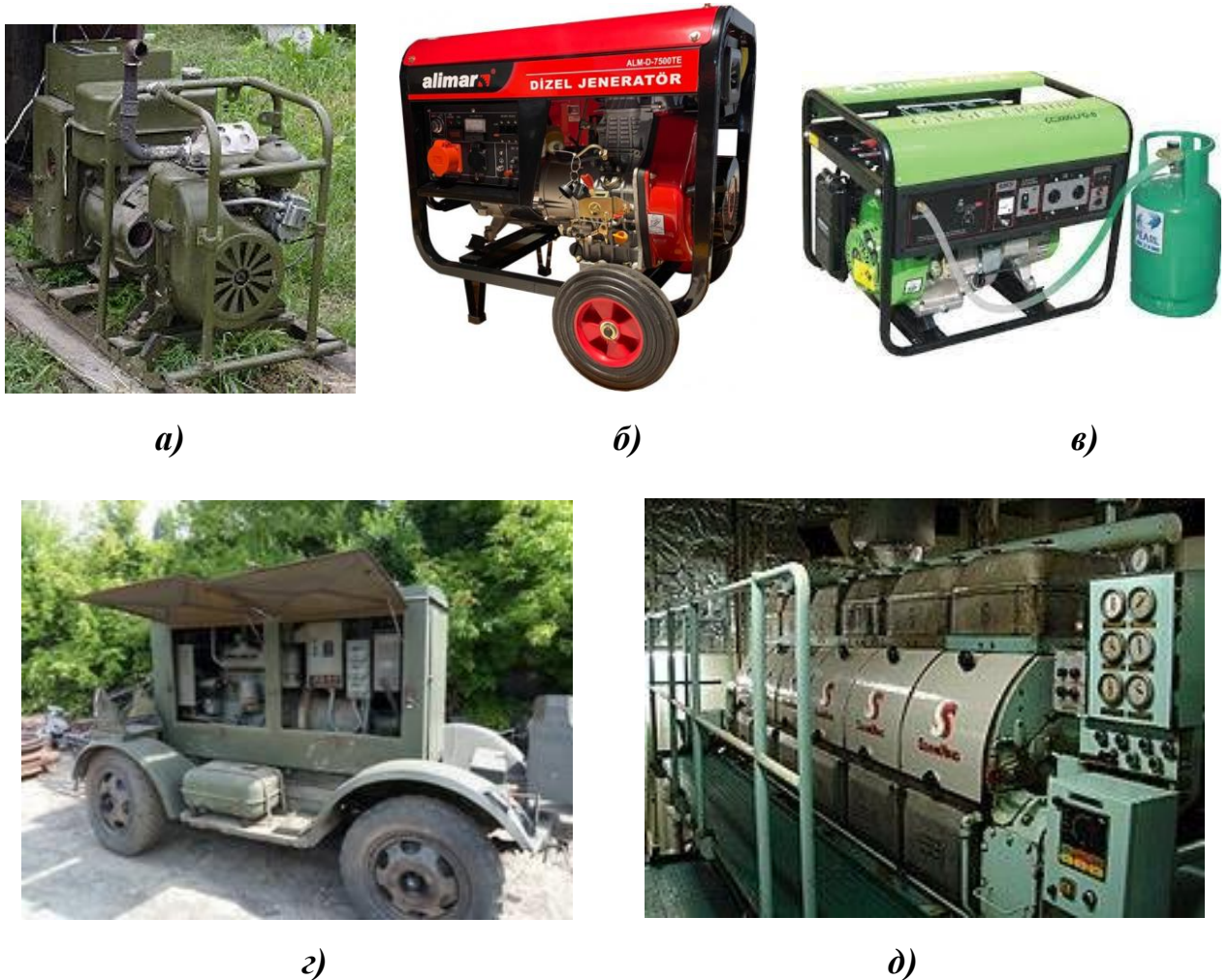


Рисунок 4.5 – Приклади електроагрегатів та електростанцій з ДВЗ:
 а) бензоелектричний генератор; б) дизель-електричний генератор;
 в) газоелектричний (газовий) генератор; г) електростанція армійська пересувна дизель-генераторна; д) стаціонарна дизельна електростанція

Гідравлічні електростанції, їх різновиди та особливості, типові схеми

Класичні (греблеві) гідравлічні електричні станції (ГЕС)

На гідравлічних електричних станціях (гідроелектростанціях або ГЕС) для одержання електроенергії використовується енергія водяних потоків (рік, водоспадів і т. п.).

В даний час на ГЕС виробляється близько 15 % всієї електроенергії. Більш інтенсивне будівництво цього виду станцій стримується великими капіталовкладеннями, великими термінами будівництва і специфікою розміщення гідроресурсів територією країни.

Згідно із Законом України «Про електроенергетику», залежно від потужності, ГЕС поділяють на:

- потужні (від 25 МВт до 250 МВт і вище);
- середні (до 25 МВт);
- малі (від 1 МВт до 10 МВт);
- міні-ГЕС (від 200 кВт до 1 МВт);
- мікро-ГЕС (до 200 кВт).

На сьогодні водяні ресурси використовуються в переважній більшості за допомогою потужних ГЕС (в основному, на Дніпрі та Дністрі). Хоча окремі територіальні громади розгорнули активну роботу із відновлення малих, міні- та мікро-ГЕС, які у великій кількості використовувалися у 20-40-х роках минулого сторіччя у якості сільських колгоспних і радгоспних автономних електростанцій.

Потенційні гідроенергоресурси України оцінюються у 41,8 млрд. кВт·год.; економічно ефективні – у 17,0 млрд. кВт·год.; з них використовуються – близько 12,0 млрд. кВт·год.

Первинними двигунами на ГЕС є гідротурбіни, що приводять у рух синхронні гідрогенератори. ККД гідротурбін досягає 90 %.

Потужність, якою володіє водяний потік, що падає на лопаті гідротурбіни, можна виразити співвідношенням:

$$P = Q \cdot \rho \cdot H \cdot g, \quad (4.1)$$

де Q – об'єм води, що падає на лопаті гідротурбіни за одиницю часу (витрати води); ρ – густина води; H – висота падіння (напір); g – прискорення вільного падіння.

Оскільки g є сталою величиною, а ρ , хоча і незначно змінюється за сезонами, проте в середньому протягом року також може вважатися сталою для конкретної місцевості, то вираз (4.1) можна записати у вигляді:

$$P \equiv Q \cdot H. \quad (4.2)$$

Отже потужність водяного потоку пропорційна витратам води Q і напору H .

Потужність – це енергія за одиницю часу. Метою ГЕС є перетворення цієї механічної енергії у енергію електричну.

На **Рис. 4.6** наведено технологічну схему класичної (греблевої) ГЕС.

На греблевих ГЕС напір води створюється греблею. Водяний простір перед греблею називається *верхнім б'єфом*, а нижче греблі – *нижнім б'єфом*. Різниця рівнів верхнього (РВБ) і нижнього б'єфа (РНБ) визначає напір H .

Верхній б'єф утворює водосховище, в якому накопичується вода, що використовується по мірі необхідності для виробництва електроенергії.

До складу гідровузла на рівнинній річці входять: гребля, будівлі електростанції, водоскидні, суднопропускні (шлюзи), рибопропускні споруди та ін.

На гірських ріках споруджуються ГЕС, що використовують великі природні ухили ріки і водоспади. Проте при цьому зазвичай доводиться створювати систему дериваційних споруд. До них відносяться споруди, що спрямовують воду в обхід природного русла ріки: дериваційні канали, тунелі, труби.

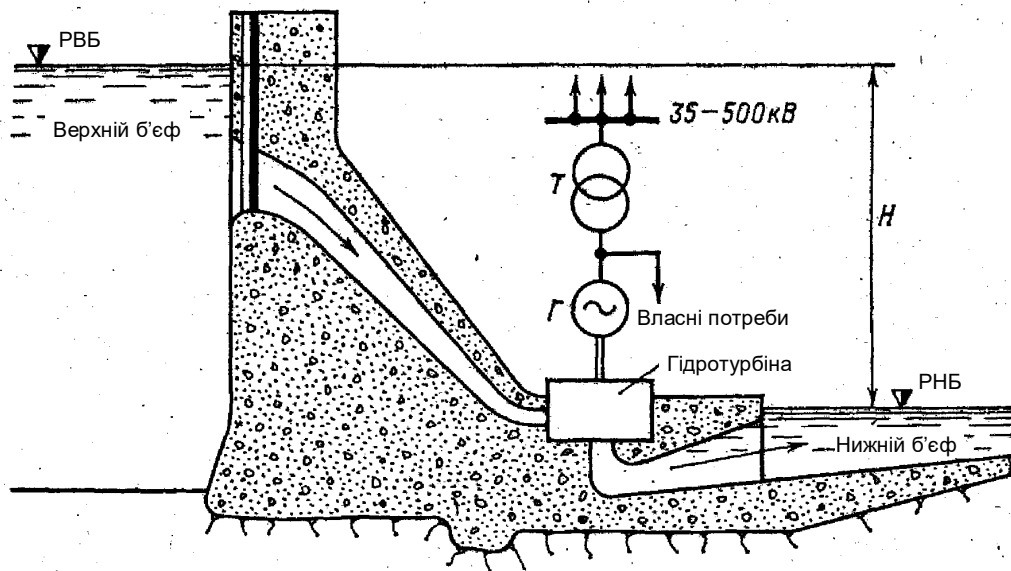


Рисунок 4.6 – Технологічна схема греблевої ГЕС:
Г – генератор; Т – трансформатор; Н – напір; РВБ – рівень верхнього б'єфу; РНБ – рівень нижнього б'єфу

На **Рис. 4.7** зображено різновиди класичних ГЕС.



а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.7 – Різновиди класичних ГЕС:
а) ДніпроГЕС; б) мала ГЕС; в) міні-ГЕС; г) переносна мікро-ГЕС

В електричній частині ГЕС багато в чому подібні до КЕС. Як і КЕС, ГЕС звичайно віддалені від центрів споживання, оскільки місце їх будівництва

визначається в основному природними умовами. Тому електроенергія, вироблена на ГЕС, видається на високих і надвисоких напругах (110-500 кВ), щоб зменшити втрати при передачі на великі відстані. Особливістю ГЕС є невелике споживання електроенергії на власні потреби (у декілька разів менше, ніж на ТЕС), що пояснюється відсутністю на ГЕС крупних механізмів у системі власних потреб.

При спорудженні ГЕС одночасно з енергетичними розв'язуються і важливі народногосподарські задачі: зрошення с/г земель, розвиток судноплавства, водопостачання населених пунктів та підприємств тощо.

Технологія виробництва електроенергії на ГЕС досить проста і легко піддається автоматизації. Пуск агрегату ГЕС займає менше 1 хв., тому резерв потужності в енергомережі доцільно забезпечувати саме цими агрегатами.

Гідроакумулювальні електричні станції (ГАЕС)

Особливу роль у сучасній гідроенергетиці відіграють *гідроакумулювальні електричні станції (ГАЕС)*. На відміну від класичних ГЕС, у яких водосховище, як правило, наявне тільки перед греблею (верхній б'єф), ГАЕС мають, як мінімум, два водосховища (і у верхньому, і у нижньому б'єфі) з певними перепадами висот між ними (*Рис. 4.8*).

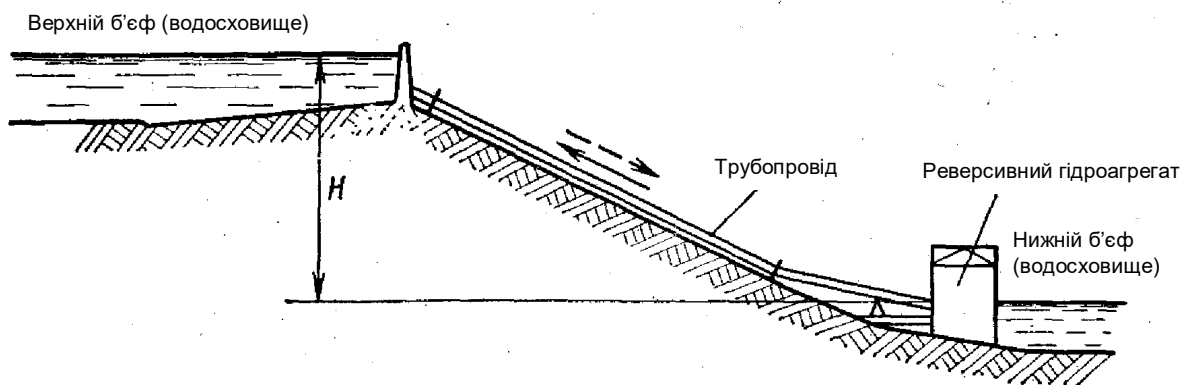


Рисунок 4.8 – Особливості технологічної схеми ГАЕС

У спорудах ГАЕС встановлюються так звані реверсивні гідроагрегати. В години мінімуму навантаження енергомережі генератори ГАЕС переводяться на роботу у режимі електродвигуна, а турбіни – у насосний режим. Споживаючи потужність із мережі, такі гідроагрегати перекачують воду трубопроводом з нижнього водосховища у верхнє. У періоди максимальних навантажень, коли в енергосистемі утворюється дефіцит генераторних потужностей, ГАЕС виробляє електроенергію, як звичайна ГЕС: скидаючи воду з верхнього водосховища, обертає турбіну з генератором і видає електроенергію в мережу.

Таким чином, застосування ГАЕС дозволяє вирівнювати графіки навантажень енергосистеми.

Загальний ККД ГАЕС в оптимальних розрахункових умовах роботи наближається до 0,75. У реальних умовах середнє значення ККД, з урахуванням втрат в електричній мережі, не перевищує 0,66.

На *Рис. 4.9* наведені приклади вітчизняних ГАЕС.



а)



б)

*Рисунок 4.9 – Приклади українських ГАЕС:
а) Дністровська; б) Ташлицька*

ТЕМА 5 **ГРАФІКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

Електричні навантаження с/г підприємств і населених пунктів

Як уже відзначалося раніше, в аграрних районах існує велика кількість різноманітних споживачів електричної енергії. Для проектування електричних мереж, підстанцій та станцій необхідно знати *навантаження* окремих споживачів, а, інколи, і окремих електроприймачів.

У споживачів можуть бути абсолютно різні вимоги до енергопостачання: роду струму, частоти, потужності, безперебійності тощо. Зокрема, перерва в електропостачанні може призводити до різних несприятливих наслідків.

На окремих промислових об'єктах можуть бути електроприймачі, перерви в електропостачанні яких неприпустимі навіть на порівняно короткий проміжок часу. Якщо розглядати цю проблему у прив'язці то сільського господарства, то припинення, навіть на короткий період часу, енергопостачання, наприклад, інкубатора призводить до масової загибелі зародків курчат і багатотисячних збитків від втрати продукції птахівництва. А перебої у постачанні електроенергією систем вентиляції зерносховищ, пташників чи інших тваринницьких приміщень неминуче призводить до утворення вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, і тоді вже йдеться не лише про матеріальні збитки, а й про пряму небезпеку життю працюючих людей.

Відповідно до характеру збитку, що може бути нанесений окремому підприємству при раптових перервах в електропостачанні, за Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), всім електроспоживачам привласнюють певну категорію:

I – електроспоживачі, порушення електропостачання яких спричиняє небезпеку для життя людей, значний збиток народному господарству, ушкодження устаткування, масовий брак продукції, розлад складного технологічного процесу, порушення особливо важливих елементів народного господарства;

II – електроспоживачі, перерва в електропостачанні яких пов'язана з масовим недовипуском продукції, простоєм робітників, механізмів і промислового транспорту, порушенням нормальної діяльності значної кількості жителів населених пунктів;

III – всі інші електроспоживачі, які не підходять під визначення I і II категорій, що допускають перерви в електропостачанні без істотного збитку, протягом часу, необхідного для ремонту чи заміни електроустаткування, що вийшло з ладу.

Електричне навантаження в сільському господарстві, як і в інших галузях народного господарства, – це величина, що 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 ступінь електрифікації сільськогосподарського виробництва та побуту сільського населення.

Ці зміни, як правило, носять випадковий характер, однак вони підпорядковані ймовірнісним 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 год. наприкінці розрахункового періоду. Розрізняють денний та вечірній максимуми навантажень споживача (групи приймачів).

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.

При проектуванні систем електропостачання виконується ряд розрахунків, результати яких дозволяють вибрати устаткування підстанцій, перетини і матеріал провідників, найекономічніші способи передачі електричної енергії, конфігурацію мережі, розташування трансформаторних підстанцій, експлуатаційні витрати тощо. Визначення розрахункових електричних навантажень та облік зміни їх в часі в цьому випадку є вихідним матеріалом для всього подальшого проектування.

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.

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

Методи одержання графіків навантажень та їх різновиди

У найпростішому варіанті графік навантаження може бути відображений самописним приладом (*Рис. 5.1*), але найбільш зручним для всіляких розрахунків є ступінчастий графік, побудований на основі показань вимірювальних приладів, знятих через однакові усереднені інтервали часу t_u (*Рис. 5.2*). Оптимальна тривалість інтервалу усереднення прийнята рівною трьом сталим часу нагріву провідника t_0 , тому що за цей час перегрів провідника сягає приблизно 95 % усталеного значення

$$t_u = 3 \cdot t_0. \quad (5.1)$$

Досить часто по вісі потужностей відкладають не абсолютні значення, а відносні – у відсотках або частинах від максимальної потужності.

У більшості випадків у 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.

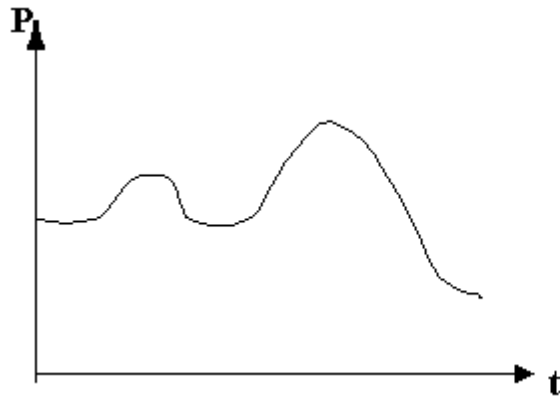


Рисунок 5.1 – Добовий графік навантаження, одержаний за допомогою самописного приладу

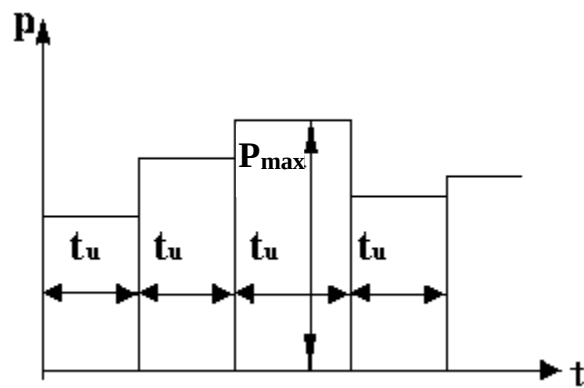
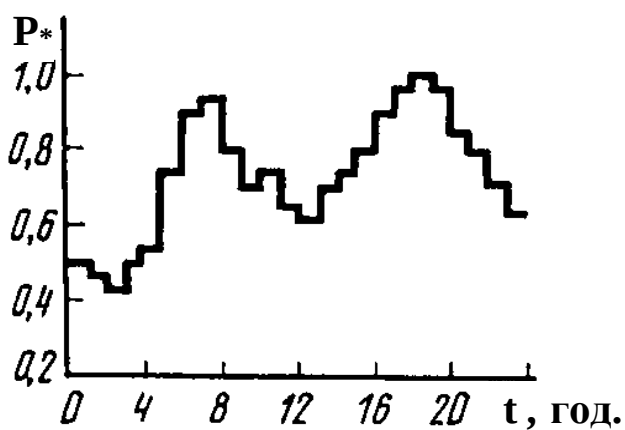
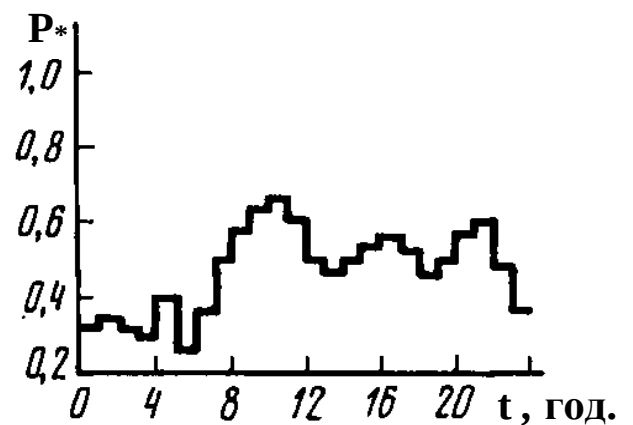


Рисунок 5.2 – Добовий графік навантаження, побудований на основі показань вимірювальних приладів:

t_u – усереднені інтервали часу; $P_{\max}$ – максимальна потужність



а)



б)

Рисунок 5.3 – Добові графіки навантаження конкретного електроспоживача:

а) для зимового дня; б) для літнього дня

(потужність P^ у відносних одиницях – частинах від $P_{\max}$)*

При розрахунках часто обмежуються двома характерними добовими графіками для зимового та літнього днів. На **Рис. 5.3** наведено приклади *добових графіків навантаження* конкретного електроспоживача для зимового (**Рис. 5.3, а**) та літнього (**Рис. 5.3, б**) днів.

Річний графік навантаження відображає зміну максимального півгодинного навантаження за місяцями року (**Рис. 5.4**).

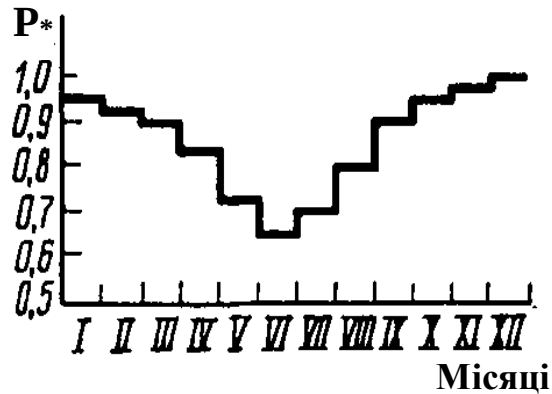


Рисунок 5.4 – Річний графік навантаження конкретного електроспоживача

На практиці досить інформативним і зручним у використанні є *річний графік навантаження за тривалістю*, що має вигляд «спадаючих» сходинок різної висоти і ширини (**Рис. 5.5**). На цьому графіку по вісі абсцис відкладають час (в році 8760 год.), а по вісі ординат – мінімальне навантаження, яке відповідає цьому часу.

Побудова річного графіка навантаження за тривалістю та визначення основних показників ефективності енергопостачання (енергоспоживання)

Річний графік за тривалістю складають на основі добових графіків за всі 365 днів року.

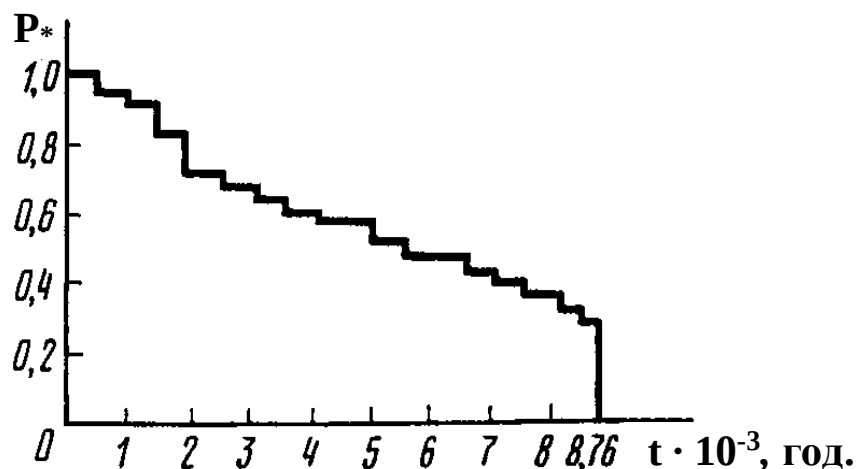
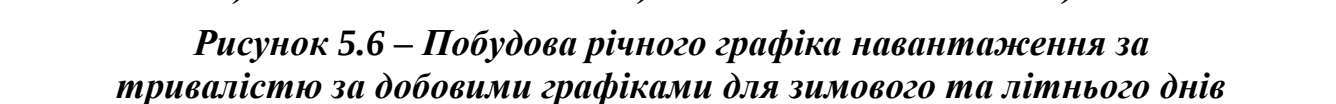


Рисунок 5.5 – Річний графік навантаження за тривалістю конкретного електроспоживача

Виконується це наступним чином (*Рис. 5.6*).



Якщо тепер прийняти, що сільські споживачі в середньому протягом року працюють 200 днів за зимовим добовим графіком та 165 днів за літнім, то тривалість дії навантажень $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$ та більших за них протягом року визначається так:

$$H^1(\mathbb{R}^n, \mathbb{R}) \cong \mathbb{R}^n \quad (5.2) \quad \text{if } n \geq 1.$$

На його основі можна визначити *середню річну потужність* $P_{\text{сер}}$, яка дорівнює відношенню *кількості енергії* W , яка постачається (або споживається) за рік (заштрихована площа S під річним графіком навантаження за тривалістю) до повної кількості годин в році – 8760. В результаті на **Рис. 5.6 в**) утворюється прямокутник, позначений пунктирно, площею S , одна сторона якого (ширина)

дорівнює кількості годин в році (8760), а друга – відобразить на вісі ординат значення $P_{\text{сер}}$.

Крім того, за річним графіком навантаження за тривалістю знаходять *час використання максимального навантаження* $T_{\text{вик.мах}}$. Це основа другого, позначеного пунктиром, прямокутника площею S , висота якого дорівнює максимальному навантаженню $P_{\text{мах}}$. Чим більше значення $T_{\text{вик.мах}}$, тим краще використовується електроустановка. В сільському господарстві навантаження протягом доби та року змінюється досить суттєво, зазвичай $T_{\text{вик.мах}}$ приймає значення 900-3400 год.

Важливою характеристикою ефективності енергопостачання (або енергоспоживання) є *коефіцієнт запасу обладнання* K_3 (іноді говорять – *коефіцієнт заповнення графіка*). Він дорівнює відношенню площі S , заштрихованій під річним графіком навантаження за тривалістю, до максимально можливої площі $S_{\text{мах}}$, тобто площі прямокутника із сторонами $P_{\text{мах}}$ та $T = 8760$ год.:

$$K_3 = \frac{S}{S_{\text{мах}}}. \quad (5.3)$$

K_3 приймає значення від 0 до 1. І, зрозуміло, чим він ближче до 1, тим ефективніше використовується електрообладнання.

Приклад побудови річного графіка навантаження за тривалістю за конкретними даними

У таблицях **Табл. 5.1** і **Табл. 5.2** наведено характеристики електроприймачів деякого електроспоживача для характерних зимового та літнього днів відповідно.

Визначимо енергетичні потреби об'єкта електропостачання для зимового та літнього днів, побудуємо графіки енергетичного навантаження і визначимо основні показники ефективності енергоспоживання даного електроспоживача

Таблиця 5.1

Електроприймачі деякого електроспоживача у зимовий день

Електроприймачі	Кількість n , шт.	Потужність P , Вт	Періоди роботи протягом доби, год.	Тривалість роботи t , год.
Лампи розжарювання 100 Вт	1	100	4...6	2
	2	100	16...19	3
Лампи розжарювання 60 Вт	2	60	5...9	4
	3	60	19...23	4
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	2	11	12...14	2
	2	11	20...22	2
Телевізор	1	150	6...10	4
			13...14	1
			17...22	5
Холодильник	1	540	0...24	24
Праска	1	1000	19...20	1
Персональний комп'ютер	1	80	18...21	3

Таблиця 5.2

Електроприймачі деякого електроспоживача у літній день

Електроприймачі	Кількість n , шт.	Потужність P , Вт	Періоди роботи протягом доби, год.	Тривалість роботи t , год.
Лампи розжарювання 100 Вт	2	100	4...6	2
	1	100	20...21	1
Лампи розжарювання 60 Вт	2	60	5...7	2
			12...13	1
	3	60	17...18	1
			0...22	22
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	1	11	13...15	2
	1	11	19...21	2
Телевізор	1	150	6...10	4
			13...14	1
			19...22	3
Холодильник	1	540	0...24	24
Праска	1	1000	20...21	1
Персональний комп'ютер	1	80	20...22	2

Визначимо енергетичні потреби кожного обладнання, враховуючи кількість годин роботи, за формулою:

$$W_i = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i, \quad (5.4)$$

де P_i – потужність i -го електроприймача; t_i – час роботи i -го електроприймача; n – кількість електроприймачів i -го типу.

Скориставшись даними таблиць **Табл. 5.1** і **Табл. 5.2** та формулою (5.4), без особливих зусиль визначаємо енергетичні потреби кожного електроприймача для зимового і для літнього дня. Результати зводимо до таблиці **Табл. 5.3**.

Таблиця 5.3

Енергетичні потреби деякого електроспоживача

Електроприймачі	Енергетичні потреби для зимового дня $W_{\text{зим}}$, Вт·год.	Енергетичні потреби для літнього дня $W_{\text{літн}}$, Вт·год.
Лампи розжарювання 100 Вт	800	500
Лампи розжарювання 60 Вт	1200	4500
Люмінесцентні лампи (еквівалентні 40 Вт лампам розжарювання) 11 Вт	88	44
Телевізор	1500	1200
Холодильник	12960	12960
Праска	1000	1000
Персональний комп'ютер	240	160

Оскільки робота електрообладнання відбувається 200 днів за зимовим

добовим графіком і 165 днів за літнім добовим графіком, то загальні потреби електроспоживача в електричній енергії на рік розраховуються за формулою:

$$W = 200 \cdot \sum W_{\text{зим}} + 165 \cdot \sum W_{\text{літн}} . \quad (5.5)$$

Підставивши до співвідношення (5.5) числові дані з **Табл. 5.3**, одержимо:

$$W = 200 \cdot 17788 \text{ Вт} \cdot \text{год.} + 165 \cdot 20364 \text{ Вт} \cdot \text{год.} = 6917660 \text{ Вт} \cdot \text{год.} \approx 6918 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Побудуємо тепер для даного електроспоживача добові графіки навантаження для характерних зимового та літнього днів.

Для цього, скориставшись даними таблиць **Табл. 5.1** та **Табл. 5.2**, спочатку визначаємо сумарну споживану потужність для кожної години доби окремо для зимового і для літнього днів.

Для зручності подальших побудов, необхідно перевести одержані значення щогодинних споживаних потужностей у відносні одиниці (частини від максимальної потужності). Для цього серед усіх підрахованих значень потужностей знаходимо максимальне P_{max} й приймаємо його за 1. Всі інші значення потужностей виражаємо через частини від P_{max} , позначаємо P_i^* та розташовуємо послідовно за зменшенням. Всі результати зводимо до таблиць **Табл. 5.4** і **Табл. 5.5**. У цих таблицях позначаємо період від 00:00 до 01:00 як 1 год., від 01:00 до 02:00 як 2 год., від 02:00 до 03:00 як 3 год. і т. д.

За даними таблиць **Табл. 5.4** та **Табл. 5.5** побудуємо добові графіки навантаження для зимового (**Рис. 5.7 а**) й літнього (**Рис. 5.7 б**) днів.

Таблиця 5.4

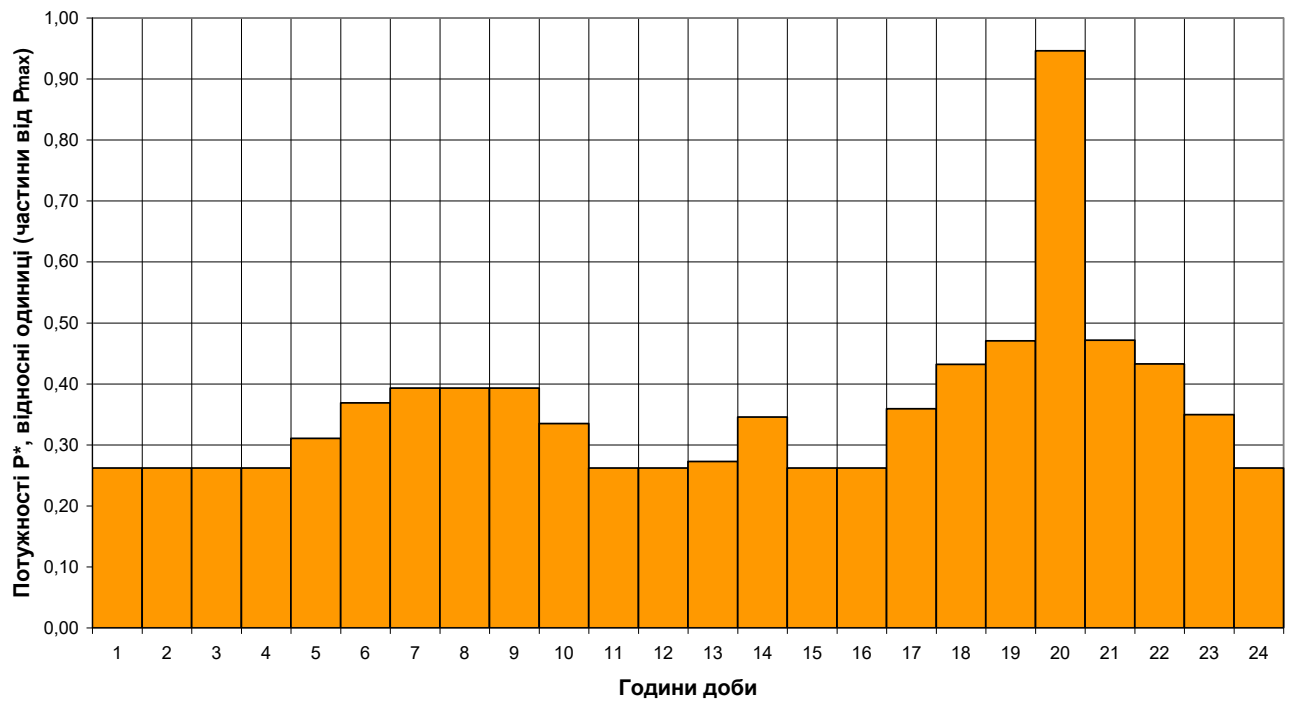
**Щогодинні потреби деякого електроспоживача в електроенергії
для зимового дня**

Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці	Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці		
1	540	540	0,26	16	540	540	0,26		
2	540	540	0,26	17	200	740	0,36		
3	540	540	0,26		540				
4	540	540	0,26	18	200	890	0,43		
5	100	640	0,31		150				
	540				540				
6	100	760	0,37	19	200	970	0,47		
	120				150				
	540				540				
7	120	810	0,39	20	80	1950	0,95		
	150				180				
	540				150				
8	120	810	0,39		540			1950	0,95
	150				1000				
	540				80				
9	120	810	0,39	21	180	972	0,47		
	150				22				
	540				150				
10	150	690	0,33		540			972	0,47
	540			80					
11	540	540	0,26	22	180	892	0,43		
12	540	540	0,26		22				
13	22	562	0,27		150			892	0,43
	540				540				
14	22	712	0,35	23	180	720	0,35		
	150			540					
	540			24	540	540	0,26		
15	540	540	0,26	—	—	—	—		

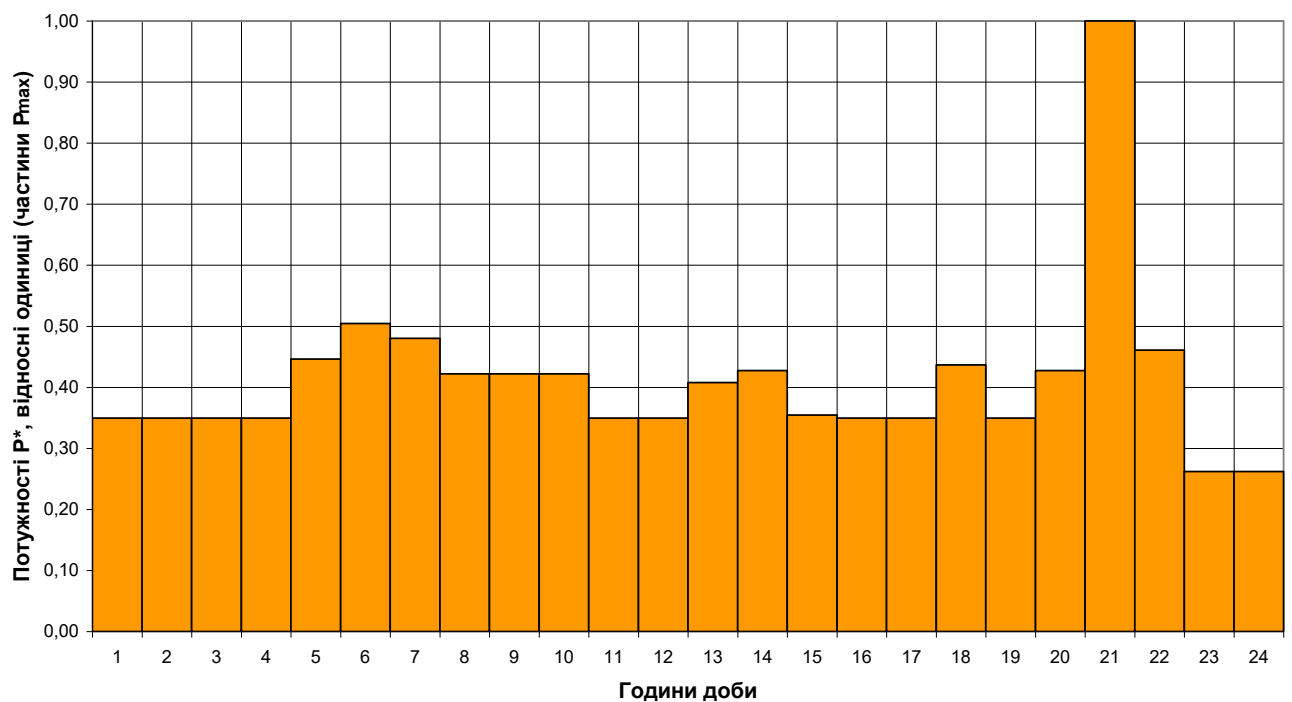
Таблиця 5.5

**Щогодинні потреби деякого електроспоживача в електроенергії
для літнього дня**

Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці	Година доби	Споживані потужності, Вт	Сумарна споживана потужність, Вт	Відносні одиниці		
1	180	720	0,35	14	180	881	0,43		
	540				11				
2	180	720	0,35		150				
	540				540				
3	180	720	0,35	15	180	731	0,35		
	540				11				
4	180	720	0,35		16			180	720
	540			540					
5	200	920	0,45	17	180	720	0,35		
	180				540				
	540								
6	200	1040	0,50	18	180	900	0,44		
	120				180				
	180				540				
	540			19	180	720	0,35		
120	540								
7	180	990	0,48	20	180	881	0,43		
	150				11				
	540				150				
8	180	870	0,42		21			540	2061
	150			100					
	540			180					
9	180	870	0,42	11		950	0,46		
	150			150					
	540			540					
10	180	870	0,42	1000		22	950	0,46	
	150			80					
	540			180					
11	180	720	0,35	150	540				540
	540			80					
12	180	720	0,35	23	540	540	0,26		
	540			24	540	540	0,26		
13	120	840	0,41	—	—	—	—		
	180								
	540								



а)



б)

**Рисунок 5.7 – Добові графіки навантаження
(за даними таблиць Табл. 5.4 та Табл. 5.5):
а) для зимового дня; б) для літнього дня**

На підставі характерних добових графіків навантаження (див. **Рис. 5.7**), за методикою, описаною раніше, можемо побудувати річний графік навантаження за тривалістю. Для зручності практичної побудови такого графіка побудуємо спочатку допоміжну таблицю (**Табл. 5.6**), до якої зведемо результати виставлених

за ранжиром підрахунків тривалості кожного з варіантів електроспоживання (і більшого за нього) протягом року, зважаючи на 200 днів роботи за зимовим добовим графіком і 165 днів – за літнім добовим графіком.

Таблиця 5.6

Варіанти потужностей споживача протягом року

Потужності P^*_i, відносні одиниці (частини від $P_{\max}$)	Тривалості t потужностей P^*_i, год.	Тривалості t потужностей P^*_i та більших, год.
1,00	165	165
0,95	200	365
0,50	165	530
0,48	165	695
0,47	400	1095
0,46	165	1260
0,45	165	1425
0,44	165	1590
0,43	730	2320
0,42	495	2815
0,41	165	2980
0,39	600	3580
0,37	200	3780
0,36	200	3980
0,35	2050	6030
0,33	200	6230
0,31	200	6430
0,27	200	6630
0,26	2130	8760

На підставі **Табл. 5.6** тепер зовсім нескладно побудувати річний графік навантаження за тривалістю (**Рис. 5.8**).

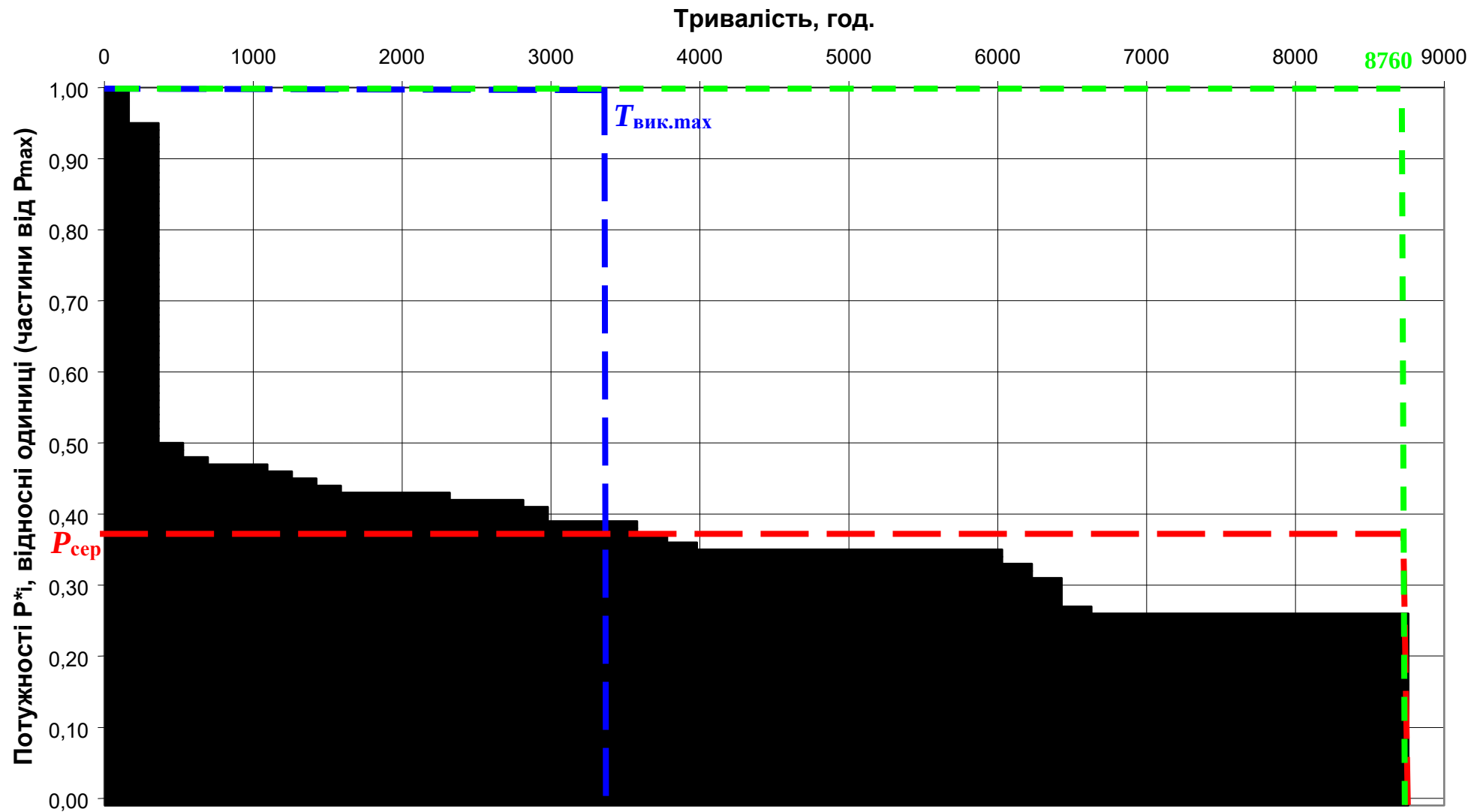


Рисунок 5.8 – Річний графік навантаження за тривалістю

Підрахувавши площу фігури під річним графіком навантаження за тривалістю, позначимо її S . Для цього необхідно знайти площі кожного з прямокутників S_i , одна сторона якого відповідає i -му варіанту потужності електроспоживання P^*_i , у відносних одиницях (частинах від $P_{\max}$), а друга – тривалості цієї потужності протягом року t , год., після чого всі площі прямокутників підсумувати:

$$S = \sum S_i. \quad (5.6)$$

Скориставшись двома першими стовбцями **Табл. 5.6**, за співвідношенням (5.6) отримуємо (у відносних одиницях площі):

$$S = 165,00 + 190,00 + 82,50 + 79,20 + 188,00 + 75,90 + 74,25 + 72,60 + 313,90 + 207,90 + 67,65 + 234,00 + 74,00 + 72,00 + 717,50 + 66,00 + 62,00 + 54,00 + 553,80 = 3350,20.$$

Побудувавши тепер на річному графіку навантаження за тривалістю прямокутник (червоним пунктиром) із площею S та однією із сторін, що співпадає із річним графіком навантаження за тривалістю, 8760 год. (тривалість року), знайдемо значення середньої річної потужності $P_{\text{сер}}$, у відносних одиницях (частинах від $P_{\max}$):

$$P_{\text{сер}} = \frac{3350,20}{8760} = 0,38.$$

З урахуванням того, що за 1,00 нами було прийнято потужність 2061 Вт, можемо записати:

$$P_{\text{сер}} = 788,21 \text{ Вт}.$$

А побудувавши на річному графіку навантаження за тривалістю інший прямокутник із площею S (синім пунктиром), у якого із графіком співпадає інша сторона – потужність, у відносних одиницях (частинах від $P_{\max}$), знайдемо час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мах}}$, год.:

$$T_{\text{вик.мах}} = \frac{3350,20}{1,00} = 3350,20 \text{ год}.$$

Залишилось відшукати коефіцієнт запасу обладнання K_3 . Для цього, спочатку, знаходимо максимально можливу площу під річним графіком навантаження за тривалістю площа зеленого пунктирного прямокутника із сторонами 8760 год. та потужність $P^*_i = 1,00$ (у відносних одиницях площі):

$$S_{\max} = 1,00 \cdot 8760 = 8760,00.$$

Згідно із співвідношенням (5.3), коефіцієнт запасу обладнання K_3 дорівнює:

$$K_3 = \frac{S}{S_{\max}} = \frac{3350,20}{8760,00} = 0,38.$$

Таким чином, ми побудували для електроспоживача за конкретними даними характерні добові графіки навантаження для зимового та літнього днів, річний

графік навантаження за тривалістю і визначили:

- максимальну споживану потужність $P_{\max} = 2061,00$ Вт;
- середню річну потужність $P_{\text{сер}} = 788,21$ Вт;
- час використання максимального навантаження $T_{\text{вик.мак}} = 3350,20$ год.;
- коефіцієнт запасу обладнання $K_z = 0,38$.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Базова

1. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент : навч. посіб. Вид. 3-є, перероб. та доп. Харків : БУРУН і К, 2006. 320 с.
2. Драганов Б. Х. Использование возобновляемых и вторичных энергоресурсов в сельском хозяйстве. Киев : Выща школа. Головное изд-во, 1988. 56 с.
3. Драганов Б. Х., Буляндра О. Ф., Міщенко А. В. Теплоенергетичні установки і системи в сільському господарстві / за ред.: Б. Х. Драганова. Київ : Урожай, 1995. 224 с.
4. Праховник А. В., Іншеков Є. М., Дешко В. І., Стрелкова Г. Г., Фірсов Л. Ф., Мельникова О. В. Енергозбереження та пом'якшення змін клімату. Посібник з раціонального використання енергії та ресурсів і пом'якшення змін клімату. Київ : ІЕЕ НТУУ «КПІ», 2008. 120 с.
5. Савчук А. Й. Нетрадиційні способи та засоби видобутку електроенергії : навч. посіб. Ч. 1. Чернівці : Рута, 2002. 58 с.
6. Самохвалов В. С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2008. 224 с.
7. Соловей О. І., Розен В. П., Плешков П. Г., Серебреніков С. В., Петрова К. Г., Ткаченко В. Ф. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. Черкаси : Видавець Чабаненко Ю., 2015. 316 с.
8. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources. 2nd ed. London and New York : Routledge Taylor & Francis Group, 2006. 601 p.

Допоміжна

1. Довідник сільського електрика / за ред.: В. С. Олійника. Вид. 3-є, перероб. і доп. Київ : Урожай, 1989. 264 с.
2. Задорожна І. П. Основи енергоефективності : навч.-метод. посіб. для ПТНЗ. Львів : НМЦ ПТО у Львівській обл., 2011. 78 с.
3. Семиноженко В. П., Канило П. М., Остапчук В. Н., Ровенский А. И. Энергия. Экология. Будущее. / под общ. ред. П. М. Канило. Харьков : Прапор, 2003. 464 с.
4. Щербина О. М. Енергія для всіх : техн. довідник з енергоощадності та відновлюваних джерел енергії. Вид. 4-е, допов. і перероб. Ужгород : Вид-во В. Падяка, 2007. 340 с.
5. IEA – ISO joint position paper «International Standards to develop and promote energy efficiency and renewable energy sources» // Special ISO Focus – World Energy Congress 2007. – P. 5-10.

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

**Конспект лекцій
з навчальної дисципліни
«Енергозбереження та використання поновлюваних
джерел енергії»**

для студентів 4 курсу
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Частина I

Укладачі: Жесан Роман Володимирович, к. т. н, доц.,
Голик Олена Петрівна, к. т. н, доц.

Рецензент: Каліч Віктор Михайлович, к. т. н, проф.