В.А. Маляренко
Л.В. Лисак

ЕНЕРГЕТИКА ДОВКІЛЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

За загальною редакцією
проф. В.А. Маляренка

Харків
«Рубікон»
2004

ББК 31.38
М 21
УДК 621.311:502.5

Р е ц е н з е н т и :
А.Л. Шубенко, д-р техн.наук, проф., зав. відділом оптимізації
турбомашин Інституту проблем машинобудування
НАН України ім А.М. Підгорного
В.У. Кизилов, проф., зав. кафедрою електричних станцій
Національного технічного університету "ХПІ"

Рекомендовано до друку:
Вченою радою Харківської Національної
академії міського господарства (Протокол № 5 від 06.02.2004 р.);
Президією Академії Наук вищої школи України
(Протокол № 3 від 19.03.2004 р.)

ISBN 966-7152-52-9

© Маляренко В.А., Лисак Л.В.
© «Рубікон», 2004

ВСТУП

... У наш час термін "Екологія" породив "екологізацію" сучасних наукових дисциплін і становить невід'ємну частину нашого життя.

В. Корміліцин

На сучасному етапі розвитку людства проблема взаємодії енергетики і довкілля набуває нових ознак, впливаючи на величезні території, більшість річок і озер, на атмосферу й гідросферу Землі. Ще більші масштаби розвитку енергопостачання й енергоспоживання в недалекому майбутньому зумовлюють подальше інтенсивне зростання їхніх різноманітних дій на всі компоненти природного довкілля в глобальному масштабі.

"Теплове забруднення" планети, "парниковий ефект", "кисневе голодування", кислотні дощі, виснаження озонового шару, масштабні забруднення токсичними хімічними речовинами і радіонуклідами, швидке скорочення біологічної різноманітності – ось не повний перелік бід, якими людство розплачується за цивілізаційний комфорт. В основі цього комфорту й усіх пов'язаних з ним негативних наслідків лежить, насамперед, виробництво та використання енергії,

перетворення її з однієї форми в іншу, реалізовуване об'єктами паливно-енергетичного комплексу.

З розвитком атомної енергетики виникли принципово нові сторони проблеми взаємодії енергетики з довкіллям. Кінець XX століття ознаменувався екологічною катастрофою планетарного масштабу – аварією на Чорнобильській АЕС, яка вкотре змусила людство замислитися: "Куди веде світ гонитва за Енергією? Де межа збільшення виробництва первинних енергоносіїв і постійного нарощування енергетичних потужностей, їхнього впливу на довкілля?"

Проте, останнім часом ця взаємодія набула загрозливого характеру. Науково-технічна революція уможливила великі відкриття у біології, хімії, фізиці й багатьох інших науках, значно розширила можливості інтенсивного використання природних ресурсів. Водночас вона ускладнила взаємодію Людини з довкіллям, вносячи помітні й непередбачувані зміни в екологічні системи, в регуляцію біосфери загалом.

Останніми роками вчені світу з великим занепокоєнням говорять про підвищення концентрації CO_2 в атмосфері, наслідком чого є "парниковий ефект" – підвищення температури Землі. Якщо ці побоювання підтвердяться, людству вже незабаром доведеться різко обмежити споживання вуглецевмісних палив . Окрім викидів CO_2, паливоспалювальні і теплоенергетичні установки виробляють викиди теплові (нагрітої води і газів), хімічні (оксиди сірки й азоту), золу і сажу, які зі збільшенням масштабу виробництва також створюють серйозні проблеми. Усунути або хоча б звести до мінімуму ці викиди можна тільки на підставі глибокого розуміння процесів перетворення енергії на всіх етапах, починаючи з видобутку первинних енергоресурсів і завершуючи використанням енергії споживачем в її кінцевому вигляді. Фактично екологія поставила людство перед необхідністю перейти до "безвідходного" енерговиробництва.

Іншою важливою стороною проблеми щодо взаємодії енергетики і довкілля за нових умов є визначальна роль умов природного середовища в розв'язанні практичних завдань енергопостачання (вибір типу енергетичних установок і дислокації підприємств, вибір одиничних потужностей енергетичного

устаткування й енергоресурсів, облік їхнього впливу на довкілля, застосування енергозберігаючих технологій і заходів та ін.).

Таким чином, ситуація, що склалася на межі тисячоліть, може розглядатися як гранично конфліктна з природним довкіллям. Тому екологічні аспекти енергетики й енергетичні аспекти екології, принципи взаємозалежності й гармонії людини і природи, мають ураховуватися на всіх етапах науково-технічного прогресу. Звідси й прямий зв'язок екології з господарською діяльністю людини, особливо з такими масштабними виробництвами, як енергетика, паливно-ресурсовидобувні комплекси, транспорт, сільське господарство тощо. Проблема взаємодії енергетики і довкілля є досить різноманітна, перебуває в авангарді науково-технічної думки і потребує надзвичайної уваги.

Вивчення взаємодії процесу суспільного виробництва з довкіллям спричинило розвиток на стику технічних, природних і соціальних наук нового наукового напрямку, який називають інженерною екологією. Важливою особливістю інженерно-екологічних досліджень є їх прикладний характер. Екологія тут постає теоретичною базою, що встановлює обмеження на параметри виробництва, а інженерні дисципліни – базою реалізації технічних рішень з певного виробництва для здійснення екологічних обмежень.

У виданні вміщено інформацію про роль енергетики в житті людства, про перспективи розвитку паливно-енергетичного комплексу, про традиційні й альтернативні джерела енергії. Розглянуто стан, напрямки та перспективи розвитку базових аспектів взаємодії об'єктів енергетики і технології виробництва енергії з урахуванням їхньої взаємодії з довкіллям, а також головні шляхи поменшення можливих негативних наслідків, зокрема таких, як енергозбереження, енергетичний аудит і менеджмент.

Пропонований матеріал, котрий у стислому і доповненому вигляді продовжує попередні роботи авторів у напрямі «Енергетика і екологія» [6-8, 13, 30-37, 42, 45, 63], узагальнений і систематизований з урахуванням вітчизняного й зарубіжного досвіду викладання енерго-екологічних дисциплін, а також загальних тенденцій розвитку енергетики на сучасному етапі в Україні, Росії і країнах Західної Європи.

Враховуючи важливість вивчення розглядаємої теми у процесі підготовки інженерів – випускників вищої школи будь-якого профілю (енергетичного, теплотехнічного, будівельного, екологічного, економічного, комунального господарства та ін.), автори усвідомлюють широчінь цієї проблеми і з вдячністю сприймуть усі зауваження та побажання, спрямовані на поліпшення змісту цієї книги, які просять надсилати на адресу: 61002, м. Харків, вул. Революції, 12. ХНАМГ. проф. В. А. Маляренку.

РОЗДІЛ 1

ЕНЕРГЕТИКА І МАЙБУТНЄ ЗЕМЛІ

...Ми, розумні істоти, не маємо права забувати, що наша цивілізація – лише одне з дивних явищ природи, залежних від постійного припливу концентрованої енергії сонячного випромінювання.

Ю. Одум

1.1. Основні поняття і визначення

1.1.1. Енергія та енергетика

Основні поняття і визначення

■

Енергія і життя

■

Енергетика і цивілізація

■

Енергія – головна проблема сучасності

Енергія [< гр. energia – діяльність] – загальна міра різних видів руху і взаємодії. Нині відомі різні ґатунки енергії: теплової — руху мікрочастинок, що становлять робоче тіло; кінетичної енергії самого тіла як одного цілого (механічна енергія); ґравітаційного, електричного й магнітного полів; електромагнітного випромінювання; внутрішньоядерної тощо. Деякі види енергії можуть перетворюватися на інші в чітко визначених кількісних співвідношеннях, які встановлює загальний закон збереження і перетворення енергії.

Енергетика – галузь народного господарства, що охоплює виробництво, перетворення

і застосування різних форм енергії. В енергетиці використовують здебільшого п'ять видів установок:

- *генерувальні* – такі, що перетворюють потенційну енергію природних енергетичних ресурсів у електричну, теплову, механічну або в інший різновид енергетичного ресурсу (наприклад, турбоустановки, газогенерувальні установки, котли, компресори);
- *перетворювальні* – такі, що змінюють параметри й інші особливості певного виду енергії (трансформаторні підстанції, випрямні й інвенторні електроустановки, трансформатори тепла тощо.);
- *мережі* – призначені для передачі й розподілу енергії (електричні, теплові, газові, нафтопроводи, мережі стиснутого повітря тощо);
- *акумулювальні* – призначені для часткового регулювання режиму виробництва енергії (електричні й теплові акумулятори, насосно-акумулюючі гідростанції та ін.);
- *споживаючі* – такі, що слугують для перетворення енергії у вид, в якому її безпосередньо використовують (електричний привод машин, опалювальні установки, промислові печі, світильники тощо).

З погляду фізики процес виробництва будь-якої форми енергії полягає в перетворенні однієї її форми в іншу. Тому, за змістом фізичних процесів, що відбуваються у всіх установках, машинах, апаратах і пристроях енергетичного господарства, енергетика може бути названа також і наукою про перетворення, транспортування й використання енергії.

Основними формами, в яких наразі застосовують енергію, залишаються теплота й електрика. Галузі енергетики, що вивчають їх одержання, перетворення, транспортування та використання називаються, відповідно, *теплоенергетикою* і *електроенергетикою*.

Галузь енергетики, яка вивчає перетворення водної енергії в електричну, називається *гідроенергетикою*.

Відкриття шляхів використання енергії атомного ядра створило нову галузь енергетики – *атомну* або *ядерну енергетику*.

Питаннями використання енергії мас повітря, що переміщаються, займається *вітроенергетика*.

Кожен з розділів енергетики як науки має свою теоретичну основу, що базується на законах фізичних явищ у певній сфері.

Розуміння єдності й еквівалентності різних форм енергії склалося до середини XIX ст., коли був накопичений достатньо великий досвід перетворювання одних форм енергії в інші: винайдена парова машина, що перетворює тепло в механічну енергію; відкриті перші джерела електричної енергії – гальванічні елементи, в яких здійснювалося безпосереднє перетворення хімічної енергії в електричну; шляхом електролізу багато разів здійснене зворотне перетворення – електричної енергії на хімічну; створений електричний двигун, у якому електрична енергія перетворювалась на механічну; відкрите явище безпосереднього перетворення електричної енергії в тепло. І, нарешті, у 1831 р. був відкритий спосіб перетворювання механічної енергії в електричну. Природним узагальненням величезного обсягу накопичених даних щодо обернення одних форм енергії в інші став *закон збереження і перетворення енергії* – один з фундаментальних законів фізики.

Потреба в перетвореннях енергії пов'язана з неодмінною наявністю різних її форм для сучасних технологічних процесів. Причому перетворення енергії не вичерпуються тільки перетворенням одних її форм на інші. Теплову енергію застосовують за різних значень параметрів теплоносія (пари, газу, води), електричну – у формі змінного або постійного струму і за різних рівнів напруги.

Перетворення енергії відбувається в різних машинах, апаратах і пристроях, що навзагал є технічною основою енергетики. Так, у котельних установках хімічна енергія палива перетворюється на теплову; у паровій турбіні це тепло, носієм якого є водяна пара, обертається в механічну енергію, яка в електричному генераторі, своєю чергою, перетворюється в енергію електричну; на гідроелектростанціях у гідротурбінах й електрогенераторах енергія водних потоків перетворюється на електричну; у електричних двигунах електрична енергія обертається в механічну тощо.

Способи створення та експлуатації різних установок, машин, апаратів і пристроїв, призначених для одержання, перетворення, транспортування і застосування різних форм

енергії, базуються на використанні відповідних розділів теоретичних основ енергетики: *теплотехніки, електротехніки, гідротехніки, вітротехніки* та ін.

1.1.2. Екологія і довкілля

Термін "екологія", вперше використаний у 1966 р. біологом Э. Геккелем, походить від грецьких слів "oic-os" – будинок, сім'я і "logos" – слово, поняття, навчання.

Екологія – наука, що вивчає взаємини живих організмів, котрі створюють певну єдність (системи) з довкіллям, у межах якої відбувається процес трансформації енергії й органічної речовини. Основне завдання екології – вивчення взаємодії енергії та матерії в екосистемі, під якою загалом мають на увазі відкриту стійку цілісну систему живих і неживих компонентів, що історично склалася на тій чи тій території (акваторії) біосфери. Екосистеми є відкритими системами, тобто мають довкілля і на вході, і на виході.

Концепція екосистеми перебуває в центрі уваги сучасної екології. Односторонній потік енергії й циркуляція хімічних елементів – два фундаментальні закони загальної екології, однаковою мірою застосовні до будь-якого довкілля і до будь-якого організму, включно з людиною. Окремі особини, популяції, види, групи в їхній взаємодії між собою і з довкіллям також є об'єктами екологічного дослідження.

Таким чином, екологія – одна з провідних навчальних і науково-технічних дисциплін на сучасному рівні розвитку людства, і її роль у майбутньому зросте ще більше. Економічні проблеми щільно пов'язані не тільки з питаннями технологічної діяльності людини (особливо з технологією енергетики) і техногенного навантаження на довкілля, а й з економікою, політикою, мораллю, правом, естетикою та освітою.

Колись давно Земля вже зазнавала глобальних катаклізмів, пов'язаних із критичними змінами, що відбувалися у природі. Наприклад, одна з гіпотез про причини виникнення льодовикового періоду на Землі базується на ідеї зіткнення нашої планети з величезною кометою. Згідно з іншою гіпотезою, причиною

"всесвітнього потопу" було різке потеплення клімату на Землі, пов'язане з бурхливим розвитком рослинного і тваринного світу. Тому не дивно, що ще в далекому минулому вчені досліджували взаємодію біологічних систем з довкіллям. Відомий трактат засновника медичної науки Гіппократа «Про повітря, воду і землю» – чи не перше дослідження екологічних проблем.

Вплив людини на довкілля в сучасну епоху за багатьма компонентами наближається до валового природного впливу, проте з погляду концентрації негативних чинників на порядки перевищує дію природних ефектів. Усе це зумовило зрослий інтерес людства до вивчення джерел негативного впливу на довкілля і створення методів повного або часткового його усунення.

У зв'язку з бурхливим зростанням потреб практики, особливо пов'язаних з розв'язанням продовольчих і енергетичних проблем, проблем раціонального використання природних ресурсів й охорони довкілля, обумовлених науково-технічною революцією, виникли такі нові терміни і поняття, як "прикладна", "глобальна", "соціальна", "інженерна" екологія та ін.

Екологія прикладна – розділ екології, результати дослідження якого спрямовані на розв'язання практичних проблем охорони довкілля, насамперед таких, як: захист від забруднень; управління довкіллям, раціональним використанням природних ресурсів, кругообігом води й повітря в природі, стабільністю і можливим навантаженням екосистем.

Поняття "Прикладна екологія" досить часто використовують як синонім охорони довкілля. Тому важливим складником прикладної екології є інженерна екологія енергетики, що вивчає екологічні аспекти енергетики й енергетичні аспекти екології, які перебувають у найщільнішому взаємозв'язку.

Довкілля – сукупність природних і штучних, створюваних людиною матеріальних об'єктів і явищ, а також соціально-екологічних феноменів. До природних компонентів довкілля належить географічне положення, будова поверхні та клімат місцевості, мінеральні, енергетичні й водні ресурси, ґрунт, повітря, флора і фауна з урахуванням властивих їм процесів і явищ.

Створені людиною фізичні компоненти довкілля включають машини і знаряддя, житлові й виробничі приміщення, синте-

тичні матеріали і продукти, що не мають аналогів у природньому середовищі, засоби комунікацій, забруднення різних типів.

Забруднення – привнесення в довкілля, а також виникнення в ньому нових, зазвичай не характерних для цього природного середовища фізичних, хімічних або біологічних речовин, що завдають шкоди людині, флорі й фауні.

Основні джерела забруднень – різні об'єкти виробничої і побутової діяльності людини. До основних об'єктів, що піддаються забрудненню, належить вода, повітря і ґрунт.

Звичайно забруднення води пов'язані з регулярним скиданням у вододжерела стічних вод, з поверхневим і дренажним стоком з сільськогосподарських угідь, із розробкою корисних копалин, з експлуатацією енергетичних, хімічних, машинобудівних та інших підприємств.

Забруднення повітря є наслідком викидів в атмосферу чужорідних крапель, пари, газів, частинок, підвищення концентрації деяких звичних компонентів (вуглекислого газу, твердих частинок), що обумовлене роботою підприємств, спалюванням палива в різних енергетичних системах, господарсько-побутовою діяльністю населення тощо. Основні інґредієнти забруднень – суспендовані частинки, оксиди вуглецю, азоту, сірки, фотохімічні окислювачі.

Забруднення ґрунту має антропогенне походження – залучення людиною різних забруднювачів (накопичення пестицидів, незасвоєних добрив, відходів тваринництва, бджільництва, промисловості, енергетики, забруднення нафтопродуктами та ін.). Як правило, рослини і тварини вбирають у себе ґрунтові забруднювачі, включають їх у харчові ланцюги, і таким шляхом вони (забруднювачі) дістаються до людини.

1.1.3. Довкілля і кругообіг речовин у природі

З огляду на вищезазначене, надалі під довкіллям розумітимемо комплекс зовнішніх природних умов діяльності людського суспільства. Їхні головні компоненти (повітря,

вода, земля, флора, фауна, гідросфера, атмосфера, літосфера, продуценти, консументи, редуценти) охоплює загальне поняття – біосфера.

Біосфера – простір, що є місцем мешкання всіх живих організмів планети. Вона займає частину літосфери, атмосфери і гідросферу. Розповсюдження життя в біосфері є досить нерівномірним. Переважно воно концентрується на межі трьох середовищ. Саме в біосфері, завдяки живим організмам перетворюється сонячна енергія, відбуваються біогеохімічні перетворення речовин. У ній переважають речовини біогенного походження. Верхня частина біосфери обмежена озоновим екраном, що затримує велику частину згубного для живих істот ультрафіолетового проміння, а нижня – тепловим бар'єром. Загальна потужність біосфери може сягати 40 км. Від усіх інших геосфер біосфера відрізняється найенергійнішими хімічними перетвореннями. Її головні характеристики – наявність води в рідкому стані та проникнення сонячної радіації, що є єдиним джерелом енергії планети Земля.

Біосфера весь час перебуває в динаміці, тобто в ній триває безперервний кругообіг речовин. Щонайперше це стосується атмосфери, головною складовою частиною якої є тропосфера (11 км). У тропосфері, де зосереджено 2/3 всього повітря, виникають процеси, які приводять до глобальних переміщень величезних повітряних мас.

Основним джерелом енергії в примітивній атмосфері Землі, як і нині, завжди було Сонце. Проте світло проходило крізь атмосферу іншого складу, хоча спектральний склад випромінювання був той самий. Велика частина високоенергетичного випромінювання досягала земної поверхні, оскільки в атмосфері відсутній кисень. Отже, не було й озонового екрану. Саме він поглинає тепер майже все короткохвильове ультрафіолетове (УФ) випромінювання.

Таким чином, великі кількості активної фотохімічної енергії були доступні для взаємодії з речовиною. Крім того, для первісної земної поверхні була характерна висока вулканічна активність, могутні вулканічні розряди і сильні зливи. Все це створювало найрізноманітніші умови для перебігу хімічних реакцій.

Перші цикли, можливо, мали таку структуру:

$$H_2 + CO_2 + N_2 + H_2O \xrightarrow[\text{розпад}]{\text{утворення}} \text{органічні сполуки}$$

Важливим етапом біологічного кругообігу є те, що життя, яке виникло у воді, поступово починає завойовувати суходіл. Збільшення вмісту кисню в атмосфері сприяє появі озонового шару, що поглинає УФ-випромінювання, згубне для живих систем. Усе це інтенсифікує фотосинтез у поблизу поверхні води, підвищує надійність озонового шару і, зрештою, – ефективність кругообігу речовин у природі.

1.2. Енергія і життя

Сучасна екологія розглядає в центрі картини еволюції живої природи кругообіг речовин в екосистемі. Джерело руху і розвитку життя в ній – постійне накачування потоком вільної енергії й вимушене обертання речовин під впливом цього збурення. Окрім джерела енергії (Сонця) і проміжної системи (біосфери), обов'язковим елементом екосистеми є третя ланка – приймач енергії (Космос) або стік, у який енергія переходить. Потік сонячної енергії породжує й організовує кругообіг в органічній системі (від простих, фізичних – води і повітря, до складного, біологічного). Енергії, за такого підходу, відводиться роль "цариці світу". Ентропія ("тінь" енергії) своїм зростанням тільки демонструє збільшення потоків вільної енергії, використаної екосистемою.

Відомі три основні типи сучасних концепцій розвитку життя: субстратний, енергетичний та інформаційний. Енергетичний підхід указує напрям розвитку складних відкритих систем, що зовні наражаються на постійне накачування енергії: це вдосконалення біохімічних циклів речовини; їхнє прискорення; зростання переробки енергії кожною одиницею структури.

"Можна без перебільшення твердити, – зауважував у своїй основоположній монографії "Біосфера", оприлюдненій 1926 р., видатний природознавець В.І. Вернадський, – що хімічний стан зовнішньої кори нашої планети, біосфера, цілком перебуває під впливом життя, визначається живими організмами. Поза сумнівом, енергія, яка надає біосфері її звичний вигляд, має космічне походження. Вона виходить із Сонця у формі променистої енергії. Але саме живі організми, сукупність життя, перетворюють цю космічну променисту енергію на земну, хімічну і створюють нескінченну різноманітність нашого світу. Це живі організми, які своїм диханням, своїм живленням, своїм метаболізмом, своєю смертю і своїм розмноженням, постійним використанням своєї речовини, а головне – безперервною зміною поколінь, що триває сотні мільйонів років, своїм народженням і розмноженням породжують одне з грандіозних планетних явищ, які не існують ніде, окрім «біосфери».

Таким чином, В.І. Вернадський розглядає біосферу не як просту сукупність живих організмів, а як єдину термодинамічну оболонку (простір), в якій зосереджене життя і відбувається постійна взаємодія всього живого з неорганічними умовами середовища.

З появою людей на Землі починається їхній вплив на кругообіг речовин і енергетичний обмін у біосфері. Разом з розвитком людського суспільства зростає антропогенна дія на довкілля. Людина, на відміну від інших організмів, впливає на природу не тільки біологічним обміном речовин, а й своєю працею. Зростання народонаселення, технічного оснащення й суспільної організації праці спонукали посилення антропогенних трансформацій у біосфері. Причому етапи взаємодії суспільства і природи відповідають не тільки етапам удосконалення засобів виробництва, якими люди безпосередньо впливали на природу, але й етапам розвитку виробничих відносин, періодом розвитку всього людського суспільства.

Проте, останнім часом ця взаємодія набуває характеру, загрозливого для самої біосфери. Науково-технічна революція, що стала можливою внаслідок великих відкриттів у біології, хімії й багатьох інших науках, значно розширивши можливо-

сті інтенсивного використання природних ресурсів, водночас ускладнила і прискорено й надалі ускладнює взаємини людини з довкіллям. В екологічні системи і, загалом, у біосферу вносяться досить помітні й непередбачувані зміни. Вони нерідко пов'язані із забрудненням повітряного басейну, морських акваторій і прісноводих водоймищ, з порушенням ґрунтового покриву й цінних ландшафтів, водних і лісових ресурсів, зі зменшенням чисельності корисних видів тварин і рослин.

1.3. Енергетика і цивілізація

Уся історія людства і становлення цивілізації – це історія освоєння енергії й розвитку енергетики. Відповідно до уявлень, що склалися, весь тривалий процес освоєння енергії людиною можна умовно розділити на наступні п'ять етапів.

Перший – етап мускульної енергії, що розпочався багато тисячоліть тому і тривав до V–VII ст. н. е. Найвизначнішим досягненням цього періоду є оволодіння вогнем. Це сталося 80-150 тис. років тому і знаменувало собою один з найважливіших переломних моментів в історії цивілізації. Поступово люди почали використовувати силу приручених тварин, вітру і води. До початку нашого літочислення належить запуск першого млина з колесом, яке приводила в рух енергія водяного потоку. Якнайдавніші з відомих сьогодні вітряних млинів у Європі були побудовані тільки в XI ст. Розпочався наступний етап освоєння енергії.

Другий етап VII–XVII ст. характеризується освоєнням енергії рухомого вітру і води. Вже до XII ст. людство користувалося десятками водяних млинів і вітряків, з'явилися прядильні і ткацькі верстати, маслоробні й паперовиробні машини, металевий сільськогосподарський інвентар, лісопильні установки. Все це потребувало величезної кількості металу, а отже – енергії. Вироблення великої кількості деревного вугілля зводить нанівець величезні площі лісів. То була перша серйозна екологічна криза, пов'язана із зародженням промисловості.

Виникла потреба в нових, потужніших і постійно діючих приводах, не залежних ані від розташування, ані від пори року. Назрівала серйозна енергетична криза, вихід з якої був знайдений за допомогою опанування "рушійної сили вогню", використовуваної для нагрівання і випаровування води, а також застосування сили стиснутої пари. Розвиток енергетики перейшов на третій етап.

Третій етап (з XVIII ст. до початку XX ст.) відповідає дедалі ширшому застосуванню вогню, джерелом якого є хімічна енергія палива, накопиченого в літосфері: кам'яного вугілля, нафти, газу, горючих сланців тощо.

До середини XVIII ст. було реалізовано поперед спроби одержати механічну енергію за рахунок теплової. У 1755 р. англійський коваль Томас Ньюкомен сконструював першу практично корисну парову машину, яка вперше була побудована в Словаччині. 1763 року російський винахідник Іван Ползунов створив оригінальну парову машину з плавно працюючими механізмами.

Парові машини того часу мали безліч вад: великі розміри і масу, досить низький коефіцієнт корисної дії (ККД), вузьку сферу застосування (привід водяних насосів) тощо.

Розвиток капіталізму в XVII–XVIII ст. обумовив зародження науки, що сформулювала правила розробки і створення енергетичних двигунів. Промислова революція, як часто називають цю епоху великих відкриттів, докорінно змінила життя на нашій планеті. Головним наслідком цього стало остаточне падіння феодалізму і зміцнення капіталістичних виробничих відносин. У другій половині XVIII ст. в Англії Джеймс Уатт розробив прообраз сучасної парової машини безперервної дії, що "розкрутила" колесо історії до небувалих доти обертів: ув Англії, потім у континентальній Європі й Північній Америці надзвичайно швидко розповсюдилися парові машини. Одержану з їхньою допомогою енергію стали використовувати для надання руху заводським механічним агрегатам (машинам-знаряддям). Виникають перші теплові машини-двигуни.

Далі конструкторська думка сягає створення двигунів внутрішнього згорання, парових, газових і парогазових стаціо-

нарних турбін, авіаційних і транспортних газових турбін, реактивних і ракетних двигунів. Але все це буде набагато пізніше.

Парові машини підвищеного тиску було поставлено на колеса, і завдяки цьому одержали самохідні (по рейках) візки. Вже в 1804 р. англієць Річард Тревітік винайшов паровий локомотив, що рухався по рейках з нечуваною в той час швидкістю – 30 км/год, а 1805 р. американець Роберт Фултон сконструював перший пароплав, який виконував регулярні рейси річкою Гудзон між Нью-Йорком та Олбані. І, нарешті, 1825 р. на трасі Стоктон-Дарлінґтон в Англії починає діяти перша залізниця.

Настало "золоте століття водяної пари". Поряд з розвитком практичної теплотехніки розвиваються її теоретичні основи – теорія теплових двигунів або, як тепер називають, технічна термодинаміка. У середині позаминулого століття на підставі спостережень за тепловими явищами і роботою теплових машин Джоуль, Маєр, Гельмгольц, Карно, Клазіус установили перший і другий закони термодинаміки, що лягли в основу цієї фундаментальної дисципліни, яка вивчає взаємне перетворення теплової й механічної енергії.

Одначе, швидке зростання числа парових машин, їхня безупинна модернізація до кінця Х1Х ст. були вже не в змозі задовольнити зростої потреби економіки в енергетичних потужностях. Очевидними стали відомі ґанджі перших парових машин: низький ККД, величезна витрата палива, передача руху від машин до верстатів через складні й ненадійні системи трансмісій, несприятливі екологічні наслідки. Атмосфера міст із тисячами заводських димарів стає непридатною для життя. 1831 р відкрито спосіб перетворення механічної енергії в електричну. Починається нова ера – ера електрики.

Четвертий етап (з початку ХХ ст.) – "золоте століття електрики".

Протягом усього ХІХ ст. для промислових цілей людина користувалася механічною енергією, одержуваною здебільшого від теплових двигунів. Тільки в ХХ ст. електрика набула права основного енергодавця, енергоперетворювача й енергопереносника. Тим самим було дано досить сильний поштовх до використання теплової енергії й теплових двигунів – поштовх, пов'язаний з виникненням і широким застосуванням електричних машин та моторів, у яких механічна енергія перетворюється на електричну і навпаки. Електрична енергія виявилася зручнішою, ніж механічна: вона швидко і з відносно малими втратами передається на великі відстані, легко перетворюється в інші види енергії. За джерело електричної енергії може слугувати як механічна енергія води, що падає, так і хімічна енергія органічного палива.

Поява теплових двигунів забезпечила широке застосування для отримання механічної енергії величезних природних енергетичних ресурсів у вигляді покладів різного виду палива: вугілля, нафти, газу, горючих сланців, торфу тощо. Успіхи у створенні машин і двигунів, які за рахунок теплової енергії виробляють електричну, спричинили швидкий розвиток потужних теплових електричних станцій, де нині теплова енергія спочатку перетворюється на механічну, а потім на електричну.

Водночас, завдяки науковим відкриттям ХХ ст., людство вступило в нову епоху – епоху використання атомної енергії.

П'ятий етап – створення і розвиток атомної енергетики, є одним з найбільших досягнень ХХ ст.

Атомна енергетика ґрунтується на розщепленні важких ядер елементів (урану, плутонію, торію). В результаті влучення в ядро нейтрона, розвивається ланцюгова реакція з виділенням величезної кількості енергії (теплоти). Один із трьох названих елементів – плутоній – поширений на Землі в надзвичайно мізерних кількостях (в уранових рудах).

На сучасних атомних електростанціях за ядерне паливо править збагачений уран і штучно одержаний плутоній. Торій, запаси якого більші, ніж урану, поки що не застосовують в ядерній енергетиці, його розглядають як перспективне ядерне паливо. Ядерні реакції з величезним енерговиділенням можуть відбуватися також у результаті синтезу ядер елементів, що мають невелику атомну вагу, наприклад, ізотопів водню – дейтерію і тритію. Але це вже – термоядерна реакція. Основним енергоносієм п'ятого етапу розвитку енергетики також є водяна пара.

Таким чином, зростання енергетичних показників є одним з найважливіших чинників еволюції людини. Розвиток усіх виробничих технологій пов'язаний з проблемою вдосконалення енергетики, розв`язання якої наразі по праву вважається однією з найголовніших.

1.4. Енергія – головна проблема сучасності

Кожен історичний етап розвитку науки і техніки ставить перед ученими й інженерами безліч питань. Проте серед них можна виокремити лише кілька фундаментальних, без розв'язання яких неможливий подальший розвиток цивілізації, підвищення життєвого рівня людства. З цього погляду, однією з головних проблем сьогодення і найближчого майбутнього, поза сумнівом, є забезпечення достатньої кількості енергії. Проблема ця досить гостра тому, що має не тільки суто технічний характер.

Слово "енергія" щодня вимовляють з екранів телевізорів, воно часто потрапляє на сторінки журналів і газет, а спеціальних видань – і поготів. Енергетична ситуація в окремих державах істотно впливає на життєвий рівень і культуру населення, позначається на внутрішній і зовнішній політиці. Країни з недостатніми енергетичними ресурсами докладають неабияких зусиль, щоб забезпечити себе хоча б найпотрібнішими джерелами енергії. Країни-експортери нафти, нафтові монополії мають величезні прибутки і надприбутки. З другого боку, у тиші своїх кабінетів можновладці інших держав виношують політичні і військові плани перерозподілу й збереження нафтових і газових промислів. Поняття "нафтове ембарго", яке ще не так давно було невідоме, викликає паніку в цілій низці країн і стає знаряддям економічного та політичного шантажу. Все частіше виникають питання: "Як жити далі без нафти і газу? Чим опалювати житло і виробничі приміщення? Як надавати рух машинам і агрегатам? Як підтримувати технологічні процеси? Звідки брати енергію, щодня все більше енергії?"

Одна з найзагальніших властивостей енергії полягає в тому, що вона є основним мірилом руху матерії. Іншими словами, в тепловій енергії виробляється швидкий, безпосередній рух атомів і молекул, електричний струм є рухом електронів, механічна енергія – енергією рухомого тіла тощо. Таким чином, енергія нерозривно пов'язана з матерією й речовиною. Відповідно до знаного рівняння Ейнштейна $E=mc^2$, де E – повна енергія певного тіла, m – його маса, c – швидкість світла у вакуумі, будь-якій кількості енергії тіла (системи тіл) відповідає певна маса і навпаки. Якщо до того ж пригадати закон перетворення і збереження енергії, то можна констатувати таке: енергія являє собою властивість матерії й тому вона, так само як і матерія, не може бути створена з нічого або знищена.

Виникає питання: "Якщо енергія становить властивість будь-якої матерії, а матерії завжди досить, чому ж світ бореться з браком енергії?". Відповідь проста: "Теорія підкріплюється практикою лише тоді, коли наука і техніка досягають відповідного рівня". У даному випадку той рівень має бути таким, що за нього людина буде здатна одержувати енергію з будь-якої матерії в корисній формі, наприклад, у формі тепла або електрики. Це дасть змогу розв'язати всі енергетичні проблеми людства. Таке теоретичне припущення переконливо підтверджене всім перебігом розвитку ядерної енергетики, яка для одержання енергії в корисній формі вже використовує матерію, а саме – так звані подільні матеріали.

РОЗДІЛ 2

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ Й ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ

Єдина річ, яку ми достеменно знаємо, – це наша цілковита непідготовленість до зіткнення зі складними проблемами майбутнього.

Е. Джонс

2.1 Загальні питання

Загальні питання

▪

Енергоспоживання і його показники як критерії добробуту суспільства

▪

Енергетика й екологія

Енергетика і паливно-енергетичний комплекс, що реалізує її призначення, є підґрунтям існування і розвитку цивілізації. Концентруючи величезні матеріальні ресурси, переробляючи колосальні паливно-енергетичні ресурси, активно втручаючись у гідро-, літо- й атмосферне середовище, енергетика годна змінити і вже змінює природне його становище.

Пізнаючи закони природи і створюючи дедалі потужнішу техніку, людство, яке швидко зростає, за масштабами свого втручання в природу зрівнялося з планетарними силами. Спровоковані діяльністю людини екологічні катастрофи за масштабом свого руйнівного потенціалу не поступаються ядерній загрозі. Отже, на сучасному етапі розвитку енергетики вже недостатньо розглядати її взаємодію з екологією на рівні окремих локальних впливів.

Нині перед людством особливо гостро стоять три головні взаємозв'язані проблеми: забезпечення харчами, енергією та екологічна безпека. Актуальні вони як для Європи навзагал, так і для України зокрема. У розв'язанні цих проблем особливе місце належить енергетиці, від рівня розвитку котрої неабияк залежить доля економіки, а отже, занепад або процвітання суспільства і, з другого боку, – стан довкілля.

Кожен виток вгору по спіралі історичного розвитку супроводжується вищим рівнем споживання енергії, загостренням екологічних проблем. Отже, надзвичайно важливим завданням фахівців і відповідних закладів є вивчення умов утворення шкідливих викидів у процесі виробництва теплової та електричної енергії, їх впливу на довкілля, розробка методів і пристроїв їх нейтралізації. Актуальність цих проблем визначається як недосконалими енерготехнологіями, так і високим темпом використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР).

Загальне уявлення про світове використання ПЕР за останні сто років надають дані табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Використання енергоресурсів у світі.

Показник	1900	1950	1970	1990	2000
Сумарне енергоспоживання, млрд т умовного палива (т у.п.*)	0,95	2,86	7,3	17,0	25,0
Населення, млрд осіб	1,62	2,5	3,6	4,6	5,2
Питомі енерговитрати (т у.п. на 1 особу на рік)	0,59	1,16	2,03	3,7	4,8

*Теплота згорання умовного палива $Q_{рн}$ = 29 300 кДж/кг

Особливо актуальні питання взаємодії енергетики і довкілля для районів (регіонів) з підвищеною концентрацією населення і промислового виробництва.

Проблеми пошуку й використання відповідних ґатунків енергії, які завжди цікавили людей, набули особливої актуальності. І це не дивно, адже світове споживання енергії стало сумірним із

запасами горючих копалин – базою сучасної енергетики. Те, що створювалося природою впродовж геологічних епох (мільйонів років), тепер витрачається протягом кількох десятиліть. Люди усвідомлюють: у взаємодії Людини з Природою відбувається щось дуже серйозне, можливо, невідворотне. Тільки за останні 20 років XX ст. енергоресурсів було використано в 1,2 раза більше, ніж їх було здобуто в світі до 1980 року. Це загрожує не тільки вичерпанням легкоприступних, дешевих родовищ первинних енергоресурсів, а й серйозними екологічними ускладненнями, тим паче, що споживання органічного палива і далі зростає, причому, починаючи з 1960 року, лінійно. Такий характер залежності, за прогнозами низки найавторитетніших світових центрів, буде чинним і на початку XXI ст., попри всі досягнення розвинених країн в енергозбереженні, енергетичному аудиті й менеджменті.

Скільки енергії буде потрібно людству в найближчому й віддаленому майбутньому? Чи довго нинішні способи виробництва енергії задовольнятимуть потребу в ньому? Чи може паливно-енергетичний комплекс порушити екологічну рівновагу планети і як цього уникнути? Яким видам енергії бути головними в майбутньому? Ці й багато інших аналогічних питань, які турбують сьогодні не тільки вчених та економістів, і є предметом подальшого розгляду.

2.2. Енергоспоживання і його показники як критерії добробуту суспільства

Усе споживання енергоресурсів зазвичай поділяють на чотири приблизно однакові групи: промисловість, енергетика, транспорт і комунально-побутовий сектор. Кількісні співвідношення цих груп є різними для різних країн. Тому для порівняння використовують розмір споживання енергоресурсів на душу населення.

Те, що відбувається в енергетиці кожної окремої країни, є складовою частиною світових процесів і закономірно для цієї

галузі. Головна закономірність – наявність прямої кореляції між рівнем споживання енергоресурсів на душу населення на рік і рівнем життя. У країнах з високим рівнем життя цей показник перебуває в межах від 5,8 (Англія) до 18,5 тис кВт•г (Канада). У Франції, де чисельність населення така, як в Україні, — 8 200 кВт•г на рік, а середній показник в Європі до кінця XX ст. становив 5 600 кВт•г на людину.

Проте, в Україні цей показник щороку знижується: у 1990 р. – 5 627, а в 2000 р. – 3 600 кВт•г, тобто зменшився в 1,6 раза. Очевидною є необхідність підвищити його для задоволення, зокрема, соціально-побутової сфери (можливості використовувати в побуті холодильників, кондиціонерів та інших електрифікованих приладів). Відповідно до національної програми розвитку енергетики України до 2010 р. цей показник має бути доведений до 4 800 кВт•г, що, проте, дорівнюватиме всього 87% від рівня 1990 року.

Таким побитом, розвиток енергоспоживання визначають два чинники: зростання споживання енергоресурсів на душу населення і зростання самого населення. Зростання споживання енергоресурсів залежить від рівня розвитку науки і техніки, тобто від стану економіки. Відсталі країни прагнуть наздогнати економічно розвинені, а розвинені й далі нарощують свій енергетичний потенціал. Отже, зростання споживання енергоресурсів може бути обмежене лише можливістю здобути потрібну кількість енергії. Якщо визнати, що до кінця XXI ст. середня цифра споживання енергоресурсів на душу населення досягне рівня таких країн як Канада, США сьогодні, то можна оцінити рівень загального енергоспоживання до цього часу.

Другий чинник пов'язаний зі зростанням населення Землі, що відбувається не менш бурхливо, ніж розвиток промислового виробництва. Якщо в середині XIX ст. населення Землі становило 1.7 млрд осіб, то наприкінці XX ст. воно перевищило 6.0 млрд чол. Очікується, що до середини XXI ст. на Землі житиме приблизно 10 млрд осіб.

У нинішніх кліматичних умовах за досягнутого рівня науки і техніки наша Земля здатна прокормити 15-20 млрд чол. Якщо припустити, що до кінця XXI ст. населення Землі становитиме

20 млрд осіб, а середнє споживання енергоресурсів на людину досягне нинішнього рівня США, то до 2100 року Земля споживатиме приблизно третину енергії, одержуваної від Сонця.

Слід підкреслити, що питомі витрати енергії визначають темпи зростання народонаселення (табл. 2.2 – 2.3), попри те, що темпи зростання народонаселення Землі в кінці XX ст. перевищують 100 млн осіб на рік. Такий темп дістав назву демографічного вибуху й породив безліч проблем. З-поміж них сьогодні найважливішими є: визначення розумної чисельності населення і збереження її в рівновазі. Розв'язання цих проблем потребує надзвичайно високої соціальної відповідальності.

Таблиця 2.2.

Світове виробництво первинних енергоносіїв

Енергоносій	1989 р.	1995 р.	2000 р.	2005 р.
Усього (у країнах світу), млн т нафтового екв., (%)	8 483(100)	9 753(100)	10 801 (100)	12 094 (100)
Тверде паливо	2 354(27,7)	2 615(26,8)	2 933 (27,2)	3 363 (27,8)
Нафта	3 183(37,5)	3 653(37,4)	3 902 (36,1)	4 147 (34,3)
Природний газ	1 669(19,7)	2 089(21,4)	2 470 (22,9)	2 983 (24,6)
Атомна електроенергія	516(6,1)	584(6,0)	640 (5,9)	692 (5,7)
Біомаса	564(6,6)	579(6,0)	587 (5,4)	594 (4,9)
Гідроелектроенергія та інші енергоносії	197(2,4)	233(2,4)	269 (2,5)	315 (2,7)
СНД і Східна Європа	1 898 (100)	2 155 (100)	2 394 (100)	2 706 (100)
Тверде паливо	594 (31,3)	602 (27,9)	607 (25,4)	642 (23,7)
Нафта	537 (28,3)	616 (28,6)	665 (27,8)	710 (28,2)
Природний газ	662 (34,9)	818 (38,0)	969 (40,5)	1 168 (43,2)
Атомна електроенергія	78 (4,1)	90 (4,2)	121 (5,0)	152 (5,6)
Гідроелектроенергія та інші енергоносії	27 (1,4)	29 (1,3)	32 (1,3)	34 (1,3)

У табл. 2.2 – 2.3 наведено дані щодо світового виробництва первинних енергоносіїв у 1989 р. і прогнозу до 2005 р. у млн т нафтового еквівалента, (%), а також споживання теплової енергії (кДж) й електроенергії (МВт/г) на душу населення по регіонах в 1990 р. і прогнозу до 2010 р. (теплотворна здатність 1 тонни нафтового еквівалента (1 т н.е.) – $Q_{нр}$ = 41,9 мДж/кг). З них можна зробити чіткий висновок: необхідно прогнозувати перспективи ресурсозбереження для нинішнього й майбутніх поколінь. Найдоцільнішими є два шляхи: розвідування нових ресурсів і розробка наукоємних технологій для повнішого й ефективнішого застосування джерел, які раніше вважалися нерентабельними. Ресурси мінеральної сировини, придатні для використання людиною, є цілком відтворними, а управління численними альтернативними роботами з такого відтворення являє собою єство ресурсоощадної діяльності людини,— коли враховувати особливу роль енергетичних ресурсів у житті суспільства.

Таблиця 2.3.

Споживання енергії на душу населення

Регіон, група країн	1990 р.		2000 р.		2005 р.		2010 р.	
	Споживання							
	Теплоти	Електро-енергії	Теплоти	Електро-енергії	Теплоти	Електро-енергії	Теплоти	Електро-енергії
Північна Америка	313	12,0	325–348	15,9–17,3	252–323	17,4–19,1	322–358	19,0–20,7
Латинська Америка	50	1,4	54–57	2,1–2,4	55–59	2,4–2,9	56–62	2,6–3,6
Західна Європа	133	5,4	139–148	6,4–6,6	138–150	6,9–7,1	138–153	7,5–7,6
Східна Європа	183	5,4	200–208	7,0–7,7	203–216	7,7–8,6	208–225	8,4–9,5
Африка	23	0,5	23–24	0,7–0,8	23–24	0,7–0,9	22–25	0,8–1,1
Середній Схід і Південна Азія	20	0,4	21–22	0,6–0,7	21–22	0,7–0,9	21–23	0,8–1,0
Південно-східна Азія і країни Тихого океану	37	0,9	38–40	1,1–1,4	38–41	1,2–1,6	38–41	1,3–1,8
Далекий Схід	39	1,2	42–45	1,5–1,7	44–47	1,6–2,1	45–50	1,8–2,5
Усього	67	2,2	68–71	2,6–2,9	66–72	2,8–3,3	66–73	3,0–3,6

Ураховуючи надто велику і всесильну роль енергії, розгляньмо її показники як критерії науково-технічного розвитку суспільства і його добробуту. У макроекономічному аналізі широко використовують два основні енергетичні критерії – енергоспоживання на душу населення та енергоємність валового національного (внутрішнього) продукту (ВВП).

Енергоспоживання на душу населення більшою мірою відображає добробут і життєвий рівень держав. Водночас різні структури економіки, типи вживаних технологій, неоднакові рівні ефективності енергетичного устаткування можуть спричинювати різні показники ВВП навіть за умови однакового енергоспоживання на душу населення.

Аналогічну ситуацію маємо з енергоємністю валового національного (внутрішнього) продукту. Проте, якщо коректно використовувати цей критерій, він може правити за головний та характеризувати не тільки енергетичну ефективність економіки, стан науково-технічного прогресу, а й рівень добробуту населення. Поєднання цих двох критеріїв (енергоємності ВВП та енергоспоживання на душу населення) здатне адекватно окреслити стан економіки держави і добробут її населення. Як правило, розвинуті країни відрізняються високим рівнем енергоспоживання на душу населення і низькою енергоємністю ВВП (рис. 2.1).

Загальна закономірність вважається такою. Країни з розвиненою економікою мають технічну, технологічну і фінансову нагоду знизити енергоємність ВВП. Водночас країнам з низьким економічним рівнем, що мають вищу енергоємність ВВП, важко знайти засоби для структурної перебудови й переходу до нових технологій, вищих вимог до побутових приладів, жорсткіших стандартів на енергоспоживаюче устаткування. Утім, перспектива здається оптимістичною: країни з низьким розвитком економіки прагнутимуть зменшити енергоємність зі зростанням доходів, а країни з високим рівнем розвитку – стабілізувати енергоємність відповідно до вимог своїх високих життєвих стандартів і конкурентоспроможності.

Відтак, енергоспоживання на душу населення та енергоємність ВВП з макроекономічного погляду відображають енергетичну ситуацію в країні і є комплексом взаємопов'язаних параметрів.

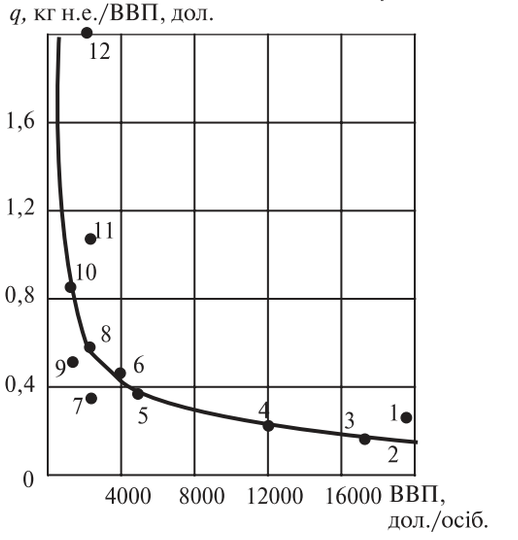


Рис. 2.1. Залежність енергоємності ВВП від його питомого показника для різних регіонів світу (1995 р.):

1,2 – Тихоокеанський регіон; *3,4* – Європейський Союз; *5* – Середній Схід; *6* – середньосвітовий показник; *7* – Латинська Америка; *8* – Середземномор'я; *9* – Африка; *10* – Азія; *11* – Центральна і Східна Європа; *12* – колишній СРСР.

Статистичний аналіз за період від 1974 р. і донині свідчить, що енергоспоживання на душу населення є досить консервативним параметром. Для більшості регіонів і сусідніх країн він трохи змінюється у межах 5% від середньої величини, за винятком хіба що колишнього соціалістичного табору в перехідній період, а також Африки. Чим вищим є в країні (регіоні) валовий внутрішній продукт на душу населення, тим нижча його енергоємність і навпаки.

Це наочно показує рис. 2.2. Після розпаду СРСР і з початком економічної кризи, що охопила утворені на теренах колишнього Союзу незалежні держави, ВВП тих держав став стрімко падати, сягнувши мінімальної екстреми: у Бєларусі – 59%, у Литві – 49.5%, в Естонії – 47%, у Росії – 56%, в Україні – 44.5% і в Латвії – 42.4% (відносно рівня 1990 року). Енергоємність ВВП, збільшуючись із падінням ВВП, відображає ті складні різноманітні процеси, які відбувалися в названих країнах. Поліпшення економічної ситуації в країні (зростання ВВП) веде до зниження енергоємності валового внутрішнього продукту. Це можна чітко простежити, особливо в тих країнах, де державне регулювання виявляється меншою мірою. Так країни, що стали на

шлях справжніх ринкових реформ (Польща, Угорщина, Чехія, Словаччина та ін.), досягли разючих успіхів: істотно перевищили рівень ВВП 1990 року практично без збільшення споживання ПЕР (Польща) або навіть з його зниженням (Чехія, Угорщина, Словаччина), різко зменшили енергоємність ВВП, наблизившись до розвинених країн. Інтеґрально все це зображено на функціональній залежності, представленій на рис.2.2.

2.3. Енергетика й екологія

2.3.1. Основні положення

Виробництво енергії й тепла на базі використання мінерального палива є унікальним за масштабами матеріального та енергетичного обміну з довкіллям. Споживаючи величезну кількість природних первинних ресурсів у вигляді твердого, рідкого і газоподібного палива, річна витрата якого наблизилася до 14 млрд т н.е. і кисню повітря – 87.5 млрд т, енергетичне виробництво видає товарний продукт у вигляді газоподібних і твердих продуктів згорання, а також стічної води.

Екологія й економіка природокористування досі не в змозі повною мірою оцінити збитки природі і народному господарству, завдані цими викидами. Докладніше питання енергогенерації та впливу енергетики на довкілля будуть розглянуті в наступних розділах. Відзначмо основні положення.

Традиційні способи вироблення теплової й електричної енергії в котельнях і ТЕС пов'язані з неґативним глобальним і локальним впливом на довкілля, спричиненим:

- викидом в атмосферу таких шкідливих речовин, як оксиди сірки й азоту, моноксиди вуглецю, тверді частинки золи, концентровані органічні речовини, зокрема банз(а)пірен та ін.;
- викидом величезних кількостей діоксиду вуглецю, що є основним чинником виникнення "парникового ефекту";
- тепловим забрудненням довкілля;

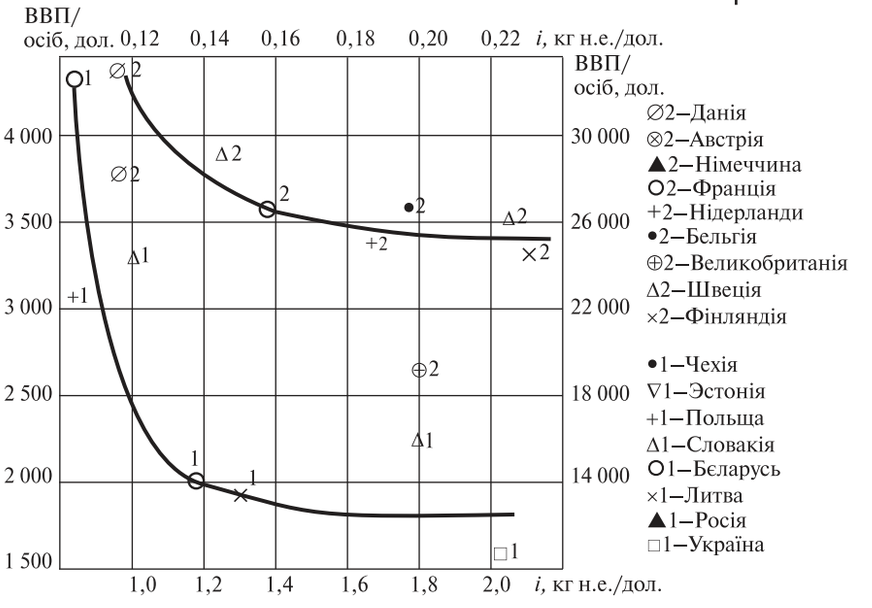


Рис.2.2. Залежність енергоємності ВПП від рівня економічного розвитку (1995г.)

- скиданням мінералізованних і нагрітих вод;
- споживанням у великих об'ємах кисню і води.

Під час спалювання *вугілля* в атмосферу виділяється зола із частинками неспаленого палива, сірчистий і сірчаний ангідриди, оксиди азоту, певна кількість фтористих сполук, а також газоподібні продукти неповного згорання. Летка зола інколи містить, окрім нетоксичних складових, шкідливі домішки (арсен, вільний діоксид кремнію, вільний діоксид кальцію та ін.).

У процесі спалювання *мазуту* в атмосферне повітря з димом і газами надходять: сірчистий і сірчаний ангідриди, оксиди азоту, газоподібні і тверді продукти неповного згорання палива, сполуки ванадію, солей натрію, а також речовин, які видаляють з поверхні котлів під час їх очищення.

Природний газ в екологічному плані є найчистішим видом палива. Однак і за умов добре організованого спалювання природного газу утворюються шкідливі речовини: оксиди азоту, в незначних кількостях оксиди сірки.

Попри надзвичайно негативний характер впливу продуктів згорання вугілля на довкілля, електроенергію виробляють переважно на твердому паливі. Якщо 1974 р. частка твердого палива в ПЕР становила 50 %, то до кінця 90-х рр. вона збільшилася до 60 %. Споживання нафти, навпаки, досягнувши пікового рівня в 1980 році, набуло стабільної тенденції до падіння (з темпом близько 2.6 % на рік). Застосування газу для генерування енергії постійно зростає, що, безумовно, є досить позитивним фактом.

Перевага, яку віддають вугіллю у виробництві електроенергії, зумовлена тим, що нині світові розвідані запаси кам'яного вугілля становлять 87 % усіх горючих викопних джерел енергії на планеті. Його енергетичні можливості більш аніж у 6 разів перевершують такі самі можливості нафтових пластів. Загальні світові запаси кам'яного вугілля, включно з прогнозованими родовищами, мають енергетичний потенціал, що в 25 разів перевершує нафтовий. Коли припустити, що людство відмовиться від усіх інших джерел енергії і використовуватиме тільки кам'яне вугілля, то з урахуванням щорічного зростання споживання енергії, а також неминучих енергетичних утрат його вистачить приблизно на 200 років. Утім негативні екологічні наслідки при цьому неуникні. До того ж сучасне вугілля – вже аж ніяк не те паливо, що ним були наповнені підземні комори декілька десятків років тому. Потрібна абсолютно нова технологія його спалювання в котельних аґреґатах.

Роль енергетичних ресурсів у життєдіяльності суспільства особливо виразно було продемонстровано під час нафтової кризи 1973-1974 рр. Ці роки були справжньою революцією в підходах до енергоспоживання в індустріальних країнах, що зуміли, практично не збільшуючи споживання енергоресурсів, нарощувати ВВП. Докорінної перебудови зазнала їхня економіка як зі структурного, так і з технологічного боку. Енергоємність ВВП стала одним з найважливіших і визначальних показників макроекономічного й науково-технічного стану тієї або тієї країни.

Відтак, рівень розвитку ПЕК посутньою мірою визначає темпи зростання і технічний рівень виробництва, стан економіки й добробут суспільства навзагал, причому проблеми енергетики набувають не тільки яскраво вираженого технічного, а й екологічного та соціального характеру.

2.3.2. Енергетика і біосфера

Технократична діяльність людини призвела до зростання забруднення довкілля. Близько 80% усіх видів забруднення біосфери обумовлено енергетичними процесами, особливо видобутком, переробкою, транспортуванням і використанням палива. Екологічна ситуація загострюється на всіх рівнях – глобальному, континентальному, реґіональному і локальному.

В атмосферу щорічно викидають десятки мільярдів тонн діоксиду вуглецю та інших газоподібних, пароподібних сполук і твердих частинок, зокрема важких металів, а також радіоактивних, канцерогенних і мутагенних речовин. Антропогенні джерела приносять ув атмосферу в 20 разів більше свинцю, ніж решта джерел – передовсім, з вихлопними газами автомобілів у яких використовують етилований бензин. Надто небезпечними для людини є канцерогенні вуглеводні, що потрапляють у повітря разом з вихлопними газами автомобілів і літаків, а також із продуктами спалювання від технологічних і енергетичних установок.

Наразі обсяг промислової продукції у світі за кожні 10 років збільшується приблизно в 2 рази. Якщо за весь період цивілізації людство використовувало 80 – 85 млрд т палива, то половина цього обсягу припадає на останні 20 – 30 років. У другій половині XX ст. на планеті значно змінився паливно-енергетичний баланс. Питома вага нафти в ньому становить 44 %, природного газу – 18 %, вугілля – 35 %. За оцінкою експертів, усього органічного палива на рівні його використання в 2000 р. вистачить людству десь на 150 років, а до 2050 р. буде витрачено 90 % усіх відомих світових запасів нафти і газу.

У наш час щорічно спалюють близько 2 млрд т вугілля. Цей процес супроводжується викиданням в атмосферу мільярдів тон діоксиду вуглецю та інших шкідливих речовин. Наземна рослинність і фітопланктон океанів уже не встигають споживати таку кількість діоксиду вуглецю. В атмосферу планети в період з 1860 р. по 1990 р., унаслідок спалювання органічного палива, надійшло близько 200 млрд т діоксиду вуглецю. Його вміст зріс на 30 %, з них 10 % – за останні 30 років. За сучасних рівней

спалювання органічного палива вже в 2010 р. щорічні викиди діоксиду вуглецю перевищать 10 млрд т.

Якщо цей процес триватиме і далі, на Землі виникне загроза "парникового ефекту", за якого атмосфера землі безупинно нагріватиметься. Одночасно зі збільшенням вмісту діоксиду вуглецю в атмосфері знижується вміст кисню, відтворення якого відстає від його утворення.

Говорячи про підвищення температури атмосфери Землі, слід мати на увазі ще одну надзвичайно важливу обставину. Розвиток енергетики пов'язаний з утратами тепла, під яким розуміємо відведення низькотемпературного тепла під час вироблення електричної й теплової енергії на теплових і атомних електростанціях (ТЕС й АЕС). Це – прямі втрати енергії використовуваних первинних енергоресурсів. Чим вони вищі, тим більше палива витрачається. Зниження вказаних утрат або підвищення ККД електростанцій, поза сумнівом, дасть змогу знизити темпи зростання як паливного складника, так і теплового забруднення біосфери.

Проте теплові забруднення довкілля є не лише наслідком відведення тепла на ТЕС й АЕС. Енергія всіх споживаних ресурсів, у тій чи тій формі, зрештою перетвориться на низькотемпературне тепло та перейде в біосферу. Будь-яке використання енергії означає перетворення (перехід) її в низькотемпературне тепло. Винятків з цього правила обмаль, і їхня питома вага в загальному масштабі енергопостачання та енергоспоживання постає досить незначною. Закону збереження енергії варто дотримуватися завжди, а найстійкішим положенням енергії в земних масштабах наділено низькотемпературне тепло, під яким мають на увазі температуру, близьку до температури довкілля.

Таким чином, майже все енергоспоживання переходить у низькотемпературне тепло. А це може порушити тепловий баланс Землі. Багато тисячоліть цей баланс не порушувався. Між Землею, Сонцем і Космосом установилася теплова рівновага. Все, що наша планета дістала від Сонця, частково накопичувалося на ній, інше випромінювалося в космічний простір. Накопичення відбувалося, здебільшого, за рахунок природної життєдіяльності на Землі. Нагромаджена в такий спосіб енергія

захована в тому органічному паливі, що його нині видобуває й витрачає людність.

Тепловий баланс укшталтував певні кліматичні умови, в яких зародилося життя і розквітла цивілізація. Порушення сталого балансу може спричинити зміну як регіональних, так і глобальних кліматичних умов. Відтак, саме неконтрольоване зростання енерговиробництва й енергоспоживання може порушити реальний тепловий баланс.

Тим часом розмір світового енергоспоживання становить соті частки від процента енергії, одержуваної Землею від Сонця. Якщо ця величина зросте на порядок, температура біля поверхні Землі почне стрімко підвищуватися. Це пов'язане з тим, що випромінювана Землею енергія пропорційна температурі біля її поверхні, піднесеної до четвертого степеня, а тому виділення тепла понад кількість, одержувану Землею від Сонця, веде до зростання температури поблизу поверхні.

Наприклад, збільшення енергоспоживання до 1 % від кількості сонячної енергії, що потрапляє на Землю, спричинить зростання температури біля поверхні приблизно на 0,7 °С. З урахуванням темпів зростання енергоспоживання, що склалися в наш час, така ситуація можлива не раніше, ніж через 100 років. Проте, слід мати на увазі, що коефіцієнт випромінювання Землі у світовий простір не є постійною величиною і залежить від цілої низки чинників. Зокрема, випромінювальна здатність визначається станом і складом атмосфери. Так, запилена атмосфера знижує випромінювальну здатність Землі, але водночас применшує надходження енергії Сонця, затримуючи сонячне проміння. Аналогічно впливає на тепловий баланс і водяна пара. Вміст ув атмосфері вуглекислого газу різко змінює випромінювальну здатність Землі. Вуглекислий газ вільно пропускає сонячне проміння, а тепловипромінювання від Землі в космос утрудняє іхній рух і "парниковий ефект".

За оцінками багатьох учених, щойноназвані темпи зростання вмісту в атмосфері Землі вуглекислоти можуть призвести до підвищення температури поблизу її поверхні вже на початку майбутнього століття. Велика кількість вуглекислоти розчинена у водах океану. Відомо, що розчинність вуглекислого газу у воді за-

лежить від температури води: чим нижча температура, тим краще вуглекислота розчиняється в ній. Отже, якщо температура води у Світовому океані почне підвищуватися, це спричинить виділення великої кількості вуглекислоти і посилить "парниковий ефект".

Отже, до чого ж може спричинити зростання споживання енергоресурсів? На першому етапі, який триває тепер, – це поступова зміна регіональних кліматичних умов життя з поступовим зростанням цих змін у часі. На другому етапі проявиться зростання середньої температури біля поверхні Землі, істотна зміна регіональних кліматичних умов, повільне підвищення рівня океану. На третьому етапі відбуватиметься швидке зростання температури. Так, якщо на 20–40 градусів температура підніметься за 70 – 100 років, то на 40–60 градусів – за 30. Природно, що таке збільшення температури спричинить затоплення величезних територій, найліпше освоєних людиною. Людство втратить не тільки гігантські орні площі, а й чимало з того, що воно створювало впродовж десятків років і століть: міста, заводи, порти, величезні гідрокомплекси.

Такими є деякі з наслідків енергоспоживання в глобальному масштабі. Самих лише їх досить, аби звернути особливу увагу на екологічні аспекти енергетики та енергоспоживання. Не менш серйозні й інші шкідливі дії, як-от: забруднення атмосфери пилом, зниження вмісту в ній кисню, забруднення ґрунту, стічних вод і водоймищ. Загрозливим є стан гідросфери (води) – основи нашого життя. Недарма 80-і роки XXI ст. ООН оголосила десятиліттям боротьби за чисту воду, потреба в якій стрімко зросла зі зростанням енергетики, розвитком промислового і сільськогосподарського виробництва. Людство щодня витрачає приблизно 10 млрд т води. Кожна тисяча кіловат потужності теплових електростанцій потребує мільйони кубічних метрів води на рік. Одночасно зі зростанням споживання води спостерігається і різке погіршення її якості, що негативно впливає на здоров'я людини. "Самоочищення" біосфери, яке з давніх-давен виручало людину, вже не справляється із забрудненням гідросфери, надто ж у глобальному масштабі.

Стан літосфери (ґрунту) також стає загрозливим. Чималий внесок у цей негативний процес належить енергетиці. Людина

освоїла практично всі придатні для землеробства місця. Зважаючи на великі запаси гумусу в чорноземах, підраховано, що кількість прихованої в них енергії в понад 20 разів більша, ніж у сумарній біомасі вищих і нижчих рослин, а також тварин що замешкують ці ландшафти. З аналогії із запасом в океані теплової енергії, якої теж у 20 разів більше від енергії, яка щорічно надходить від Сонця, випливає, що, використовуючи чорноземи, людство живе коштом минулого нашої біосфери, достоту як і під час використання органічних копалин, типу нафти, газу і вугілля.

Отже, сучасний стан біосфери (атмо-, гідро-, літосфери) є критичним, тому потрібні принципово нові рішення щодо екологізації енергетики, транспорту, промисловості й індустріального сільського господарства, що виступають основними антропогенними забруднювачами.

Міжнародна комісія ООН з питань довкілля і його розвитку підготувала фундаментальне дослідження "Наше загальне майбутнє", де відобразила гостру потребу в глобальній переорієнтації суспільно-політичного, економічного, економіко-технологічного та культурного розвитку, а також у реалізації відповідних національних і планетарних проектів. Перед людством стоїть серйозна проблема – усунення суперечностей між людиною і природою. Якщо їх не розв'язати, природа усуне їх самотужки за рахунок людства, яке буде відкинуте як шкідливий складник. Еволюція піде далі, але вже без нього! Знівечена біосфера почне послідовно відновлювати свою динамічну рівновагу, але вже без людей, які просто перестануть існувати на Землі. Тому мова мусить іти про розвиток виробництва, яке максимально задовольняє потреби людей, оптимально вписується в довкілля і не шкодить йому. Це повною мірою стосується і енергетики та паливно-енергетичного комплексу, що реалізує її призначення.

2.3.3. Взаємозв'язок технологічних, енергетичних й екологічних аспектів енергетики

1992 року в Ріо-де-Жанейро (Бразилія) відбулася Міжнародна конференція ООН з питань довкілля і його розвитку. Учасники конференції дійшли висновку, що в найближчі сорок років від моменту проведення конференції, на земній кулі може статися екологічна катастрофа, якщо тільки людство не вживе екстрених заходів з удосконалення наявного тепер способу виробництва. Було названо кілька причин, здатних призвести до таких сумних наслідків.

По-перше, збільшені масштаби виробництва, що якісно змінили вплив промислових викидів на довкілля. Вони перестали мати лишень локальний характер. Саме тому шкідливу дію підприємства на довкілля нині оцінюють не за перевищенням граничноприпустимих концентрацій (ГПК) шкідливих речовин у викидах, а за допомогою такого показника, як граничноприпустимі викиди (ГПВ). Обчислюючи його, фахівці враховують накладення концентраційних і температурних полів викидів від інших підприємств, розташованих у зоні дії певного об'єкта.

Друга причина – зросла міра небезпечності існуючих підприємств, складів отрутохімікатів, озброєнь, поховань виробничих відходів, зокрема радіоактивних. Наслідки аварій, пожеж, вибухів, спричинених зумисними або й ненавмисними діями людей чи природними катаклізмами, можуть виявитися для довкілля просто-таки фатальними.

Третя причина – прискорений в останні два десятиліття приріст чисельності населення земної кулі спільно зі значною розбіжністю в рівнях споживання сировинних ресурсів, ПЕР, продуктів харчування в країнах з розвиненою і слабкорозвиненою економікою. З 1972 по 1992 рр. населення планети збільшилося на 1,7 млрд осіб, зокрема на 1,5 млрд у менш розвинених країнах. З другого боку, за різними джерелами, від 20 до 30 % населення Землі – мешканці розвинених країн – споживають 70...80 % від усіх ресурсів, що видобуваються у світі.

Аби вивести рівень розвитку технології та умов життя в усіх країнах світу на рівень країн з розвиненою економікою, видобуток ресурсів конче треба збільшити, принаймні у кілька разів. При цьому, природно, зросте і міра забруднення довкілля. Разом з тим відомо, що природа здатна відтворювати вилучені у неї біологічні ресурси, якщо вилучається не більше 1 % від наявної їхньої кількості. Зроблені оцінки показують, що межу перетнули вже приблизно десять разів. Більше того, мінеральна сировина й органічне паливо створювалися природою багато мільйонів років і практично не відтворюються. За даними на початок останнього десятиліття XX ст., запасів вугілля, якби темпи споживання і технології залишалися незмінними, могло вистачити на період від 300 років (США) до 1 000 років (країни СНД), нафти – від 36 до 100 років і газу – від 32 до 60 років. Запасів урану на землі без переходу до реакторів на швидких нейтронах – приблизно на 100 років. Якщо ж зазначені реактори використовуватимуться, цей термін значно подовжиться.

Ураховуючи викладене, неважко зрозуміти, що збільшення виробництва у кілька разів без якісної зміни технології, організації виробництва й розподілу виробленої продукції та послуг, може спричинити катастрофу.

Не менш катастрофічною є ситуація з водою. Із загальної кількості води на земній кулі – 1 400 млн км^3 – на частку прісної води припадає всього 4 млн км^3 І лише 0,01% запасів прісної води приступна для використання. Вагома її частина зберігається у вигляді льодовиків, арктичних і антарктичних льодів. Промисловість споживає 30% усієї води, що витрачається на господарські цілі. З них 45% стосується теплоенергетики. На переробку 1 т нафти використовують 10...40 м^3 води, на виробництво 1 т сталі із залізняку – до 150 м^3, у виробництві сталевого прокату – 20...30 м^3, 1 т целюлозно-паперової продукції й синтетичних волокон – до 500 куб. м.

Річковий стік земної кулі, що дорівнює різниці кількості води, яка випаровується з поверхні морів та океанів, і поновлюючих їх опадів, становить близько 45 тис. км^3 на рік. При чисельності населення земної кулі 4 млрд осіб витрачалося 147 км^3

води на рік на комунально-побутові цілі і 633 км^3 – у промисловості. За умов збереження обсягів загального водоспоживання 6 м^3 на одну людину на добу (рівень водоспоживання в США 1975 р.) і збільшення чисельності населення до 6 млрд чол. річне водоспоживання у світі становило б 13 140 км^3 води. А це – приблизно третина всього річкового стоку земної кулі. За прогнозами, з урахуванням реальних об'ємів водоспоживання, до 2000 р. воно мало б скласти у країнах СНД близько 700 км^3 на рік, зокрема 220 км^3 – у промисловості, 420 км^3 – у сільському господарстві та приблизно 42 км^3 – у комунально-побутовому секторі при загальному річковому стоці 4 350 км^3 на рік. Очікується, що водоспоживання у всьому світі досягне 6 000 км^3.

Ефективним способом знизити навантаження на гідросферу є використання оборотних систем водопостачання, в яких основна маса води циркулює замкнутим контуром між охолоджуваним устаткуванням й охолоджувачем води (градірнею, бризкальним басейном, ставком-охолоджувачем тощо), і лише частину її – продувальну воду через очисні споруди скидають у каналізацію або природні водоймища і річки. Витрата свіжої води на такі системи покриває витрату води на продування і компенсацію частини води, що випарувалася, під час її охолоджування. На випаровування витрачається звичайно до 3 % від загальної витрати води, що циркулює в системі. Уявлення про частку зворотної води в загальному водоспоживанні підприємств дає табл. 2.4.

За даними на 1980 р., загальна кількість стічних вод у світі становила 500 км^3/рік. Зі всіх стічних вод 70% забруднені термально і 30% – нафтопродуктами, солями важких металів, фенолами, поверхнево-активними речовинами (ПАР) та ін. З усіх забруднених стічних вод 8,5 % дає теплоенергетика, 82 % – промисловість (у Росії – 70 %), близько 8% – комунально-побутовий сектор і приблизно 1,5 % – сільське господарство. Сучасне хімічне підприємство споживає води приблизно стільки, скільки місто з населенням у декілька десятків або й сотень тисяч осіб. Проте, міра очищення стічних вод від домішок є недостатньою, а тому перед скиданням в річки і водоймища їх розбавляють чистою водою в середньому в 40...60 разів.

Таблиця 2.4.

Структура водоспоживання в теплоенергетиці і промисловості

Галузь промисловості	Загальне водоспоживання, км^3/г	Витрата води на охолоджування, % загального водоспоживання	Водооборот, % від витрати на охолоджування
Теплоенергетика	150	96	60
Чорна металургія	36	75	80
Кольорова металургія	10	20	80
Хімія	9	74	74
Нафтохімія і нафтопереробка	18	95	89
Целюлозно-паперова	3,4	7	65

Зумовлене діяльністю людства навантаження на атмосферу характеризується такими даними. При масі атмосфери 5,15-10^{15} т річний викид золи 1980 р. становив 120 млн т аерозолів (частинки розміром 0,001... 8 000 мкм) – 200...250 млн т, сірчистого газу – 250 млн т. До 2000 р. викиди сірчистого газу знизилися до 100 млн т. За даними на 1987 р. в СРСР в атмосферу викидали всього 100 млн т забруднень. З них на частку підприємств Міністерства енергетики припадало 26%, автотранспорт давав 36,9%, чорна металургія – 7%. Міра очищення газоподібних викидів від золи в нашій країні сягає 75 %, від газоподібних шкідливих домішок – 30 % (у ФРН – 86 %). У великих містах, поблизу підприємств уміст шкідливих домішок в атмосфері багаторазово перевищує існуючі норми. Так, поблизу великого металургійного підприємства вміст пилу вищий за норму в 18 разів, окислу вуглецю – в 15, оксидів азоту – в 18. Ультрафіолетова радіація нижча за природну в 2...3 рази.

У наш час діє Міжнародна європейська конвенція, згідно з якою країни-учасниці, включаючи Росію, взяли на себе зобов'язання на 30 % до початку XXI ст. понизити викиди в атмосферу діоксиду сірки. Західні країни розв'язують цю проблему, збільшуючи ефективність і потужності очисних споруд. У нашій країні основним методом поки що є заміна твердого і рідкого палива на газоподібне.

Наведені дані свідчать про можливе найближчим часом вичерпання приступних для господарської діяльності запасів нафти, газу і води, про небезпечний рівень забруднення атмосфери. Людство вже відчуває брак запасів срібла, нікелю, олова, хрому, кадмію, свинцю тощо. З другого боку, ясно, що є величезні резерви раціональнішого використання практично всіх видів ресурсів. Практика енерго- і ресурсозбереження в промисловості показала, що найбільшого ефекту досягають за умови комплексного розв'язання технологічних, енергетичних та екологічних проблем.

Та все ж розвиток цивілізації неможливо собі уявити без зростання споживання енергії та енергоресурсів. Тут можливі підходи як загального (глобального), так і місцевого (локального) плану. У глобальному плані – це регулювання виробництва енергії та зростання споживання енергоресурсів на державному і міжнародному рівні; перехід на нові, екологічно чисті й енергоощадні технології виробництва енергії; перегляд ставлення до процесу споживання, до визнаних людських цінностей, укладу життя – як окремої людини, так і людства загалом. Природно, що реалізація названих процесів потребує розробки довгострокових державних програм, розрахованих на багато десятків років.

Паралельно з цим, аби знизити вплив енергетики й енергоспоживання на біосферу, конче потрібно розглядати такі заходи, які вже сьогодні можуть дати істотний зиск. Наприклад, зниження викидів шкідливих речовин енергетичними пристроями можна досягти через подальше заміщення мазуту природним газом, удосконалення пальникових пристроїв, організацію багатоступеневого спалювання палива, застосування прогресивних способів очищення палива від сірки, підвищення ефективності виробництва теплової та електричної енергії; дотримання спеціальних режимів спалювання палива та інших заходів, включно зі створенням тарифної і цінової політики, що стимулює розробку й упровадження екологічно чистих технологій та устаткування.

Безумовно велику роль у згладжуванні енергетичної проблеми і підвищенні життєвого добробуту населення відіграє

енергозбереження – один з пріоритетних напрямів сучасної (і майбутньої) енергетичної політики.

Так, економія 1 т вугілля скорочує викиди золи на 250 кг, оксидів сірки – приблизно на 2 кг, оксидів азоту – на 3 кг, оксиду вуглецю – на 10 кг. економія 1 т мазуту скорочує викиди сірчистого ангідриду на 40 кг, окису вуглецю – на 12 кг; економія 1 000 $м^3$ природного газу скорочує викиди оксиду азоту на 2.5 кг, оксиду вуглецю на 8 кг.

Якщо ж урахувати, що внаслідок підвищення ефективності використання ПЕР можливо істотно знизити питому витрату палива на виробництво 1 кВт·год електроенергії, то неважко визначити розмір екологічного збитку, якого вдасться уникнути. Ще актуальнішим є розвиток і застосовування відновлюваних джерел енергії. Останнє особливо важить у контексті заходів, ужитих міжнародним співтовариством зі зниження дії "парникового ефекту" і виконання інших зобов'язань, пов'язаних із можливою зміною клімату Землі.

РОЗДІЛ 3

...Наука робить нас богами раніше, ніж ми заслуговуємо того, аби називатися людьми

Жан Ростан

СТРУКТУРА І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ

Ключові поняття й дефініції

Ланцюг перетворення енергіїї

Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК)

Структура і тенденції розвитку ПЕК та енергоспоживання

Енергетика і довкілля — системний підхід

Комплексний вплив енергетики на економіку

3.1. Ключові поняття й дефініції

Сучасна енергетика є складною багаторівневою ієрархічною структурою, призначеною забезпечити комфортні умови проживання населення, а також нормальне функціонування промислових підприємств, виробництв і установ. Лише надійно й ефективно працююча система забезпечення споживачів різного рівня необхідною енергією та енергетичними ресурсами уможливлює їх функціонування як єдиного територіального комплексу. Політична й економічна самостійність держави багато в чому визначається її енергетичною забезпеченістю та незалежністю. Усе це пов'язано з "виробництвом" і "споживанням" енергії, які входять у загальне уявлення "енергетики" про перехід енергії з одного стану в інший. Виробництво і споживання енергії, однакові за своєю фізичною суттю, але відмінні за кінцевою метою і спрямованістю, є твірними енергетичного ланцюжка. Остання, своєю чергою, визначає суть і зміст енергопостачання та енергоспоживання.

Розмаїття форм існування енергії, здатність їх до взаємоперетворення дає змогу використовувати для виробництва і споживання енергії різні енергоресурси та енергоносії, визначає їх взаємозамінність. Енергетична цінність ресурсів, ефективність способів їхнього перетворення, міра досконалості процесів і установок, технологічних стадій енергетичного виробництва визначається, зрештою, коефіцієнтом використання енергоресурсу (коефіцієнтом корисної дії енергоустановки).

Подамо деякі основні визначення.

- *Енергетичний ланцюжок* (energy chain) характеризує потік енергії від видобутку (виробництва) первинного енергоресурсу до одержання і використання підведеної кінцевої енергії.
- *Первинний енергоресурс* (primary energy resource) — енергоресурс (сира нафта, природний газ, вугілля, горючі сланці, ядерна енергія, гідроенергія, геотермальна, сонячна, вітрова енергія тощо), який не переробляли і не перетворювали.
- *Енергоносій* (energy carrier) — ресурс, що його безпосередньо використовують на стадії кінцевого споживання, попередньо облагороджений, перероблений, перетворений, а також природний енергетичний ресурс, споживаний на цій стадії.
- *Підведений енергетичний ресурс* (energy resource supplied) — енергоресурс, підведений до енергетичної установки для переробки, перетворення, транспортування або використання.
- *Кінцева підведена енергія* (final energy або energy supplied) — енергія, підведена до споживача перед її кінцевим перетворенням на корисну роботу (кінцевим використанням) або кількість енергії в підведеному енергетичному ресурсі (енергоносії).
- *Енергопостачання* — сукупність послідовних процесів виробництва, передачі й використання енергії.
- *Система енергопостачання* — сукупність установок і пристроїв, призначених для цілей енергопостачання.

Енергію у вільній формі неможливо накопичувати на будь-який тривалий час. Тому процеси виробництва і споживання енергії мають збігатися в часі або відбуватися безпосередньо один за одним і бути пов'язані між собою ланкою передачі. Це посутньо впливає на характер виробничих, технічних та економічних зв'язків енергетики з іншими галузями матеріального виробництва і стосується структури й форми розвитку власне енергетики та систем енергопостачання.

3.2. Ланцюг перетворення енергії

У ряді випадків уживають термін "види енергії", під яким розуміють різні джерела енергії або ґатунки палива. Зокрема, вирізняють невідновлювані ПЕР: викопне органічне паливо (вугілля, нафта, природний газ, торф, горючі сланці), ядерна енергія. Існують і інші ПЕР або джерела енергії, наприклад, біомаса, енергія сонця, енергія вітру, енергія хвиль, гідроресурси, геотермальна енергія. Це відновні джерела енергії, котрі є прямим наслідком впливу енергії Сонця, тим часом як викопне паливо з'явилося в процесі біохімічних реакцій у надрах Землі сотні мільйонів років тому.

Названі види палива є первинними енергетичними ресурсами, які утворюють першу ланку ланцюга перетворення енергії – енергетичного ланцюжка, представленого на рис. 3.1. Ця схема наочно демонструє шлях енергії від її вихідного стану до кінцевого споживання, подає загальний взаємозв'язок між джерелами енергії й видами кінцевої енергії. Наприклад, сира нафта, що її видобувають з надр землі, є первинним джерелом енергії, але має обмежене застосування. Її можна перетворити на корисніші вторинні джерела енергії, як-от бензин, газ, нафта, мазут, важке дизельне паливо тощо. Такі перетворення пов'язані з певними втратами енергії. Зрештою вторинну енергію слід доправити до споживача. Це означає, що її необхідно транспортувати і розподіляти, а транспортування і розподіл потребують додаткової

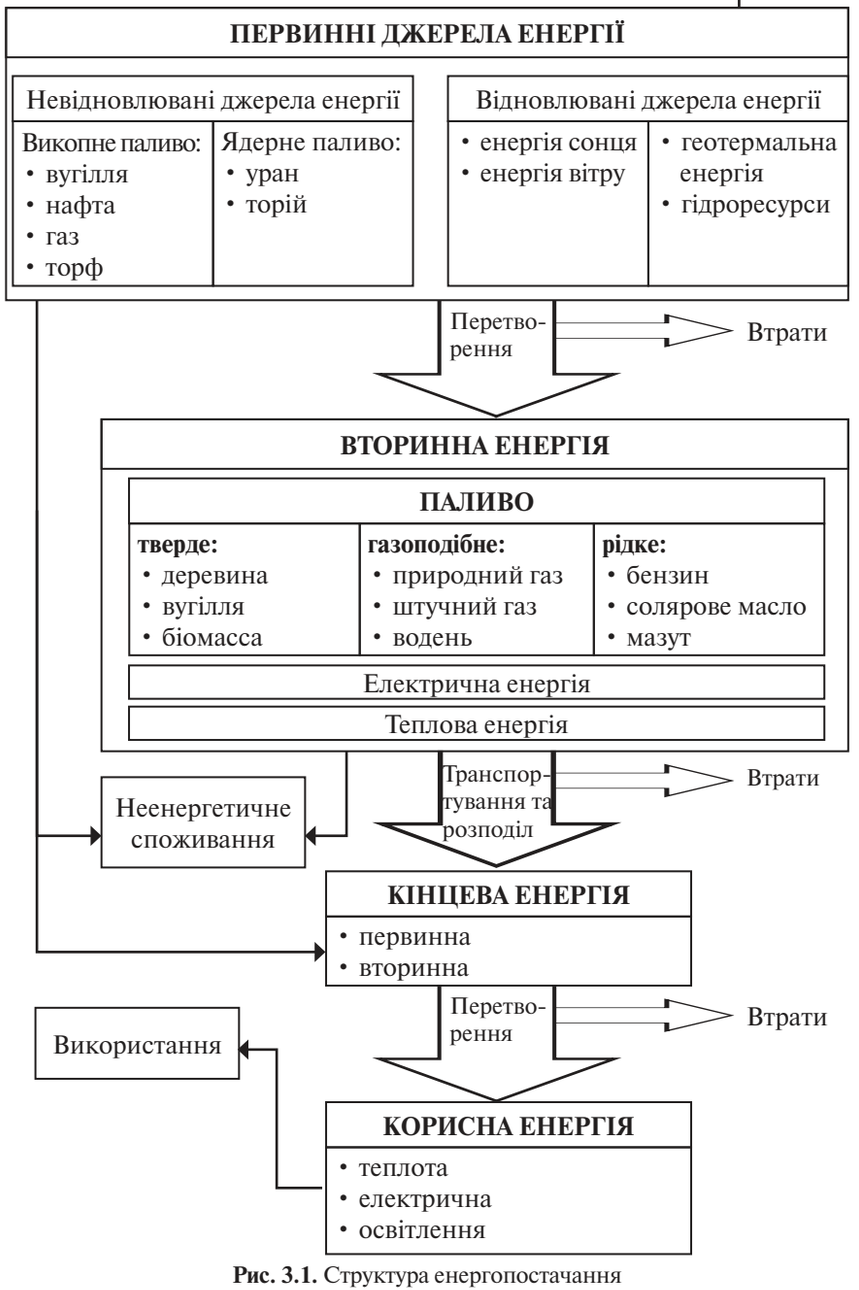


Рис. 3.1. Структура енергопостачання

витрати енергії. На цьому етапі джерело енергії обертають на відповідний енергоносій, який на заключному етапі перетворюють для одержання кінцевої корисної енергії та подачі її до пункту споживання. Наприклад, у процесі спалювання мазуту в топці опалювальної котельні одержуємо теплоносій (водяну пару, гарячу воду), який можна подавати, зокрема, на опалювання і гаряче водопостачання міських об'єктів.

Основними природними (первинними) паливно-енергетичними ресурсами (ПЕР), на яких базується сучасна енергетика, є викопне паливо (вугілля, торф, нафта, сланці, горючі гази), продукти його переробки (моторне паливо, мазут, брикети), водяні потоки (річки), ядерне пальне (уран, торій). Цією обставиною визначаються головні напрями розвитку сучасної енергетики: теплоенергетика, що використовує ПЕР і детермінує масштаби паливовидобувної промисловості; гідроенергетика, що розвивається на базі гідроенергетичних ресурсів як галузь із комплексного використання водних запасів країни; атомна енергетика, заснована на перетворенні внутрішньоядерної енергії в інші види.

Основними ґатунками продукції енергетичного виробництва є електрична і теплова енергія, у формі котрих відбувається споживання енергетичних ресурсів на кінцевій стадії їхнього використання. Пристрої, в яких енергія природних енергетичних ресурсів перетворюється на інші види енергії, називаються енергогенерувальними (або енергогенераторами); пристрої, що в них енергія перетворюється на кінцевий вид, – енергоприймачами (споживачами або абонентами).

Отже, виходячи із завдань енергопостачання і ланцюга перетворення енергії, будь-яка система енергопостачання базується на певних енергетичних ресурсах і містить три головні елементи: джерело енергії (енергогенератор), мережі, (розподільні і транспортні) та енергоприймач (споживач, абонент). Структуру передавальних ланок у системі визначає рівень концентрації та централізації енергопостачання.

Концентрація – процес зосередження виробництва енергії на великих енергетичних підприємствах, тобто збільшення одиничної потужності і продуктивності енергетичних установок

та устаткування. Концентрація є найважливішим чинником удосконалення технічної бази й підвищення ефективності енергетичного виробництва.

Централізація – об'єднання споживачів енергії спільними для них енергетичними мережами і джерелами енергії, зумовлене передусім нерозривністю в часі процесів виробництва та споживання енергії. Централізація в енергетиці являє собою форму раціональної організації енергопостачання.

Концентрація і централізація енергопостачання збільшують дальність передачі енергії, а це пов'язане з додатковими витратами і втратами енергії в розподільній системі. Знизити ці втрати і збільшити дальність транспортування сприяє підвищення потенціалу енергоносіїв, використовуваних для передачі й розподілу енергії. Тому важливим елементом централізованих систем енергопостачання є трансформувальні (перетворювальні) енергоустановки. Вони призначені для зміни й регулювання рівня потенціалу енергоносіїв, а також об'єднаних в одній системі споживачів з різним рівнем потенціалу енергії, що розподіляється між ними.

Поширеною формою енергопостачання в багатьох країнах є централізовані системи. Об'єднуючи енергогенерувальні установки, трансформувальні й розподільні пристрої та енергоприймачі, вони характеризуються спільними принципами формування і режиму роботи всіх ланок, взаємозалежністю процесів виробництва, розподілу й використання енергії. Концентрація і централізація — це неодмінна умова створення ефективних форм енергопостачання, розширення сфер і подальшого впровадження найраціональніших видів енергії в різні технологічні процеси. З цим пов'язане об'єднання власне енергетики, паливовидобувних галузей і переробної промисловості в єдиний паливно-енергетичний комплекс (ПЕК).

3.3. Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК)

3.3.1. ПЕК як єдина система енергопостачання

Паливно-енергетичний комплекс належить до найбільших і чітко зорганізованих народногосподарських комплексів будь-якої національної економіки. Він об'єднує вугільну, нафтову, нафтопереробну, газову, торф'яну, сланцеву промисловість, електро- і теплоенергетику, включно з підприємствами, що виробляють ядерне пальне, а також з розподільними електричними мережами і трубопроводами, енерго- і паливозбутними організаціями та фірмами.

Об'єктивна потреба в поєднанні всіх цих галузей визначається впливом таких основних чинників:

- широкою взаємозамінністю різних видів палива й енергії у споживачів і на головних стадіях перетворення енергії;
- комбінованим характером багатьох енергетичних процесів;
- взаємопов'язаністю режимів роботи різних типів енергетичних об'єктів;
- необхідністю взаємного резервування галузей паливної промисловості.

ПЕК — єдина система енергопостачання, що має за головну мету ефективне й надійне забезпечення всіх потреб народного господарства енергією необхідної якості. Це зумовлює його щільні зв'язки з масштабами, структурою і темпами розвитку економіки відносно як загальних обсягів виробництва енергії, так і складу окремих енергоносіїв.

Основні вимоги економіки нашої країни до ПЕК формують такі важливі тенденції енергоспоживання:

- підвищення потенціалу енергії у споживачів (тобто частки енергії, що її витрачають на силові, високотемпературні та фізико-хімічні процеси тощо) як наслідок науково-технічного процесу, підвищення технічного рівня всіх видів виробництв, технологій, автоматизації та ін.;

- постійне збільшення частки електроенергії в загальному кінцевому споживанні всіх видів енергії, що визначається особливою роллю електрифікації в підвищенні продуктивності праці, розвитку нових технологій, поліпшенні якості життя;
- збільшення частки перетворених видів енергії за умови витрачення всіх енергетичних ресурсів як наслідок електрифікації і вдосконалення технологій теплоспоживаючих процесів шляхом застосування водяної пари і гарячої води замість установок прямого використання палива;
- зниження кількості споживаних енергетичних ресурсів на одиницю національного доходу, що становить основу державної політики енергозбереження.

Важливо зазначити, що зв'язки ПЕК щодо галузей народного господарства і щодо споживаної енергії зумовлюють унутрішню структуру комплексу. Така структура формується під впливом розміру запасів окремих видів паливно-енергетичних ресурсів, техніко-економічних показників їх видобутку, транспортування, перетворення і використання, від інвестицій і кредитування. Своєю чергою, структура ПЕК і темпи його розвитку впливають на розвиток і розміщення окремих виробництв, на темпи та пропорції зростання економіки країни та її регіонів у цілому. Міру впливу енергетики на окремі виробництва визначає величина енергетичної складової собівартості їхньої продукції. Вона найбільша в металургії, у виробництві будівельних матеріалів, у хімічній промисловості та сфері транспорту. Економіка і розміщення підприємств саме цих галузей є особливо чутливими до змін у вартості палива й енергії.

Що ж до впливу розвитку ПЕК на інші галузі через споживання їхньої продукції або послуг, то найдужче він оприявнює себе не під час експлуатації, а під час капітального будівництва енергетичних об'єктів і вибору їхньої потужності. Частка продукції чорної металургії, хімії, машинобудування та інших ділянок промисловості з погляду поточних матеріальних витрат ПЕК становить приблизно 10%. Основна частина витрат припадає на паливо, енергію (до 60%) і послуги транспорту.

ПЕК є найбільш капіталоємним і фондомістким з усіх функціонально-галузевих комплексів. У деяких країнах на його

розвиток йде понад третини капіталовкладень, направлених у промисловість. Якщо ж урахувати непрямі капіталовкладення (витрати на додатковий розвиток неенергетичних виробництв, що забезпечують функціонування і розвиток ПЕК) й витрати на розвиток енергетичного господарства споживачів, то ця величина збільшується в 2-4 рази. В перспективі у зв'язку з очікуваним підвищенням капіталоємності енергетичного виробництва вплив ПЕК на розвиток металургії, машинобудування, проміндустрії зросте ще більше.

Великий вплив чинить ПЕК на економіку розвинених країн; відчувається посутня залежність економічного стану від ситуації на світовому енергетичному ринку і виникають достатньо нагальні енергетичні проблеми. Наприклад, більше як 60% потреб в енергоресурсах країн Західної Європи (і 90% потреб Японії) покриває імпорт, головним чином, рідкого палива. Частка нафти в енергетичному балансі країн цього регіону 1975 р. досягла 57%, хоча 1950 р. вона становила всього 12%. Характерно, що на початку 50-х роках енергопостачання ґрунтувалося здебільшого на вугіллі й майже на 90% забезпечувалося власними енергоресурсами.

Докорінні зміни, що згодом відбулися в енергетичному балансі Західної Європи і Японії, можна пояснити швидким зростанням потреб в енергії (5% на рік), зумовленим високими темпами економічного розвитку й неконкурентоспроможністю власних енергоресурсів порівняно до дешевої арабської нафти. При цьому перебудова енергетичного балансу не потребувала значних капіталовкладень в енергетичну базу, а була забезпечена збільшенням експорту промислових товарів для компенсації втрат палива. В умовах донедавна наявних низьких цін на енергоресурси і високих цін на машини й устаткування такий зовнішньоторговельний обмін був вигідний економічно розвиненим країнам.

Збільшення джерел надходження енергоресурсів і розширення географії імпорту підвищують надійність енергопостачання, що має винятково важливе значення. Проте вирішальний внесок у зменшення залежності від кон'юнктури світового ринку і в уповільнення зростання вартості енергії може зробити розвиток саме атомної енергії. Її частка в енергетичному балансі

країн Західної Європи і Японії на 2030 р. може дорівнювати близько 40%. Майбутні вагомі зміни в структурі енергетичного балансу потребують величезних капіталовкладень (від 2,5 до 6 трлн дол.), тим часом як за попередні 25 років прямі й непрямі капіталовкладення в розвиток енергетики Західної Європи та Японії не перевищили 0,5-0,6 трлн дол.

3.3.2. Взаємозв'язок ПЕК з різними галузями народного господарства

Будь-яка сукупність зв'язків є засадою для обґрунтованого уявлення про ієрархічну будову й доцільне функціонування інформаційних систем. Без цього неможливе ефективне управління, зокрема енергоменеджмент.

У великих економічних системах відбуваються два типи процесів: речовинні (фізичні) та інформаційні. У першому процесі провідну роль відіграють речовинно-енергетичні й силові перетворення, у другому – перетворення інформації. Відповідно, зовнішні зв'язки комплексу можна розділити на речовинні та інформаційні. За перспективного планування всі зв'язки виступають як інформаційні, а за поточного разом з ними мають місце і речовинні.

Причини виникнення зовнішніх зв'язків серед міжгалузевих комплексів сфери виробництва можна пояснити дією таких чинників:

- об'єктивною потребою у суспільному розподілі праці та продуктоспоживання між окремими галузями;
- обмеженістю виробничих ресурсів (трудових, матеріальних, грошових, природних), унаслідок чого додаткове виділення ресурсів для однієї галузі зменшує їх надходження в інші;
- взаємозамінністю продукції різних галузей;
- комплексним і багатоцільовим використанням природних ресурсів і впливом роботи окремих підприємств на довкілля, а через нього – на функціонування інших об'єктів.

Звідси походить класифікація груп зовнішніх зв'язків: галузеві зв'язки продуктоспоживання; зв'язки відносно імпортова-

них ресурсів; стосовно часткової взаємозамінності продукції, щодо природовикористання та ін.

Для їхнього аналізу застосовують два підходи: розглядають зв'язки за окремими показниками, що характеризують інформаційні входи і виходи галузевих систем; визначають комплексний вплив однієї галузі на інші. У першому випадку мають справу з системотвірними (однорідними) зв'язками, в другому – з комплексними.

Комплексні зв'язки – результат дії кількох типів системотвірних зв'язків. При цьому часто виникає так званий синергійний (системний) ефект, а тому комплексні зв'язки іноді називають синергійними.

До відмітної ознаки енергетики належить надзвичайне розмаїття її взаємозв'язків з народним господарством. Аби дослідити вплив стратегій розвитку ПЕК на народне господарство, вирізняють такі системотвірні зв'язки: виробничі (міжгалузеві); техніко-економічні; виробничо-територіальні; соціально-економічні зв'язки продуктоспоживання; соціально-економічні зв'язки відносно природовикористання; зв'язки ПЕК щодо лімітованих виробничих продуктів; зв'язки стосовно комплексного використання природних енергетичних продуктів.

Названі зв'язки ПЕК з народним господарством дають змогу виявити рівні та завдання оптимізації розвитку ПЕК як основи енергоощадної політики.

3.3.3. Рівні та завдання оптимізації розвитку ПЕК

Планування енергетичного господарства нерозривно пов'язане з регулюванням паливо- й енергопостачання, тобто з розробкою і вживанням заходів, що мають ліквідувати відхилення параметрів керованого об'єкта від поставлених завдань.

У структурі ПЕК можна виокремити дві взаємопов'язані групи систем: енергетичні галузі й районні системи споживачів енергії. Для кожної з цих систем може існувати своя ієрархія завдань відповідно до специфічних особливостей їхнього прогнозування і планування.

На вищому, народногосподарському рівні ієрархії ПЕК кожна енергетична галузь розглядається для всієї країни навзагал, а споживачі енергії мають бути представлені у відповідному районному розподілі. Завданням оптимального розвитку ПЕК на цьому рівні ієрархії є встановлення основних пропорцій розвитку енергетичних галузей і міжрайонних потоків палива й електроенергії, адже це забезпечує раціональний розвиток і заміщення виробничих сил країни згідно з економічними завданнями, які слід вирішувати саме в цій період. Здобуті наслідки мають неабияке значення для встановлення раціональних розмірів і способів розвитку основних паливних баз та енергозабезпечувальних систем, виробничої потужності, розміщення і спеціалізації паливопереробних підприємств та енергогенерувальних об'єктів, міжрайонного розміщення і виду палива для великих електростанцій, а також розв'язання інших подібних задач з розвитку енергетичних галузей. Принципова схема зв'язків ПЕК країни показана на рис. 3.2.

Об'єднання енергетичних галузей і споживачів енергії на певній території утворює ПЕК району, який відповідає другому рівню ієрархії завдань прогнозування і планування паливно-енергетичного комплексу. ПЕК району є частиною ПЕК країни і має з ним щільні зв'язки, що відображають умови виробництва палива й енергії, їхній міжрайонний розподіл і використання. Це означає, що регіональне прогнозування і планування ПЕК ґрунтується на узгодженні умов розвитку галузей ПЕК країни з місцевими особливостями створення енергетичної бази і споживання палива й енергії в цьому районі. До числа таких регіональних особливостей належать природно-географічні умови, транспортне і водогосподарське забезпечення, населення і національні особливості його побуту, наявність території, вільної для промислового й сільськогосподарського освоєння, розвиток будівельної бази та ін.

Районні й галузеві системи формуються відповідно до технічних і технологічних умов розвитку енергетичних галузей. Районні системи споживачів енергії відображають потребу в енергетичних ресурсах і видах енергії в народному господарстві окремих частин країни. На практиці має місце складна система взаємозв'язків між енергетичним господарством країни загалом

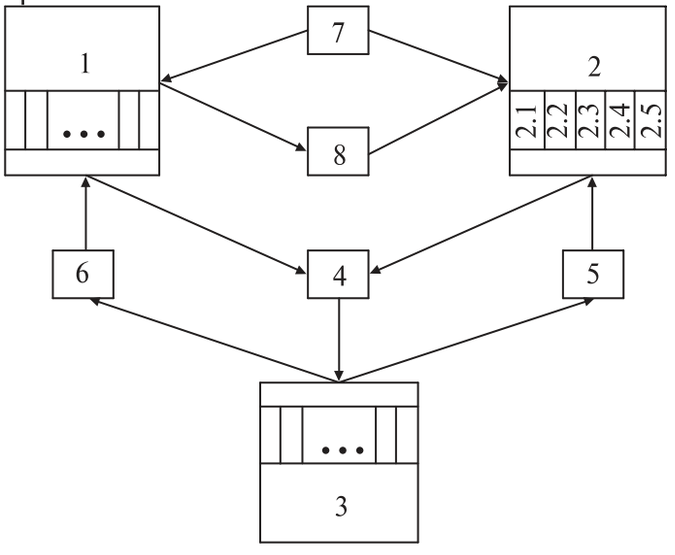


Рис. 3.2. Принципова схема зв'язків ПЕК країни:
1 – багатогалузеві народногосподарські комплекси; *2* – енергетичні галузі ПЕК: *2.1* – нафтова; *2.2* – газова; *2.3* – вугільна; *2.4* – електроенергетика; *2.5* – теплоенергетика; *3* – районні системи споживачів енергії; *4* – формування початкових порайонних масштабів і структури споживання енергії; *5* – визначення в результаті оптимізації розвитку ПЕК масштабів і структури споживання окремих видів палива й енергії; *6* – уточнення в результаті оптимізації ПЕК розміщення продуктивних сил, зокрема енергоємних виробництв; *7* – розподіл грошових та інших народногосподарських ресурсів; *8* – забезпечення устаткуванням, матеріалами, надання послуг тощо.

і енергетикою окремого району, між енергетикою та народним господарством району (рис. 3.3).

Найзагальнішими енергоекономічними чинниками, що впливають на формування зв'язків району, є структура споживачів і розміщення великих паливо- та енергоємних підприємств, кількість і якість місцевих енергоресурсів, особливості режиму споживання і пов'язаного з ним збереження паливних ресурсів, особливості внутрішньорайонного транспортування палива та електроенергії.

Системи енергопостачання міст, промислових вузлів і сільськогосподарських районів (зон) утворюють третій рівень

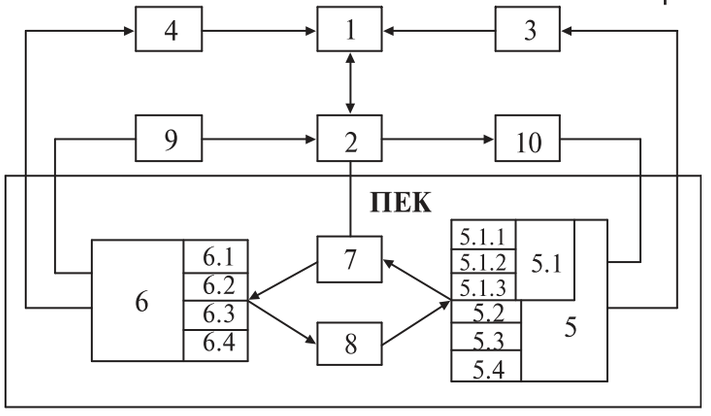


Рис. 3.3. Принципова схема зв'язків ПЕК району:
1 – народне господарство країни; *2* – народне господарство району; *3* – енергетичні галузі в ПЕК країни; *4* – система споживачів енергії в ПЕК країни; *5* – енергопостачання району: *5.1.*– система паливопостачання; *5.1.1.*– рідке паливо; *5.1.2.* – газоподібне паливо; *5.1.3.* – тверде паливо; *5.2.* – електропостачання; *5.3* – теплопостачання; *5.4.* – місцеві енергоресурси; *6* – потреба району в паливі і енергії: *6.1.* – енергетичні об'єкти - виробники палива і енергії; *6.2.* – великі міста і промислові вузли; *6.3.* – великі промислові об'єкти; *6.4* – сільськогосподарські зони і малі міста; *7* – формування масштабів і структури споживання енергоресурсів; *8* – уточнення масштабів і структури споживання окремих видів палива й енергії; *9* – уточнення розміщення об'єктів народного господарства на території району; *10* – забезпечення ПЕК району трудовими і водними ресурсами, промисловими майданчиками, будівельною базою тощо.

ієрархії завдань розвитку ПЕК. Слід розрізняти власне схеми енергопостачання і споживачів палива та енергії. Місцеві особливості – планування і характер забудови території, розвиток транспорту, санітарно-гігієнічні й інші вимоги – відіграють на цьому рівні ієрархії завдань важливу роль і по суті створюють у кожному випадку свої індивідуальні умови розвитку систем енергопостачання. Завданням їх оптимізації є пошук найліпшого варіанту електро- й паливопостачання, вибір системи теплопостачання та ін. Подальшим розвитком та уточненням цих питань є визначення оптимальних схем і параметрів електричних, газових і теплових мереж для енергопостачання об'єктів на певній території.

Четвертий ступінь ієрархії завдань розвитку ПЕК утворюють підприємства-виробники палива й енергії, а також енергетичні господарства підприємств-споживачів. Для них існує своя система задань управління і розвитку.

Взаємозв'язки ПЕК проявляють себе насамперед під час вибору енергоносіїв, енергоспоживаючих процесів і установок, тобто в системах споживачів енергії. Вибір енергоносіїв роблять безпосередньо за умови визначення раціональної технології промислового й сільськогосподарського виробництва, виду двигунів і способу тяги на транспорті, способів опалення, гарячого водопостачання, холодопостачання і приготування харчів у комунально-побутовому господарстві. Через споживачів енергії виявляються зв'язки енергетики з народним господарством. Вони відображені у розмірі так званого неенергетичного ефекту, тобто в економічній характеристиці наслідків змін у технології виробництва – змін, пов'язаних із заміненням якихось одних видів палива й енергії на інші. Ще однією формою прояву цих зв'язків є зміна об'єму випуску або якості продукції внаслідок переведення підприємств на інші види енергоносіїв. Важливим є і те, що переведення основних технологічних установок на новий енергоносій у ряді випадків спричиняє значні зміни у витратах палива й енергії на інших ділянках виробництва, істотно впливаючи на їхню технологію.

Тому на нижчому рівні ієрархії ПЕК ставлять завдання визначити економічно обґрунтовані співвідношення щодо споживання різних видів палива й енергії. Саме вони зрештою формують пропорції розвитку виробництва енергоресурсів. На всіх інших, вищих рівнях ієрархії застосовують узагальнені характеристики, що показують інтеґральну ефективність використання окремих видів палива й енергії у відповідних енергоспоживаючих системах.

Для розробки завдань оптимального розвитку галузей суттєво важить облік подвійної ролі паливодобувних, переробних та енергогенерувальних підприємств. Вони виступають, з одного боку, як виробники нових видів палива або енергії, і це відображено відповідними завданнями розвитку енергетичних галузей, а з другого – як споживачі енергоресурсів. Останнє посутньо

впливає на формування енергетичного балансу в районі, де розміщено енергетичний об'єкт.

Зрештою у структурі ПЕК розмежовують дві групи систем: спеціалізовані галузеві системи та системи споживачів енергії; кожна з тих систем має свою вертикальну послідовність завдань щодо прогнозування і планування. Ці комплексні системи забезпечують горизонтальне міжгалузеве сполучення спеціалізованих систем в одне ціле – енергетичне господарство країни, регіону, міста тощо, аж до енергетичного господарства промислового підприємства.

Після розпаду СРСР Україна втратила приступ до дешевих енергосистем. Водночас настав час вдатися до серйозних перемін у царині енергозбереження й енергоефективності. Розгляньмо деякі статистичні дані щодо енергозабезпеченості і енергоспоживання в економіці нашої держави. У табл. 3.1 подано паливно-енергетичний баланс України за останні роки XX ст.

Аналіз статей паливно-енергетичного балансу показує, що основними компонентами ПЕР країни є вугілля, газ, ядерне пальне й нафта. Очевидною постає динаміка зміни складових ПЕР за роками, що пов'язане з їхнім споживанням. Характер споживання ПЕР наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.1.

Паливно-енергетичний баланс України

№ за/п	Стаття балансу	Одиниця вимірювання	Рік		
			1990	1995	2000
	Ресурси, зокрема:	тис.т у.п.	433 865	249 532	329 717
1	Видобуток				
	Вугілля	тис.т у.п.	97 414	49 346	86 449
	Нафта	тис.т у.п.	7 506	5 853	7 007
	Газ	тис.т у.п.	32 295	20 885	31 435
	Інші види палива	тис.т у.п.	2 090	1 590	12 202
2	Виробництво природних ресурсів, включно з АЕ	тис.т у.п.	28 516	16 168	37 022
3	Інші надходження, включно з імпортом	тис.т у.п.	211 391	120 100	117 863
4	Експорт	тис.т у.п.	35 765	3 248	3 181

Таблиця 3.2.

Споживання котельно-пічного палива (КПП) й електроенергії в народному господарстві України

Споживач	КПП, тис. т у.п.		Електроенергія, млрд кВт · г	
	Рік		Рік	
	1990	2000	1990	2000
Промисловість	213,6	196,0	188,34	160,2
Будівництво	2,4	1,2	3,981	2,12
Транспорт	8,8	9,5	145,0	110,4
Сільське господарство	5,7	3,5	19,02	15,6
Житлово-комунальний сектор	50,1	43,0	44,6	51,9

З табл. 3.2 видно, що основним споживачем енергоресурсів є промисловість. Слід зазначити, що зниження національного продукту 1995 р. в порівнянні з 1990 р. майже вдвічі (4,79%) спричинило зростання енергоємності в 1,34 раза. Звідси висновок: в умовах спаду виробництва на тлі енергетичної кризи значно зменшилася ефективність випуску й конкурентоспроможність виготовленої продукції. Відомо, що собівартість продукції більшості українських підприємств перевищила світовий рівень цін. За таких обставин конче потрібно разробити науково обґрунтований підхід до питання рентабельності виробництва та оцінити потенціал зниження витрат. Одним з цих напрямів є енергозбереження. Потенційні можливості зниження енерговитрат на виробництво національного продукту в народному господарстві є надзвичайно важливими, і їх необхідно використовувати ефективно й інтенсивно.

Комплексна програма енергозбереження країни наголошує на тому, що потенціал енергозбереження на рівні базового 1990 р. становить 145-170 млн т у.п. або приблизно 42-48% від споживання енергоресурсів. Опріч того за рахунок утилізації вторинних енергоресурсів (ВЕР) потенціал усіх енергоресурсів стрімко зростає. Потенційні можливості ВЕР стосовно галузей промисловості представлені в табл. 3.3.

Як бачимо з табл. 3.3, утилізація вторинних енергоресурсів забезпечує додатковий резерв енергії у кількості близько

Таблиця 3.3

Співвідношення потенціалу ВЕР по галузях промисловості

Галузь промисловості	Потенціал використовування, млн т у.п./рік
Металургія	52
Хімічна	15
Нафтопереробна	21
Газова	15
Целюлозно-паперова	5,5
Машинобудівна	2,5
Виробництво будівельних матеріалів	1,75
Харчова	2,0

115 млн т у.п., що становить половину енергоносіїв, які імпортуються до України.

Відтак, глобальним завданням оптимізації розвитку ПЕК є створення комплексної взаємодії енерговиробних та енергоспоживних галузей країни з метою заощадити якомога більше ПЕР і водночас досягати світового рівня якості продукції, що випускається.

3.4. Структура і тенденції розвитку ПЕК та енергоспоживання

Таким чином, паливно-енергетичний комплекс являє собою єдину систему енергопостачання країни й охоплює сукупність процесів виробництва, перетворення, транспортування і розподілу паливно-енергетичних ресурсів. Головною метою функціонування ПЕК є ефективне та надійне задоволення всіх потреб народного господарства держави в енергії (електричній і тепловій) необхідної якості, а також у формі тих чи тих енергоносіїв і робочого тіла.

ПЕК складається з двох економічно самостійних галузей: електроенергетики і паливної промисловості. Електроенерге-

тика або енергетична промисловість охоплює сукупність процесів виробництва, транспортування і розподілу електричної й теплової енергії, що їх реалізують: атомні електростанції (АЕС); теплові електростанції на органічному паливі (ТЕС, ТЕЦ); гідравлічні (ГЕС) та гідроакумулювальні (ГАЕС) електростанції, лінії електропередач, електричні й теплові мережі, котельні та утилізаційні установки.

Окрім перелічених ТЕЦ, ТЕС, ГЕС, АЕС та інших потужних джерел теплової й електричної енергії існує також значне число малих систем теплоелектрогенерування, які розосереджені по містах, населених пунктах і різних галузях промисловості. Це – районні опалювальні й опалювально-виробничі котельні, заводські ТЕС, ТЕЦ і котельні, промислові печі, автономні теплоцентралі, призначені для обслуговування декількох будівель, індивідуальних споруд, котеджів, приватних будинків тощо.

Усі ці енергогенерувальні джерела мають ознаки окремої (єдиної) галузі зі своєю продукцією у вигляді теплової й електричної енергії, зі своїми потребами в паливі, устаткуванні, матеріалах, інвестиціях, зі своїм внеском у загострення екологічної обстановки. Цей своєрідний паливно-енергетичний комплекс звичайно називають малою енергетикою. Його можна розширити за рахунок нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії: установок і споруд, що використовують сонячну енергію, енергію вітру, геотермальну енергію, енергію Світового океану, біомаси, низькопотенційну енергію та ін.

Традиційна мала енергетика є найбільш паливоємною галуззю ПЕК України. Так, до кінця XX ст. самі лише об'єкти комунальної енергетики щороку використали понад 65 млн т умовного палива (т.у.п.), виробивши близько 250 ПДж теплової енергії (для порівняння: у той самий час усі теплові електростанції України на рік виробляли приблизно 325 ПДж теплової енергії, витратили десь 80 млн т у. п. з 300 т, що їх кожного року споживають у нашій державі).

Важливим складником ПЕК є паливна і паливопереробна галузі, які охоплюють сукупність процесів з видобутку природних видів палива і їх переробки (сортування та збагачення).

Для енергетики України найбільшою проблемою є забезпечення паливом. Якщо у світовій економіці в структурі ресурсів органічного палива 67 % становить вугілля, 18% – нафта і 15 % – природний газ, то в Україні ці показники, відповідно, такі: 95,4 %; 2 % і 3%. Попри те, що розвідані запаси вугілля дорівнюють 117 млрд т (зокрема 40,1 млрд т балансового вугілля), міра його освоєння є досить незначною внаслідок дії кількох об'єктивних і суб'єктивних чинників. Щорічно Україна імпортує з Польщі та Росії кілька мільйонів тонн вугілля. Крім того енергетичне вугілля, яке видобувають у Донецькому басейні, містять 36-37 % золи, а це створює додаткові складнощі під час спалювання його в пилевугільних котлах і негативно впливає на природне довкілля.

Аби відродити вугільну промисловість за рахунок спорудження нових шахт і упровадження нових прогресивних технологій видобутку та збагачення вугілля, необхідно інвестувати в галузь декілька мільярдів доларів США. Тільки за цієї умови можна говорити про економічну безпеку країни і про зниження рівня соціальних проблем у вугледобувних регіонах.

Щороку Україна потребує 80-100 млрд м^3 природного газу, з них тільки близько 25 % видобувають у нас, а решту імпортують з Росії й Туркменії. Водночас, балансові запаси природного газу в Україні, за оцінками, становлять 1 500 млрд м^3, а прогнозовані запаси – 2 652 млрд м^3. Основні запаси природного газу має східна частина України (82 %), перспективними для розвідування і розробки є шельфи Чорного та Азовського морів. 1990 р. в паливному балансі теплових електростанцій природний газ дорівняв 47,4 % (39,6 млн т у. п.); у наступні роки його споживання істотно знизилося як за своїм абсолютним значенням, так і за часткою в паливному балансі. Приміром, 1995 р. споживання природного газу становило 16,5 млн т у. п., а його частка в балансі – 23,1 %.

Поклади вугілля в Донецькому басейні містять велику кількість шахтного метану (близько 2-3 трлн м^3), однак наразі його використання є для електроенергетики проблематичним, оскільки технології видобутку цього газу й досі залишаються на стадії розробки. Виконувані в Україні роботи з газифікації вугілля, добутого з українських родовищ, мають призвести до спорудження великої промислової установки, позаяк це дасть

змогу вирішити питання про економічну доцільність використання одержуваного газу в електроенергетиці.

Слід припустити, що внаслідок збільшення частки світлих нафтопродуктів, що з'являються під час переробки нафти, міра одержання мазуту і його використання в електроенергетиці неухильно зменьшуватиметься.

В Україні розвідано запаси урану і цирконію, які уможливлюють створення власного ядерно-паливного циклу. Запаси природного урану в Україні можуть забезпечити країну енергією на 100–200 років за умови застосування наявної технології. Це створює вельми перспективні умови для видобутку урану та його збагачення з використанням нових технологій і, крім того, для виробництва цирконієвого сплаву і прокату, що дають змогу виготовляти тепловидільні зборки.

Як свідчать наукові студії, винайдення новітньої технології видобутку і збагачення уранової руди потребує витрат у розмірі близько 200 млн дол.

Тенденції розвитку енергоспоживання. Розгляньмо порушене питання на прикладі зіставлення загального обсягу первинних джерел енергії (ЗОПДЖЕ) України, Великобританії та Фінляндії (рис.3.4, 3.5), пов'язаного із загальним обсягом первинної енергії, що в цих країнах споживають промисловість, транспорт і комунально-побутовий сектор, а також з галуззю генерації електроенергії.

До кінця XX ст. ЗОПДЖЕ України становив 106,5 Мт н.е. порівняно з 219,3 Мт н.е. Великобританії та 30,8 Мт н.е. Фінляндії (рис.3.5). які розподілилися таким чином (табл.3.4).

Таблиця 3.4.

Сумарні джерела первинної енергії.

Держава	Розподіл ПЕР, %					
	Тверде паливо	Нафта	Газ	Ядерне пальне	Інші види	Усього (Мт н.е.)
Україна	32%	16%	41%	11%	0%	106,5
Великобританія	23%	34%	32%	10%	1%	219,3
Фінляндія	36%	27%	10%	18%	9%	30,8

*Мт н.е – мегатон (10^6) т нафтового еквівалента (1 т н. е. = 41,86 ГДж)

Відтак, бачимо певну схожість у показниках енерговикористання в Україні й Великобританії. Існують загальні пропорції у споживанні атомних та інших джерел енергії. Використання твердого палива, особливо вугілля, зростає в Україні і перебуває на тому ж самому рівні, що й у Великобританії перед реструктуризацією видобувної промисловості. Менша кількість споживаної нафти в Україні, зумовлена передовсім меншим числом автотранспортних засобів, істотно зростатиме у міру економічного прогресу. Споживання природного газу у Великобританії збільшилося для виробництва електроенергії у зв'язку з меншим використанням вугілля.

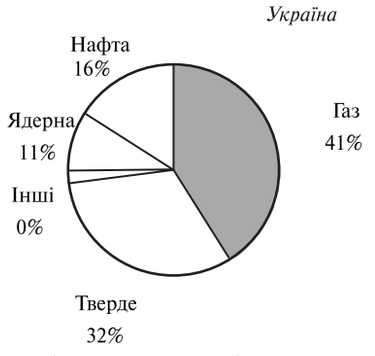
Структура ЗОПДЖЕ Фінляндії відмінна від розглянутих ЗОПДЖЕ України та Великобританії. Фінська система одержання енергії є універсальнішою, оскільки заснована на різноманітних джерелах енергії. Досить сказати, що коли "тверде паливо" для України та Великобританії – це здебільшого вугілля, то для Фінляндії до 36% твердого палива включено: вугілля – 11%, деревне паливо (разом із залишками переробки лісу, деревний спирт, дрова) – 19%, торф – 6%, в інші види енергоресурсів входять: 4% – гідроресурси, 3% – імпорт електричної енергії та біоенергія.

Порівняно з іншими країнами у Фінляндії останніми десятиліттями істотно зменшилася міра використання нафти, експорт якої неабияк залежить від економічних і політичних криз. На фінський ринок енергоресурсів прийшли нові джерела енергії, такі як ядерна енергія, природний газ і торф, разом із застосуванням – поки що в невеликих масштабах – відновлюваних джерел енергії (щонайперше, гідро- та біоенергії).

Розгляньмо (на прикладі України і Великобританії), яким чином ЗОПДЖЕ розподіляється за сумарного кінцевого споживання енергії (СКСЕ). СКСЕ враховує споживання енергії основними секторами попиту (рис. 3.4): промисловістю, транспортом, побутом і сферою послуг (суспільні й житлові будівлі, комунально-побутові послуги тощо).

Майже половина СКСЕ України припадає на промисловість, що характеризується переважанням енергоємних галузей. Цим

а) СУМАРНІ ДЖЕРЕЛА ПЕРВИННОЇ ЕНЕРГІЇ 1995 р.



Усього 106,5 Мт н. е (IEA 1996 Дослідження енергетичної політики України)

б) СУМАРНЕ КІНЦЕВЕ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ (1995 р.)

Усього 106,5 Мт н. е (IEA 1996)

Усього 219.3 Мт н. е (Дайджест енергетичної статистики Великобританії, 1996)

Рис.3.4. а) Сумарні джерела первинної енергії; б) Сумарне кінцеве споживання енергії

пояснюються величезні витрати енергії здебільшого в металургійній промисловості. Натомість у Великобританії частка металургії в загальному промисловому споживанні становить близько 22%. Найбільш разюча відмінність спостерігається

Загальне споживання енергії 30,8 млн т нафт. екв.

Рис.3.5. Сумарні джерела енергії

в транспортному секторі, вона пов'язана з різною кількістю автомобілів і залізничного транспорту в цих двох країнах.

Таким чином, за умови якісної і, до певної міри, кількісної схожості сумарних джерел первинної енергії маємо величезну розбіжність у кінцевому її споживанні. Якщо у Великобританії промисловість і побут та сфера послуг споживають 66% СКСЕ, то в Україні – 92%. Усе це енергетичне навантаження припадає на промислові регіони і передусім на великі промислові міста. Саме техногенне навантаження та пов'язані з ним екологічні аспекти енергопостачання й енергоспоживання багато в чому визначають екологію великих міст і промислових регіонів.

Для формування структури енергопостачання і енергоспоживання суттєво важить характеристика споживачів енергії та енергоспоживаючих процесів. Споживачами енергії є житлові

будівлі, підприємства й установи комунально-побутового обслуговування, господарства і підприємства громадського харчування, зв'язку, заклади освіти, охорони здоров'я, культури, мистецтва, спорту, адміністративно-господарські, навчальні, наукові тощо.

Споживання енергії в комунально-побутовому секторі залежно від цільового призначення розподіляється на такі групи: теплові процеси (високотемпературні, середньо- й низькотемпературні); силові процеси; освітлення і використання енергії для культурно-побутових потреб. Це, а також усталені напрями розвитку енергетики (концентрація, централізація, централізована теплофікація), визначили і сформували дві функціонально самостійні системи енергопостачання – електропостачання і теплопостачання. Властива енергетиці тенденція до високої концентрації та централізації потребує високого рівня організації електропостачання як галузі господарства та створює об'єктивні умови для раціонального розвитку всього енергетичного господарства міст. Формування єдиного енергетичного господарства на базі міських комунальних і районних електростанцій було підґрунтям для централізованого теплопостачання міст. Провідним напрямом стала теплофікація (комбіноване виробництво теплової та електричної енергії), разом з якою широко розвивається централізація теплопостачання на базі котелень та інших опалювальних установок різного типу.

Головними пріоритетами в розвитку енергетики й енергопостачання на тривалу перспективу залишаються енергозбереження та охорона довкілля.

3.5. Енергетика і довкілля — системний підхід

Деякі загальні положення. Стосовно розвитку енергетики можна виокремити два основні принципи: перший — пошук у довкіллі ресурсів, конче потрібних для забезпечення енергоспоживання, другий – паралельне дослідження

можливості повнішого використання природних ресурсів (раціоналізація процесів і технології видобутку, збагачення, переробки і спалювання палива, вдосконалення енергетичних установок тощо). Зі зростанням одиничних потужностей блоків електричних станцій та енергетичних систем, питомих і сумарних рівнів енергоспоживання виникає завдання обмежити викидання забруднювальних речовин у повітряний і водний басейни, а також повною мірою користуватися їхньою здатністю до розсіювання.

Ще значніші об'єми енергоспоживання, що чекають на нас у недалекому майбутньому, зумовлюють подальше інтенсивне зростання різноманітних впливів на всі компоненти довкілля у глобальному масштабі. Нові сторони проблеми взаємодії енергетики і довкілля пов'язані з розвитком ядерної енергетики, а також з розширенням практичних заходів щодо запобігання негативним діям на довкілля як в енергетиці, так і у всіх інших галузях народного господарства. При цьому центр ваги проблем охорони довкілля переноситься на енергетику, що, природно, спричинює зміну техніко-економічних показників енергопостачання.

Таким чином, на сучасному етапі та в перспективі проблема взаємодії енергетики і довкілля є вельми багатобічною: вона заторкує всі аспекти життєдіяльності людини, всього природного і рослинного світу, включаючи ландшафт, надра, повітряний і водний басейни, продукти харчування.

У зв'язку з цим особливого значення набуває розгляд взаємодії енергетики і довкілля на підставі системно-структурного аналізу, що дає змогу розкрити розмаїті внутрішні зв'язки. Власне цьому присвячено студію [52]. Початок класичному розгляду проблеми взаємодії людини і довкілля поклав академік В.І. Вернадський. Підґрунтям для кількісних оцінок різних взаємодій є дані про розвиток енергетики і про елементарні процеси впливу різних типів енергетичних установок на всі компоненти довкілля. Зупинімося лише на деяких загальних положеннях [52].

Загальна характеристика енергетики як паливно-енергетичного комплексу. Ми вже завважували, що енергетика та ПЕК, покликаний реалізувати її призначення, включають у себе одержання, переробку, перетворення, транспортування, зберігання і використання енергоресурсів та енергоносіїв усіх видів. ПЕК має

щільні зовнішні та внутрішні зв'язки, визначені виробництвом і застосуванням енергії (у промисловості, сільському господарстві, будівництві, комунальному господарстві, на транспорті).

Можна виокремити чотири основні стадії транспортування первинних енергетичних ресурсів (від природного стану, що перебуває у динамічній рівновазі з довкіллям, до кінцевого споживача): видобування або пряме використання первинних природних ресурсів енергії; переробка (облагороджування) первинних ресурсів, доведення їх до стану, придатного для перетворення або споживання; перетворення зв'язаної енергії перероблених ресурсів в електричну енергію на теплових, атомних і гідравлічних електростанціях, у теплову – в котельнях і теплоелектроцентралях; використання енергії.

Попри єдність цих стадій, кожна з них заснована на різних фізичних, фізико-хімічних і технологічних процесах, що розрізняються за масштабами, часом, функціонуванням та іншими ознаками. Такі складні багатоланкові структури з розвиненими зовнішніми і внутрішніми зв'язками мають розглядатися як великі (складні) системи, адже математичні методи їхнього аналізу характеризуються системним підходом. При цьому визначальним фактом є поділ великої системи на підсистеми, наявність між ними розвинених зв'язків; єдність завдань і наявність самостійних цілей у кожної підсистеми; підлеглість часткових цілей загальній меті; можливість альтернатив. Скористаймося класифікацією, наведеною авторами[52].

На рис.3.6 представлена схема великої системи під назвою "енергетика", яка наочно ілюструє різноманітність властивих їй підприємств, процесів і розгалуженість їхніх взаємозв'язків. Як бачимо, тут є всі системні ознаки і структурні компоненти, що дають змогу пов'язати складні взаємозв'язки енергетики в єдиному механізмі дій, сформувати завдання управління системою, розкрити роль усіх підсистем. При цьому велика система "енергетика" може розглядатися в двох аспектах: як економічна система і як технічна система кібернетичного кшталту.

У першому випадку математично точний опис системи є неможливим, одначе враховано активну роль людини у всіх її зв'язках, а також вплив соціальних методів і засобів управління

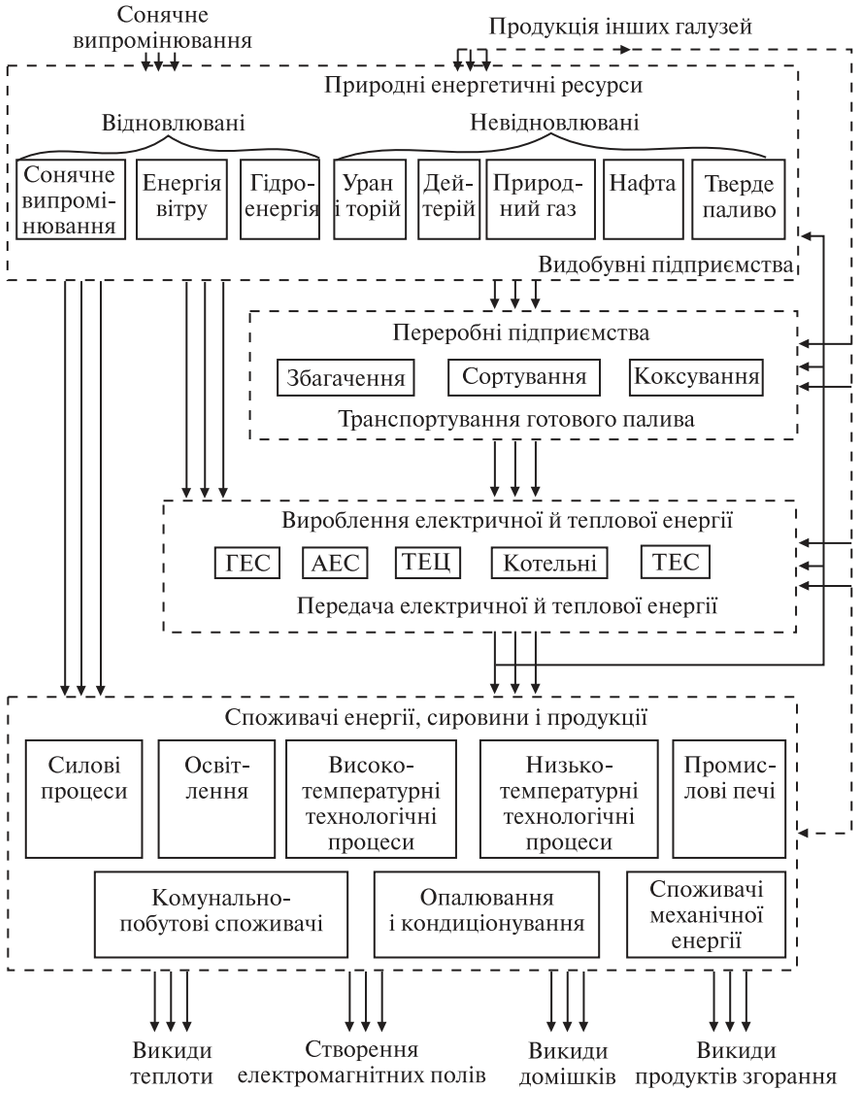


Рис.3.6. Схема основних зв'язків у великій системі "енергетика"

великими системами. У другому – людина є тільки контролером подій, що відбуваються, всі зв'язки компонентів енергетично матеріалізовані, процеси безперервні, що зумовлює їхній строгий математичний опис. У великій системі "енергетика" треба зважити на обидва аспекти, надто ж з метою прогнозування її розвитку. Обираючи моделі реальних систем, використовують математичний і синтетичний методи. Перший заснований на наближенні моделі до дійсності через наближення її компонентів, другий — на синтезі оптимальних моделей.

Як бачимо на рис.3.6, разом з оптимізацією внутрішніх зв'язків під час розгляду взаємодії енергетики з довкіллям виявляють себе інші чільні показники її функціонування, а саме зовнішні зв'язки – вплив довкілля на ресурси, їх споживання, переробка і викиди; множинами і підмножинами системного аналізу виступають сукупності енергетичних блоків, електростанцій, енергосистем тощо.

Велика система "довкілля". Розвиток енергетики впливає на різні складники природного середовища: на атмосферу (споживання кисню, викиди газів, пари і твердих частинок), на гідросферу (споживання води, гідростоків, створення нових водосховищ, скидання забруднених і нагрітих вод, природних відходів) і на літосферу (споживання викопного палива, зміна водного балансу, зміна ландшафту, викиди на поверхню і в надра твердих, рідких і газоподібних токсичних речовин).

Різноманіття структур, властивостей і явищ, що існує як одне ціле з розвиненими внутрішніми і зовнішніми зв'язками, дає змогу характеризувати довкілля як велику складну систему. Структурна схема основних зв'язків, наявних у цій системі, зображена на рис. 3.7.

Головними в ній є чинники, що мають безпосередній стосунок до енергетики, а саме: енергетичний баланс, стійкість системи, зовнішні зв'язки, ресурси, що забезпечують задоволення енергетичних потреб; усі ці чинники підпорядковані загальної мети – забезпечити природну рівновагу функціонування енергетики. Якщо говорити загалом, то стійкість великої системи "довкілля" визначають радіаційний, тепловий, матеріальний та енергетичний баланси її компонентів.

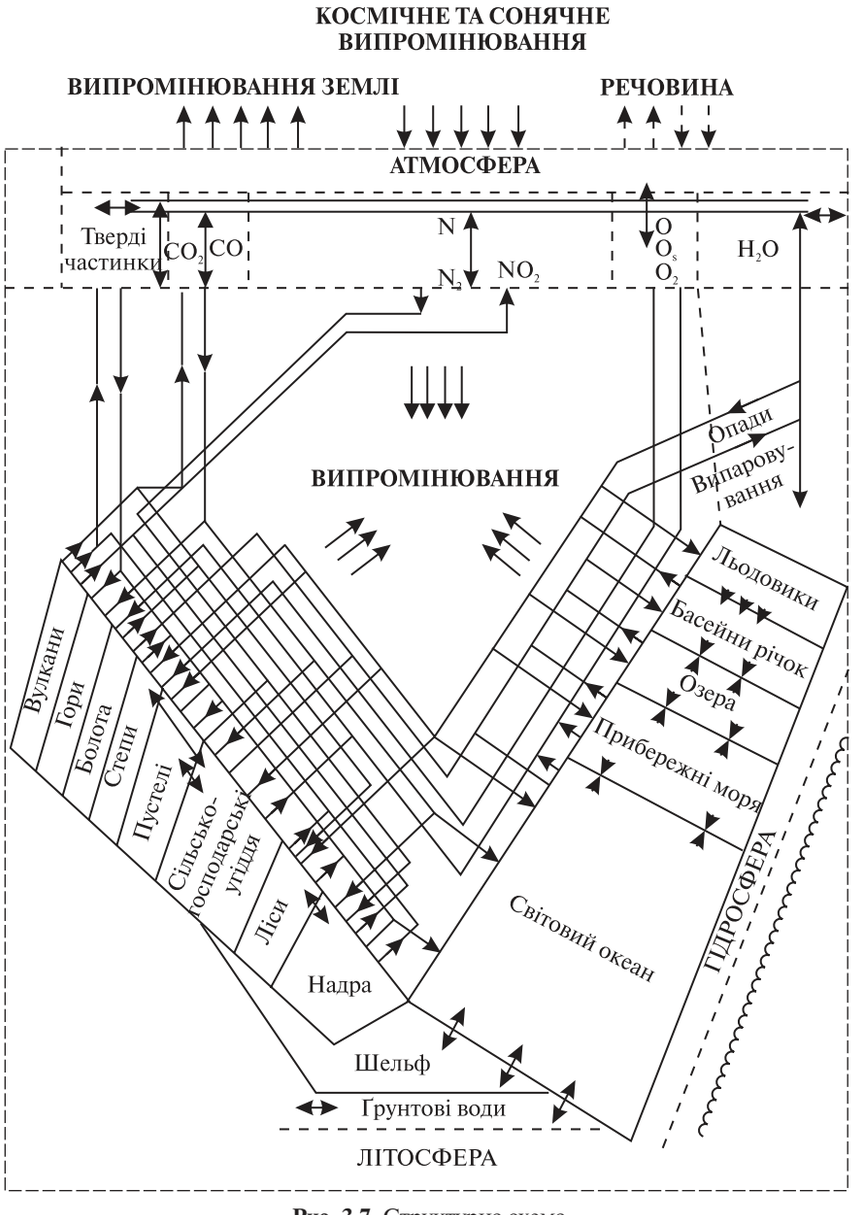


Рис. 3.7. Структурна схема основних зв'язків у великій системі "довкілля"

Окреслення великої системи "Енергетика і довкілля". Очевидно, що завдання розвитку енергетики і збереження природного рівноважного функціонування природного середовища об'єктивно суперечать одне одному. Взаємодія енергетики з довкіллям відбувається на всіх щаблях ієрархії паливно-енергетичного комплексу: видобутку, переробки, транспортування, перетворення та використання енергії. Ця взаємодія обумовлена як способами видобутку, переробки і транспортування ресурсів, пов'язаними з їхнім впливом на структуру і ландшафт літосфери, зі споживанням і забрудненням вод, морів, річок, озер, зміною балансу ґрунтових вод, з викиданням теплоти, твердих, рідких і газоподібних речовин у всі середовища, так і з застосуванням електричної й теплової енергії від загальних мереж і автономних джерел. Сучасний етап проблеми взаємодії енергетики з довкіллям слід розглядати як наслідок складного історичного розвитку двох великих систем, що навзаєм впливають одна на одну. При цьому маємо принципові незбіжності в їх розвитку: докорінні зміни у природному середовищі відбуваються в геологічній шкалі часу, а змінення масштабів розвитку енергетики — в історично короткі часові проміжки.

Розглянуті раніше уявлення про великі системи енергетики і довкілля, а також про зв'язок між ними, становлять передумови для введення в аналіз нової великої системи —"енергетика і довкілля".

Аналізуючи систему "довкілля", ми розглядаємо цілий розвій природних взаємозв'язків, що зумовлюють кругообіг речовин і підтримку певних кліматичних умов, а у великій системі "енергетика" — різні шляхи використання енергетичних ресурсів. Під час аналізу системи "енергетика і довкілля" конче потрібно враховувати все різноманіття процесів у синтезованій великій системі. Неодмінним етапом є конструювання (виявлення та опис) зв'язків основних підсистем, що становлять велику систему, структурна схема якої наведена на рис.3.8. [52]

Із цією метою можна розглядати системи енергетики і довкілля як укрупнені блоки (див. рис.3.8). Чільні зв'язки у великій системі "енергетика і довкілля" побудовані таким чином, аби зберегти правомірність висновку про обов'язкову й неминучу

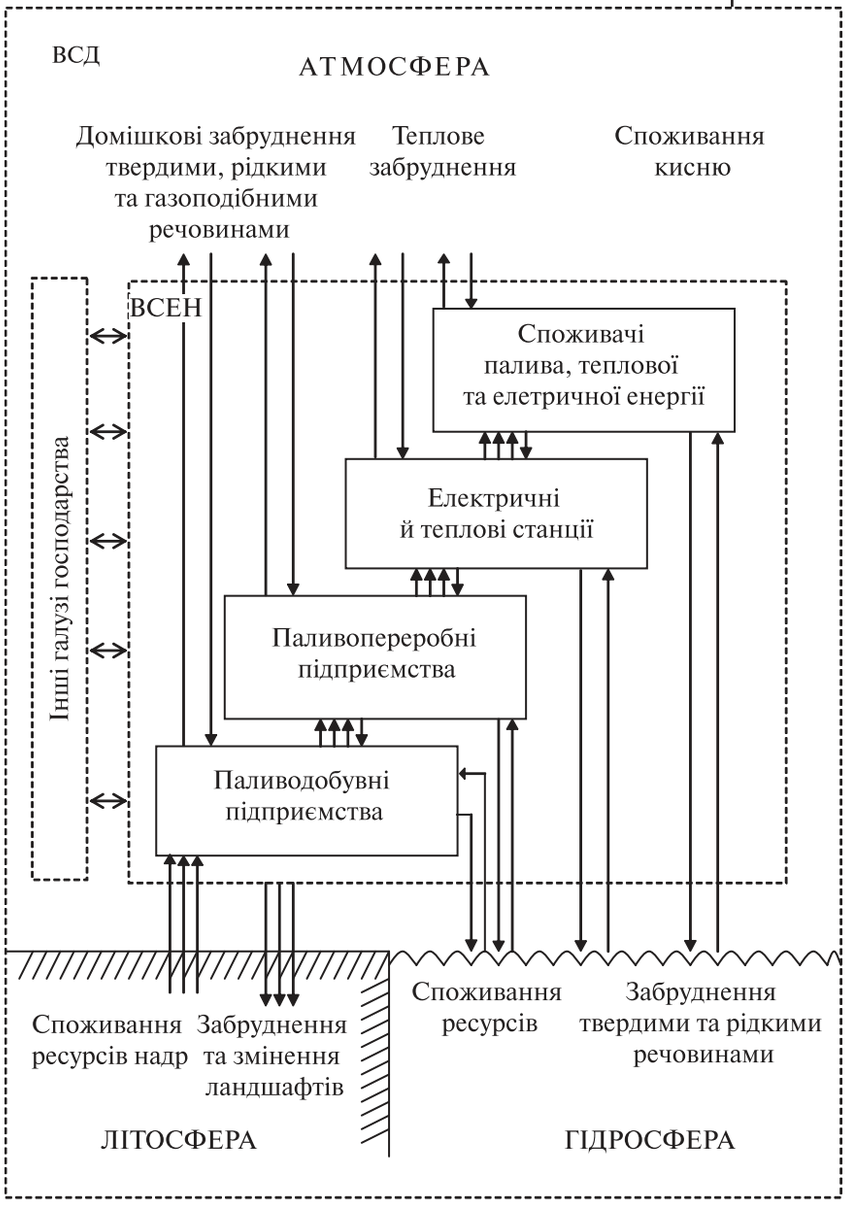


Рис. 3.8. Структурна схема

підлеглість штучних (антропогенних) зв'язків у великій системі природним процесам.

Для проведення всебічного аналізу великої системи "енергетика і довкілля" необхідно обрати математичну модель і стратегію. Наприклад, під час визначення гранично- припустимого навантаження на атмосферу можна послуговуватися технологічним підходом (уведення норм викидів для всіх підприємств, що їх тільки проектують, уже будують або й експлуатують), управлінням якістю або економічним підходом. Для вивчення таких великих багатоланкових систем можливе застосування різних математичних моделей: балансових, циркуляційних, оптимізаційних та імітаційних.

Основні чинники, що формують систему взаємодії енергетики і довкілля, дають змогу намітити схему її аналізу. Маємо такі найважливіші елементи методології дослідження щодо взаємодії конкретного об'єкта з довкіллям: виявлення і вивчення екологічних аспектів; складання питомих і сумарних балансів споживання всіх природних речовин (початкових і перероблених); визначення можливих дій, наслідків цих дій, а також потенційних шляхів їх зменшення або запобігання їм.

Отже, потрібен ретельний аналіз комплексу питань, пов'язаних зі станом і розвитком усього ПЕК і його окремих складових частин (ресурсів, джерел і споживачів), їхньої взаємодії та впливу на довкілля. Причому, на сучасному етапі розвитку енергетики важливо з'ясувати локальні (місцеві) впливи на окремі складники гідро-, літо- й атмосфери. У міру дедалі повнішого освоєння невідновлюваних джерел енергії (традиційної енергетики) вимоги щодо запобігання дії на гідро, літо- й атмосферу або її зменшення стають чимраз наполегливішими. Тепер уже не досить розглядати самі лише локальні дії (наслідки).

Концентрація виробництва і споживання енергії, викликана передовсім урбанізацією, яка є характерною межею нинішнього етапу науково-технічного прогресу, потребує розгляду вказаних ефектів на локальному і регіональному рівнях. Особливої уваги заслуговують екологічні аспекти енергетики і вся сукупність суб'єктів та об'єктів енергозбереження й енергоспоживання.

3.6. Комплексний вплив енергетики на економіку

Для оптимізації розвитку ПЕК навзагал та окремих його ланок розробляють і використовують різні математичні моделі. Вони дають змогу вирішувати основні завдання на стадії передпланових досліджень розвитку ПЕК відповідно до наявного інформаційного і програмно-обчислювального забезпечення.

Моделювання будь-якої техніко-економічної системи, зосібна й ПЕК, припускає можливість апроксимації цієї системи у вигляді сукупності залежностей і обмежень, що приблизно характеризують реальні умови її роботи. Найпростішими і найбільш поширеними в інформаційному й обчислювальному плані є моделі лінійного програмування. Моделі такого кшталту найчастіше використовують для побудови системи оптимізаційних моделей ПЕК.

В енергетиці за основний критерій економічного порівняння варіантів визнано мінімум наведених витрат. Проте зміни умов функціонування ПЕК, розширення та ускладнення завдань оптимізації його розвитку постійно висувають усе нові проблеми методології техніко-економічних розрахунків. Серед них практично важливим є питання про модифікацію економічного критерію в динамічних моделях оптимізації ПЕК.

Зважив ши на неабияку складність програмного змісту моделей комплексного впливу енергетики на економіку, розгляньмо бодай схематично деякі з існуючих моделей і їхнє значення [9].

3.6.1. Структурні властивості виробничих зв'язків ПЕК

Для зручності опису й аналізу структурних властивостей виробничих зв'язків ПЕК (або будь-якої капіталоємності галузей) доцільно:

- виокремити виробничі зв'язки щодо споживання предметів праці (позначмо їх через $X^{е}$)і засобів праці ($X^{ф}$);

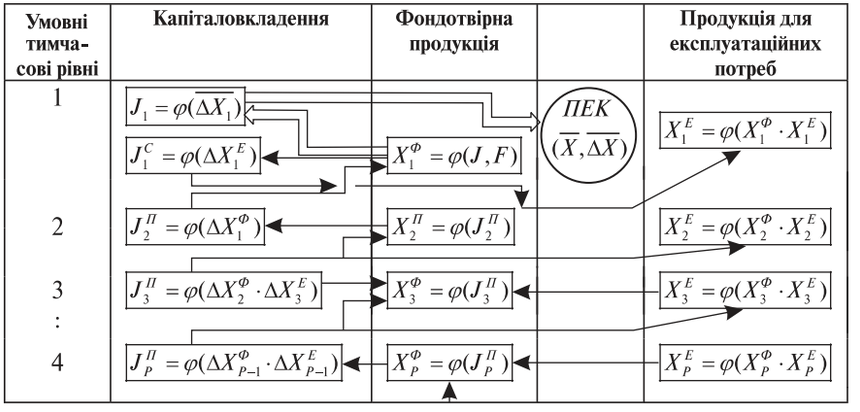
- представити капіталовкладення на розвиток ПЕК і пов'язаних з ним галузей у вигляді трьох компонентів: прямі капіталовкладення (J), непрямі систематичні (J^c) і непрямі періодичні (J^n); при цьому систематичні непрямі капіталовкладення пов'язані зі збільшенням оборотних фондів ПЕК, а періодичні – з необхідністю нарощувати виробничі потужності в галузях, що забезпечують ПЕК основними фондами;
- здійснити зворотне "розгортання" в часі заходів у супровідних галузях, які мають передувати тим чи тим змінам у розвитку ПЕК;
- згрупувати галузі за рівнями їхнього сполучення так, аби на кожному рівні продукція вироблялася приблизно в однаковий час. Тоді виробничі зв'язки матимуть вигляд багаторівневої структури, в якій фондотвірні зв'язки діють як вертикальні й характеризують необхідну завчасність у розвитку сполучених галузей, а експлуатаційні зв'язки – як горизонтальні. Схематично це представлено в табл. 3.5.

Як показує таблиця, горизонтальні зв'язки можуть об'єднувати велику кількість галузей і самі мають доволі складну структуру. Відносно ПЕК усі зв'язки між сполученими галузями є непрямими, до прямих належать зв'язки з тими галузями і виробництвами, продукція яких безпосередньо використовується ділянками ПЕК для капітального будівництва й експлуатаційних потреб. Багато видів промислової продукції можуть фігурувати відразу на кількох рівнях сполучення, наприклад, будівельні матеріали і механізми, прокат тощо.

Структура зовнішніх зв'язків ПЕК показує, що прямі й непрямі систематичні капіталовкладення залежать від приросту виробництва (потужностей) в ПЕК, а періодичні капіталовкладення і обсяги виробництва продукції на першому і подальших часових рівнях сполучення залежать від прирощування і приростів відповідно першого й вищих порядків. Коли на якомунебудь рівні сполучення немає приросту виробництва ($\Delta X^p = 0$), то зникають непрямі капіталовкладення та обриваються всі непрямі зв'язки ПЕК, починаючи з наступного рівня $J^p_{(p+1)} = 0$, $X_{(p+1)} = 1$. При цьому неважко з'ясувати, що кількість рівнів

Таблиця 3.5

Структура зовнішніх виробничих зв'язків ПЕК



Позначення:
⇦ прямі зв'язки;
← непрямі зв'язки;
$X_р^Ф$, $X_р^E$ – вектор виробництва продукції для будівництва й експлуатації на часовому рівні P;
$\Delta X_р^Ф$, $\Delta X_р^E$ – необхідний приріст виробничих потужностей;
$J_р$, $J_р^П$, $J_р^C$ – капіталовкладення прямі, періодичні й систематичні.

сполучення, розмір непрямих капіталовкладень, масштаби введення потужностей і виробництва продукції у сполучених галузях зрештою є функцією темпів розвитку ПЕК. За умови зниження темпів, коли абсолютні значення щорічного приросту потужностей в ПЕК не збільшуються, непрямі періодичні капіталовкладення відсутні, оскільки в цьому випадку раніше зв'язані підприємства, що виробляли енергетичне устаткування, можуть задовольнити потреби ПЕК, не розширюючи випуску своєї продукції. Якщо ж передбачено збільшення темпів розвитку ПЕК, то необхідно завчасно впровадити додаткові потужності в галузях першого кола сполучення. Виникає потреба у відповідних непрямих (періодичних) капіталовкладеннях, для забезпечення яких інколи потрібно прискорити розвиток цілої низки інших галузей і виробництв. Чим вищими є плановані темпи, тим за інших рівних умов ширшим буде коло зв'язаних галузей і тим вагомішими – непрямі матеріаль-

ні й грошові витрати на їхній розвиток. Аналогічно реагують на зміни темпів розвитку ПЕК непрямі потреби в трудових і природних ресурсах.

Темпи розвитку – не єдиний чинник, що визначає структуру, складність і силу прояву зовнішніх виробничих зв'язків ПЕК. Навіть за стабільних темпів роль непрямих зв'язків і витрат може зрости, якщо збільшаться питомі капіталовкладення в нові джерела енергії, частка фондомісткої продукції в матеріально-речовинній структурі капіталовкладень, потужності, потрібні для компенсації падіння рівня видобутку на діючих родовищах, а це досить характерно для України. Звідси питання про складність зовнішніх виробничих зв'язків капіталоємної галузі або комплексу, про кількість рівнів сполучення, про значущість і структуру непрямих витрат, про способи їхнього обліку не можуть мати простої й однозначної відповіді, а відтак, необхідно зважати на характер і конкретні умови розвитку цієї галузі. Загалом, для адекватного опису зовнішніх зв'язків потрібна досить-таки складна модель.

3.6.2. Структура моделі зовнішніх виробничих зв'язків ПЕК

Первісною інформацією для моделі слугують обсяги і способи виробництва окремих видів енергетичної продукції, а також нові потужності в паливній промисловості, задані певними періодами (роками, п'ятирічками, семирічками тощо). За допомогою інтерполяції ця інформація перетворюється на щорічні показники. Якщо треба, за допомогою коефіцієнтів, заданих користувачем, модель спроможна дезагреґувати певну енергетичну стратегію або оцінити потребу в нових енергетичних потужностях для транспорту і перетворення окремих енергоресурсів. Модель зовнішніх зв'язків ПЕК, що складається з п'яти модулів, була запропонована в Росії [9].

У *першому модулі* оцінюють прямі витрати різних видів продукції і послуг на експлуатацію та будівництво ПЕК. Тут енергетика може бути представлена великою кількістю джерел енергії

та технологій, включно з нафтою, вугіллям, синтетичним паливом, воднем, ТЕС, АЕС, ГЕС, сонячними й геотермальними ЕС, транспортом і розподілом енергії.

Другий модуль, послуговуючись технікою міжгалузевого балансу, описує виробничі зв'язки між енергетикою і галузями виробництва, які особливо чутливі до змін у розвитку ПЕК. Наприклад, відома модель ІМПАКТ включає близько 30 неенергетичних галузей і виробництв.

Третій модуль визначає необхідне збільшення виробничих потужностей у неенергетичних галузях. При цьому зростає очікуваний наступного року обсяг виробництва, максимальний рівень створення і вибуття (амортизації) основних фондів.

У *четвертому модулі* поціновують прямі й непрямі капіталовкладення.

П'ятий модуль слугує для оцінювання прямих та непрямих потреб у трудових і природних ресурсах, а також для того, щоб чітко окреслити пов'язане з кожною енергетичною стратегією забруднення атмосфери.

Стосовно кожного заданого варіанту розвитку ПЕК модель оцінює прямі й непрямі капіталовкладення, виробництво окремих видів промислової продукції, доконечно потрібних в експлуатації та будівництві (як у ПЕК, так і в пов'язаних з ним галузях), прямі й непрямі витрати лімітованих ресурсів, забруднення довкілля. Для кожного року даного періоду ці показники встановлюють в інтервалі їхніх можливих мінімальних і максимальних значень. Максимальні значення показники мають у випадку, коли весь необхідний приріст продукції в неенергетичних галузях забезпечується упровадженням нових виробничих потужностей. Мінімальне необхідне виробництво продукції в суміжних галузях і мінімальні витрати лімітованих ресурсів визначаються додатково згідно з припущенням, що потреби ПЕК і сполучених з ним галузей у промисловій продукції задовольняються без уведення нових потужностей. Виняток становлять тільки деякі підприємства першого кола сполучення, продукція яких здебільшого споживається в ПЕК, – енергомашинобудування, виробництво гірничо-шахтного і бурового устаткування, труб великого діаметру тощо.

Практика розрахунків показала, що найточніше модель відповідає на такі запитання:

- Коли і які прямі капіталовкладення необхідні для здійснення цих варіантів розвитку енергетики?
- Які витрати окремих видів промислової продукції, праці, природних ресурсів можуть знадобитися для експлуатації й будівництва енергоустановок? Коли це трапиться?

Названа модель дає приблизні відповіді на інші запитання, як-от:

- Які виробничі потужності і коли їх потрібно було б упровадити в неенергетичні галузі, щоб забезпечити заданий розвиток ПЕК?
- З якими капіталовкладеннями й витратами матеріальних, трудових і природних ресурсів пов'язаний розвиток сполучених з ПЕК галузей? Коли потрібні ці ресурси?
- Як відрізняються варіанти розвитку ПЕК щодо цілковитих витрат лімітованих народногосподарських і природних ресурсів?

Поєднавши цю модель з іншими економічними моделями, можна дістати відповідь і на такі запитання:

- Які вимоги енергетики до економіки можуть виявитися потенційно "вузьким місцем"?
- Чи можна реалізувати цей варіант розвитку ПЕК? Якщо ні, що потрібне для його реалізації?
- Яка економічна ефективність порівнюваних варіантів?

3.6.3. Зарубіжні енергетичні моделі: якісний огляд

Падіння економічної активності в розвинених країнах, яке сталося слідом за початком економічної кризи, переконливо довело, що енергетика відіграє особливо важливу і потенційно критичну роль в економіці. Зростання світових цін на нафту було сприйняте як початок дорожчання енергії й уповільнення її споживання. Це викликало численні дослідження над залежністю енергоспоживання від цін і спонукало появу досить складних моделей для прогнозування попиту на енергію.

Під час енергетичного моделювання було зроблено наголос на переході від ізольованих моделей окремих секторів енергетики до моделей, що розглядають теплоенергетику, електроенергетику, нафтову, газову і вугільну промисловість як єдину систему енергопостачання. Ураховували також можливий вплив на економіку з боку тієї або тієї політики у сфері енергетики.

Серед моделей загальноенергетичної системи США найхарактернішими є статична модель БЕСОМ і її динамічна модифікація ДЕСОМ, розроблені у Брукхевенській національній лабораторії. Ці моделі визначають комбінацію енергетичних ресурсів і технологій, яка з мінімальними грошовими витратами забезпечить певну потребу в кінцевій енергії. На відміну від таких моделей, низка більш аґреґованих моделей, наприклад ЕТА, розглядає необхідність енергії як функцію цін, що їх визначають у ході вирішення завдань оптимального енергозбереження. У Японії було створено систему моделей для окреслення раціональної структури енергетики з урахуванням її взаємозв'язків з економікою. Вона включає восьмисекторну модель економічного зростання, модель потреб у кінцевій енергії й оптимізаційну модель енергопостачання, де особливе місце посідає ядерна енергетика.

Регіональний розріз взаємозв'язків енергетики й економіки розглянуто в дослідженнях Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (ІСА) з проблем переходу до нових джерел енергії (Австрія). Система моделей ІСА включає модель енергетичних стратегій (МЕСАДЖ), макроекономічну модель (МАКРО), модель потреб в енергії (МЕДІ) і модель економічних наслідків (ІМПАКТ).

МЕСАДЖ – це динамічна лінійно-програмна модель, що зіставляє наявні й нові технології виробництва, перетворення і розподілу енергетичних ресурсів. За фіксованих запасів первинних енергоресурсів і термінів можливого початку використання нових джерел енергії вона сприяє оптимальному задоволенню заданої потреби в твердому, рідкому, газоподібному паливі й електроенергії відповідно до критерію мінімуму дисконтованих грошових витрат.

МАКРО – односекторна економічна модель, яка за допомогою системи рівнянь описує динаміку валового національного продукту.

МЕДІ – імітаційна модель, котра включає ті компоненти і параметри економіки, які, з одного боку, можуть істотно змінюватися в довгостроковій перспективі, а з другого – неабияк позначатися на загальній потребі в енергії. Ця модель дає змогу оцінювати вплив на енергопостачання таких чинників, як структура і темпи промислового виробництва, спосіб життя населення, політика економії енергії в окремих секторах тощо.

Представлений якісний огляд енергетичних зарубіжних моделей створює можливість виокремити такі тенденції в аналізі взаємозв'язку енергетики та економіки:

- посилення уваги до оцінки залежності потреб у паливі й енергії від їхніх цін;
- розширення кола аналізованих зовнішніх зв'язків ПЕК і прагнення зважити на комплексний вплив стратегій розвитку енергетики на економіку;
- перехід від використання окремих економічних енергетичних моделей до їхнього синтезу.

3.6.4. Вплив зростання капіталоємності ПЕК на макроекономічні показники та економічні наслідки браку енергії

Розгляньмо вплив зростання капіталоємності ПЕК на прикладі розвитку американської енергетики за 40 років (1980–2020 рр.) [9]. За програмою ІСА цей період характеризується відносно високими середньорічними темпами енергоспоживання (2%) і випереджальним зростанням капіталовкладень у ПЕК (4%). Капіталовкладення і матеріальні витрати, що відповідають цьому варіанту, було визначено за допомогою моделі ІМПАКТ, а цією інформацією послуговувалися в моделі ІНПЕРЛІНК для оцінки макроекономічних показників.

Модель ІНПЕРЛІНК є динамічною сімнадцятисекторною моделлю економіки, що максимізує невиробниче споживання

з урахуванням обмежень на трудові ресурси і виробничі потужності. Зі значенням цих показників порівнювалися результати інших розрахунків, що проводяться на ІНПЕРЛІНК для умов швидшого зростання капіталоємності енергетичного виробництва.

Було розглянуто три варіанти з поступовим збільшенням до кінця прогнозованого періоду капіталоємності продукції ПЕК в 1,4, в 1,9 і в 2,7 раза порівняно з початковим. Результати оцінок відображені в наведених таблицях.

Таблиця 3.6

Вплив на макроекономічні показники збільшення капіталоємності ПЕК США (1990-2015 рр.)

	Капіталовкладення в ПЕК	Фонд накопичення	Фонд споживання	Валовий продукт
Початковий варіант, млрд дол.	810	4 240	16 600	20 840
Відхилення від Початкового варіанту, млрд дол.				
у 1,9 раза	+565	+625	-1 025	-400
у 2,7 раза	+1 223	+1 100	-2 250	-1 150

З табл. 3.6 видно, що збільшення капіталоємності ПЕК (за практично незмінних обсягів виробництва кінцевої енергії) супроводжується зростанням фонду нагромадження. Так, при зростанні капіталоємності ПЕК у 1,9 раза фонд нагромадження виявився на 10% вищим, аніж приріст прямих капіталовкладень, а власне це й відображає потребу в зв'язаних вкладеннях. Проте за умов істотного збільшення капіталоємності (у 2,7 раза) необхідний приріст фонду нагромадження виявляється трохи меншим від додаткових капіталовкладень у ПЕК. На перший погляд здається, що тут відсутні зв'язані вкладення, але картина стає яснішою під час аналізу змін як у розподілі капіталовкладень між галузями, так і в структурі основних фондів (табл. 3.7.).

Як свідчать дані з табл. 3.7., вкладення в галузі, що забезпечують розвиток ПЕК (металургію, машинобудування, будінду-

стрію), істотно зросли порівняно з початковим варіантом. У цих галузях відповідно збільшилися й основні фонди (на 29–39%). Утім, це зростання компенсувалося відносним зниженням виробництва і капіталовкладень у галузях, продукція яких значною мірою пов'язана з невиробничим споживанням (автомобільна і легка промисловість, транспорт та ін.). Як наслідок, обсяг додаткових капіталовкладень в економіку США в розглянутому випадку виявився дещо меншим від приросту вкладень в енергетику.

Таблиця 3.7.

Зміни капіталовкладень і основних фондів в окремих секторах економіки США під впливом зростання капіталоємності енергетики (у % відносно вихідної позиції, для варіанта зростання в 2,7 раза)

Показник	Капіталовкладення		Основні фонди
	1990	2010	2020
Чорна металургія	+19	+24	+29
Кольорова металургія	+14	+40	+34
Будівельні матеріали	+17	+17	+39
Хімія	-1	+22	-21
Машинобудування	+28	+4	+34
Транспортне машинобудування	-49	-6	-5
Легка промисловість	-5	-6	-1
Харчова промисловість	+4	+23	+29
Сільське господарство	-3	+11	-27
Будівництво і ремонт	+16	+18	+38
Транспорт	-3	-23	-24
Сфера обслуговування	+18	-55	-7

Фонд нагромадження збільшувався за рахунок зниження невиробничого споживання. За умови збільшення капіталоємності ПЕК до кінця періоду в 1,9 і 2,7 раза фонд споживання (включно з державними витратами) скоротився відповідно на 6,2 і 13,6% порівняно до початкового варіанту. У розглядуваному інтервалі змін капіталоємності енергетики на кожен мільярд доларів,

що їх додатково виділяють на розвиток ПЕК (за незмінного загального обсягу виробництва енергетичних ресурсів), невиробниче споживання знижується на 1,8-2,0 млрд дол. При цьому вплив зростання капіталовкладень у ПЕК на фонд споживання є різним в окремі роки. Такий вплив буває максимальним на початку періоду, коли дається взнаки брак часу для розвитку необхідних виробничих потужностей у неенергетичних галузях, і мінімальним – у його кінці.

Через нестачу трудових ресурсів падіння фонду споживання в цих розрахунках виявилося вагомішим, аніж збільшення фонду нагромадження. Відтак, зростання капіталоємності енергетики супроводжується зниженням валового національного продукту на 0,7-1,0 млрд дол. на кожен мільярд, що додатково потрібен на розвиток ПЕК.

Проте слід зазначити, що негативний вплив зростання капіталоємності енергетики на макроекономічні показники можна неабияк послабити, дотримуючись правильної політики щодо економії енергії, а цю обставину не враховували під час аналізу моделі.

3.6.5. Вплив зростання цін на енергію на економіку загалом

Подорожчання палива й енергії – найважливіший стимул їхньої економії, але будь-який перехід на енергоощадні технології потребує додаткових капіталовкладень і матеріальних витрат. Зростання вартості продукції ПЕК сприяє інфляційним процесам, впливає на розмір і структуру невиробничого споживання. Сукупний вплив дорожчання енергії на макроекономічні показники ледве піддається кількісній оцінці. Наприклад, розрахунки за допомогою двох модельних комплексів [ПАЕС і Вартон, ПАЕС і моделі Гадсона-Юргенсона] показали, що посилення інфляції можливе на 0,6% (щодо першого комплексу) і на 1,1% (відносно другого комплексу) на рік. Ще разючишою є відмінність в оцінці впливу, який чинить підвищення вартості нафти на темпи зростання економіки: згідно з першою системою моделей ці темпи трохи

збільшуються (з 3,6 до 3,7%), а згідно з другою – знижуються (з 3,7 до 3,2%) [9].

Цікавим є аналіз, виконаний Брукгевенською національною лабораторією для кількох варіантів розвитку енергетики США на період до 2020 р. Дослідження проводилися за допомогою двох моделей: динамічної оптимізаційної моделі енергоощадної системи країни (ДЕСОМ) і вдосконаленої макроекономічної моделі Гадсона-Юргенсона. При цьому з макромоделі надійшла інформація про потреби в енергії, а з ДЕСОМ – про розвиток окремих секторів енергетики і про ціни на енергоресурси.

З огляду на задану від самого початку потребу в енергії розглядалося декілька сценаріїв розвитку ПЕК: без обмежень на розвиток окремих джерел енергії (вихідний варіант); за відмови від будівництва нових АЕС; за відмови від розвитку АЕС з одночасним обмеженням на видобуток вугілля та одержання рідкого палива з бітумних сланців.

У ході погоджування моделей коригувалися потреби в енергії, її вартість і макроекономічні показники.

Аналіз результатів розрахунку показав, що мораторій на розвиток АЕС осилює тенденції зростання вартості споживаної енергії: вона виявилася вищою, ніж у початковому варіанті, стосовно другого варіанта в 1,5 раза і стосовно третього – у 1,9 раза. Це й собі вплинуло на динаміку цін також в інших секторах економіки. Так, у третьому варіанті в 1990–2000 рр. за умови збільшення середньорічних темпів зростання цін на енергію на 1,3% (відносно початкового варіанта) вартість продукції щорічно збільшувалася (у % за рік): промисловість – 0,16; транспорт – 0,17; сільське господарство – 0,11 тощо.

Особливістю використовуваної в цих розрахунках макроекономічної моделі є припущення щодо можливості взаємозамінювати енергію, капітал, працю та інші виробничі чинники, а також – представлення коефіцієнтів міжгалузевих зв'язків як функції відносних цін на споживані ресурси. Ця особливість дала змогу врахувати, хоча і досить приблизно, вплив підвищення цін на розвиток окремих секторів, на потребу в енергії, на макроекономічні показники. Відзначмо, що в США за 1990-2000 рр. скоротилося виробництво продукції та послуг

у третьому варіанті: у промисловості – на 1,5%, транспорті – на 3,3%, у сільському господарстві – на 1,3%.

Економічні наслідки браку енергії. Розглянуті приклади передбачали, що збільшення капіталоємності або зростання цін на енергію є наперед відомими і, відтак, маємо час підготуватися до цих змін, а саме розвинути альтернативні джерела енергії або енергоощадні технології, змінити виробничу структуру тощо. У цих умовах негативні наслідки для підприємств народного господарства є мінімальними.

Ситуація погіршується, коли економіка не готова до таких змін у розвитку енергетики. Помилки в оцінці запасів енергоресурсів, незбалансованість динаміки виробництва палива й енергії та зростання потреб у них, недостатні капіталовкладення в ПЕК (що характерне для України), непрогнозовані зміни на світовому енергетичному ринку – все це не тільки може спричинити додаткові неоптимальні витрати на термінову ліквідацію диспропорцій і труднощів, а й призвести до браку енергетичних ресурсів.

У цьому разі ціна, яку країні доведеться платити за відсутнє паливо, значно перевершуватиме витрати на розвиток "замикаючих" джерел енергії. Така ціна може вимірюватися відповідною втратою національного доходу. Так, енергетична криза в розвинених капіталістичних країнах у 1974-78 рр. зумовила недовироблення товарів і послуг на суму понад 700 млрд дол., що помітно знизило темпи зростання економіки, примножило армію безробітних та істотно підвищило вартість життя.

Комплексні дослідження можливих збитків від браку палива й енергії мають першорядне значення. Проте в цьому напрямі зроблено ще надто мало, хоча відомі спроби оцінити такі збитки в США за допомогою статичної міжгалузевої моделі, що максимізує сукупний національний продукт.

За умов дефіциту рідкого палива в 10%, відповідно до розрахунків, передовсім зменшилося його невиробниче споживання, яке й саме взагалі скоротилося до мінімально припустимого рівня. Натомість скорочення споживання рідкого палива у виробничій сфері на 4% спричинило падіння виробництва в хімічній промисловості, у сфері транспорту, сільському господарстві

тощо. При цьому результуючий вплив на валовий національний продукт виявився порівняно невеликим – 1%, але за збільшення дефіциту рідкого палива ще на 5% він спричинив значне падіння ВВП – аж на 9%.

Як ми вже були завважили, брак навіть 10% електроенергії позначається на розмірові ВВП посутніше, ніж такий самий дефіцит нафти. При цьому безробіття збільшується на 2%. Подальше падіння рівня забезпеченості електроенергією на 2% призводить до додаткового скорочення сукупного продукту на 3,5% і до обвального зростання рівня безробіття.

РОЗДІЛ 4

ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

4.1. Природні ресурси

Основою функціонування енергетики як паливно-енергетичного комплексу є забезпеченість ресурсами в конкретних умовах довкілля. Тому вже з початку XX ст. розвиток енергетики й енергопостачання розглядають як загальну систему використання природних ресурсів.

Природні ресурси

■

Викопне органічне паливо

■

Склад і характеристики органічного палива

■

Нетрадиційні і відновлювані енергоресурси

Природні ресурси – це запаси сировини та енергії, які видобувають з біосфери, наприклад, будівельні матеріали, метали, вода, викопне паливо, геотермальна енергія тощо. Іншими словами, природні ресурси – то засада людської цивілізації як форми контрольованого існування на всіх фазах її розвитку. Розвиток технології змінює напрям, масштаби і форми їхнього використання, визначає появу нових ресурсів.

Природні ресурси поділяються на дві категорії: відновлювані, які завдячують своїм походженням сонячній енергії (дощова вода, енергія вітру, продукти харчування, бавовна та вовна, деревина та ін.), і невідновлювані,

або мінеральні ресурси, а саме: органічне паливо (вугілля, нафта, торф), мідь, залізо, уран, золото та ін., формування яких відбувалося протягом мільйонів років. Друга категорія ресурсів чітко фіксована і практично не відновлюється. Саме мінеральні ресурси визначають шляхи розвитку людської цивілізації. Класифікація корисних копалин та енергетичних ресурсів подана на рис. 4.1.

Мінеральні ресурси розміщені вкрай нерівномірно, деякі з них (нафта, газ, уран тощо) є обмеженими, а тому неможливо зберегти стабільні темпи їх розробки й використання.

Як правило мінеральні ресурси поділяють на дві групи: до першої належать ресурси, що їх видобувають у поточний період часу та називають видобувними запасами, до другої – потенційні ресурси, котрі завдяки своїм розмірам і місцеположенню за відповідних умов можуть бути використані в майбутньому.

4.2. Викопне органічне паливо

Паливом називають горючу речовину, яку економічно доцільно спалювати для одержання великих кількостей теплоти. Упродовж XX ст. основним джерелом теплоти залишалися горючі речовини органічного походження – органічне викопне паливо, хоча посутньо зросли й обсяги використання ядерного палива (табл.4.1).

Таблиця 4.1.

Світові ресурси органічного палива

Викопне органічне паливо	**Кількість у надрах, 10^{22} Дж**	**Кількість, яку можна видобути, 10^{22}Дж**
Вугілля	42	21
Нафта і газ (рухомі)	2,6	2,6
Запечатана нафта (нерухома)	2,5	
Важка нафта (бітумінозні піски)	5,0	0,5 – 2,5
Нетрадиційний природний газ	10	0,07
Горючі сланці	10 200	1,0

Рис. 4.1. Класифікація ресурсів корисних копалин та енергії.
Курсивом показано енергетичні ресурси, що не є корисними копалинами

Величезний енергетичний ресурс, що його становлять усі види органічного палива, підрозділяють на три основні категорії:

- потенційні запаси викопного палива, які на сучасному етапі розвитку науки і техніки неможливо або економічно недоцільно добувати;
- доступні, які можливо, але економічно не завжди доцільно добувати;
- економічні, видобуток яких економічно виправданий і доцільний на сучасному рівні розвитку науки і техніки.

Найбільший інтерес викликають нафта і газ, запаси яких обмежені. Водночас саме їх видобуток і переробка найбільш економічно вигідні й доцільні з погляду використання робочої сили та охорони довкілля.

Залежно від характеру використання паливо буває: енергетичним, технологічним і побутовим; за аґреґатним станом – твердим, рідким і газоподібним; за способом одержання – природним і штучним.

Основними видами органічного палива, яке використовують в енергетиці, є: тверде (вугілля і торф); рідке (мазут); газоподібне (природний газ). Торф і вугілля – продукти розкладу органічної маси рослин, які відрізняються один від одного хімічним віком (торф – наймолодший). Щонайдавніші родовища вугілля відомі в канадській арктиці (~350 млн років). Найважливіший період вуглеутворення в історії Землі припадає на останні 350–250 млн років. Вугленосні поклади в цей проміжок часу виявлено на всіх континентах, але найпотужніші – у Північній Америці, Європі й Азії, які протягом періоду вуглеутворення розташовувалися в екваторіальних і помірних широтах. Теплий клімат і достатня кількість опадів сприяли розвитку величезних масивів боліт і формуванню вугілля в цю знаменну вугільну епоху.

Геологи вважають, що вагомішу частину головних вугільних басейнів уже відкрито. Світові запаси всіх видів вугілля оцінено в 8 620 млрд т, а додаткові потенційні ресурси – в 6 650 млрд т. До видобувних запасів вугілля зараховують запаси, що містяться в шарах потужністю не менше 0,3 м завтовшки і залягають на глибині не більше 2 000 м. Запаси вугілля, що не відповідають

цим вимогам, належать до потенційних ресурсів. Приблизно 43% вугілля світу залягають у країнах СНД (колишнього СРСР), 29% — у Північній Америці, 14,5% — у країнах Азії, переважно в Китаї, 5,5% — у Європі. На решту світу припадає 8% вугілля. Хоча вугілля у всьому світі не є основним видом палива, але труднощі із забезпеченням нафтою і газом ведуть до того, що в найближчі десятиліття вугілля стане панівним паливом на планеті.

Таблиця 4.2.

Світові енергоресурси

	Джерело енергії	Ресурс, ЕДж*
1.	Невідновлювані:	
	ядерна енергія	$1{,}97\times10^{6}$
	хімічна енергія органічного палива	$5{,}21\times10^{5}$
2.	Невичерпні:	
	термоядерна енергія синтезу	$3{,}6\times10^{9}$
	геотермальна енергія	$2{,}9\times10^{6}$
3.	Відновлювані:	
	сонячна енергія, що досягає земної поверхні й перетворюється на теплову	$2{,}4\times10^{6}$
	енергія морських припливів	$2{,}5\times10^{5}$
	енергія вітру	$6{,}1\times10^{3}$
	енергія річок	$1{,}2\times10^{2}$
	біоенергія лісів	$1{,}5\times10^{3}$

* ЕДж–ексаджоуль (10^{18} Дж)

Викопне вугілля поділяють на три чільні види: буре, кам'яне і антрацит; буре вугілля за своїм хімічним віком є старшим від торфу, слідом за ним іде кам'яне вугілля, а потім –антрацит. Значна роль у забезпеченні ПЕК паливом належить нафті та природному газу. Дані щодо їх регіонального розподілу наведено на рис.4.2. Енергетичний еквівалент оцінених потенційних ресурсів (за даними всесвітньої енергетичної конференції) становить: нафти – $(1{,}5\cdot10^{22})$ Дж, газу – $(1{,}1\cdot10^{22})$ Дж. Як бачимо, ресурси нафти й газу, так само як і вугілля, розміщені на земній кулі досить нерівномірно. За умов збереження наявної швидкості зростання споживання всі ресурси нафти й газу можуть вичерпатися вже через кілька десятиліть.

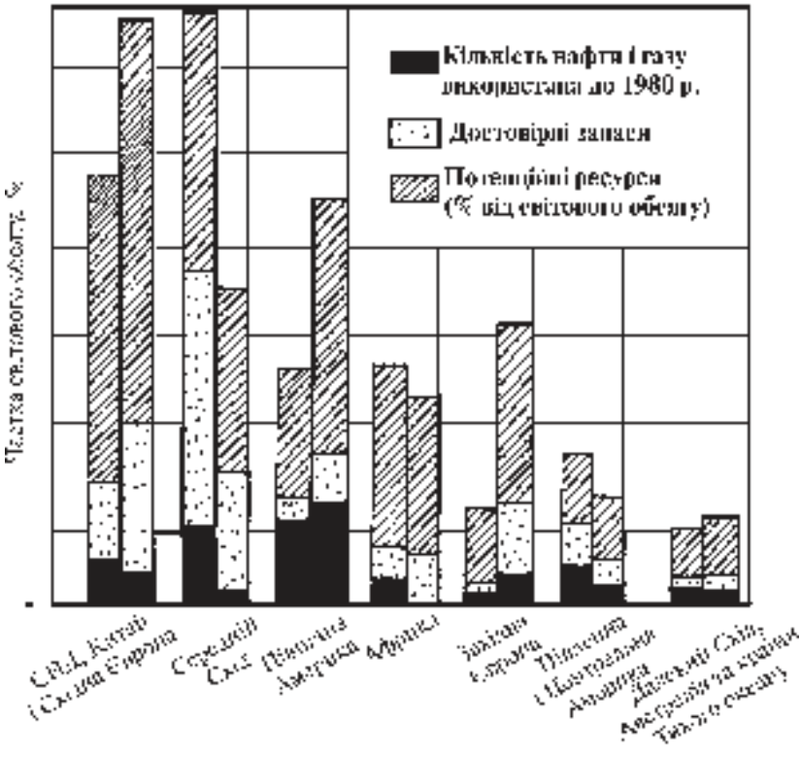


Рис.4.2. Потенційні ресурси нафти і газу

Людство цікавлять дві проблеми, безпосередньо пов'язані з теплоенергетикою: на який термін вистачить ПЕР і де межа забруднення атмосфери? Нині світове використання енергоресурсів протягом року дорівнює 17–25 млрд т у. п., енергоємність яких еквівалентна 450–500 ЕДж. Якщо виходити з цієї цифри і світових запасів енергоресурсів (табл.4.2.), то самого лише органічного палива людству вистачить на тисячу років.

Сучасна технологія дає змогу видобувати далеко не весь обсяг ПЕР. Не всі країни мають оптимальне співвідношення між рівнем видобутку ПЕР і їхнім використанням. Це змушує нас констатувати, що енергетична криза цілком реальна вже в XXI ст., оскільки сьогодні людство не знайшло шляхів її подолання.

Як видно з табл. 4.2., доволі перспективним здається використання альтернативних відновлюваних і невичерпних джерел ПЕР. Утім, сучасна енерготехнологія ще далека від масового їхнього застосування. Проте, людство досі не наблизилося до розв`язання проблем використання термоядерної енергії, загальні запаси якої є просто-таки фантастичними – $3{,}6\times10^9$ ЕДж (за нинішнього рівня енерговитрат їх вистачить на 10 млн років!).

Стосовно України, то її енергетика нині перебуває у важкому стані, попри те, що тільки розвідані запаси вугілля тут становлять ~ 47 млрд т. Одначе технологія видобутку вугілля не відповідає геологічним особливостям родовищ. Спостерігається значний дефіцит решти видів ПЕР, що наочно демонструють дані табл.4.3.

Таблиця 4.3.

Енергоресурси України: річний видобуток і потреба (кінець XX ст.)

Вид палива	Обсяг		Частка забезпечення власними ПЕР,%
	використання	виробництва	
Природний газ	112 млрд м^3	22 млрд м^3	20
Нафта	32 млн т	4,2 млн т	13
Вугілля	100 млн т	80 млн т	80
Ядерне пальне	Твели виробляє Росія	Уран видобуває Україна	0

4.3. Склад і характеристики органічного палива

Паливо, яке подають до енерготехнологічних установок для його подальшого спалювання, називається *робочим*. До його складу входять: вуглець C, водень H, сірка S, кисень O, азот N, а також волога W і мінеральні домішки A. Названі елементи утворюють складні хімічні сполуки.

Наявність кисню й азоту становить унутрішній баласт палива і знижує його енергетичну цінність. Уміст кисню в паливі коливається від 2% (антрацит) до 40% (деревина),

в мазуті — менше 1%. Вміст азоту в твердому й рідкому паливі є не більшим 1%. Волога і мінеральні домішки (зола) являють собою зовнішній баласт палива. Вміст золи в твердому паливі — 1 – 60% (5–60%) на робочу масу, в мазуті — 0,1–0,3%, вологи — 1–2%.

Власне горючими складниками в органічному паливі є вуглець, водень і сірка. Головна складова — вуглець: чим вище його вміст, тим більше теплоти виділяється під час згорання палива. Зі збільшенням віку палива вміст вуглецю зростає, водню – зменшується.

Під час спалювання горючих речовин відбувається окислення вуглецю киснем повітря. Якщо вуглець згорає повністю, то утворюється відносно нешкідливий діоксид вуглецю CO_2 і виділяється 32,8 МДж теплоти на 1 кг вуглецю. Якщо ж процес горіння організовано неправильно (наприклад, бракує повітря), продуктом згорання є надто токсичний оксид вуглецю CO і виділяється всього 9,2 МДж теплоти. Уміст вуглецю в твердому паливі – 25–93% на робочу масу, в мазуті – 83—88%.

Важливою горючою складовою палива є водень, вміст якого коливається у твердому паливі від 2 до 5%, у рідкому — від 10 до 15%. Кількість теплоти, що виділяється під час згорання (окислення) водню становить 120,8 МДж на 1 кг водню

Третій горючий елемент — сірка: органічна (у сполуках з воднем, вуглецем, азотом і киснем) — $S_{ор}$, колчеданна (у сполуках із залізом) —$S_{кол}$, сульфатна (у вигляді солей сірчаної кислоти $CaSO_4$, $MgSO_4$, $FeSO_4$ та ін.) —$S_с$.

Властивості твердого палива як горючого матеріалу визначаються його складовими в сухому беззольному стані (його позначають індексом daf: dry ask frek — умовний стан палива, що не містить загальної вологи і золи). Сюди входять елементи органічної маси палива і колчеданна сірка, що згорає разом з органічною масою. Таким чином, склад палива характеризується масовим вмістом елементів, які його утворюють, а саме: $C_{daf}+H_{daf}+O_{daf}+N_{daf}+S_{daf}$. Тут S_{daf}—сумарний вміст горючої сірки. Сірка органічна і колчеданна становлять горючу або летку сірку $S_л^{daf}=S_о^{daf}+S_{кол}^{daf}$. Сірка сульфатна не є горючою і входить до складу золи. Вміст горючої сірки: у твердому паливі від 0 до 9%, у мазуті від 0,5 до 4%. У процесі повного згорання 1 кг

сірки виділяється 9,2 МДж теплоти. При цьому утворюється токсичний сірчистий ангідрид SO_2 і (у невеликих кількостях) ще токсичніший сірчаний ангідрид SO_3. Їхні викиди з продуктами згорання забруднюють повітряний басейн, а в сполученні з водою (водяною парою) є причиною кислотних дощів через утворення відповідних кислот (H_2SO_3 та H_2SO_4).

Уміст азоту в сухому беззольном стані твердих палив зазвичай становить 1 – 2% від загальної маси. Попри малу кількість, азот є досить шкідливим компонентом, оскільки, згораючи у високотемпературних топках, азотовмісні сполуки утворюють сильнотоксичні паливні оксиди азоту NO та NO_2 (при температурі понад 1200^0C вони утворюються також з атмосферного азоту).

Зовнішнім баластом палива є вологість і зола. Вологість твердого палива в робочому стані може перевищувати 50%. Від неї залежить економічна доцільність використання цього паливного матеріалу і можливість його спалювання (наприклад, для перетворення одного кілограма води, узятої при температурі 0°C, на водяну пару кімнатної температури треба 2,5 МДж теплоти).

Мінеральні домішки, наявні в паливі, згораючи, перетворюються на золу та шлак. Відповідно до стандартних норм золу слід уловлювати, транспортувати у відвали або (що доцільніше) утилізувати й використовувати в народному господарстві.

Важливими характеристиками органічного палива є: вихід летких речовин (для твердого палива) і теплота згорання.

Таблиця 4.4

Основні характеристики українського твердого палива

Види палива	Вихід летких $V_л$,%	Уміст сірки SHP,%	Вологість $W_р$,%	Зольність $A_р$,%	Теплота згорання (МДж/кг) QHP
Торф	≥70	0,1...0,2	30...50	5...23	10,5...14,6
Буре вугілля	>40	0...8	30÷40	15...30	10,0...17,0
Кам'яне вугілля	9...50	0...8	5...10	18...30	24,0..29,0
Антрацити	2...9	0...8	5...10	<5	~26,0
Напівантрацити	5...9	0...8	<5	<5	28–30

* індекс *р* означає робочу масу

Вихід летких речовин, V^{daf} у відсотках до сухого беззольного стану визначають, нагрівши 1 кг палива в закритому тиглі при температурі 850±10^{0}С протягом 7 хв, унаслідок чого утворюються гази, водяна пара і вуглецевмісний осад. Чим більше вихід летких, тобто чим більше сухої беззольної маси перетворюється у процесі нагріванні на горючий газ, тим простіше запалити ці речовини і легше підтримати процес горіння. Органічна частина деревини і горючих сланців під час нагрівання майже цілком переходить у леткі речовини ($V_л^г$= 85 – 90%), тім часом як в антрацитах $V_л^г$=3–4%. (див. табл.4.5).

Теплота згорання — кількість теплоти, що виділяється у процесі повного згорання палива. Розрізняють вищу робочу $Q_в^р$ і нижчу робочу $Q_н^р$ теплоту згорання (теплотвірну здатність палива).

Вища теплота згорання $Q_в^р$ — це кількість теплоти, що виділяється під час згорання 1 кг твердого, рідкого або 1м^3 газоподібного палива у процесі перетворення водяної пари, що міститься в продуктах згорання, на рідину. Нижча теплота згорання $Q_н^р$ є меншою за вищу $Q_в^р$ на кількість теплоти, витраченої на перетворення вологи у продуктах згорания з рідини на водяну пару. Волога подекуди утворюється внаслідок згорання водню в паливі (9$H^р$).

Для порівняльних розрахунків різного палива використовують поняття “Умовне паливо”.

Умовне паливо – це паливо, теплота згорання якого визнана такою, що дорівнює 29,35 МДж/кг (7 000 ккал/кг). Щоб перевести реальну кількість палива в умовне, треба помножити кількість цього палива на його еквівалент $E = Q_н^р /29{,}35$.

Максимальна нижча теплота згорання твердого палива доходить до $Q_н^р$ = 28 МДж/кг, мінімальна становить 10 МДж/кг і нижче (залежно від баласту). Теплота згорання безводних мазутів $Q_н^р$ =39–41,5 МДж/кг. Оскільки елементний склад будь-якого рідкого палива, яке дістають нафтоперегоном, практично однаковий, то й їхня теплота згорання є майже однаковою.

Хімічний склад первородної нафти і газу практично не змінився і залишився в межах порівняно вузького ряду хімічних сумішей (табл.4.5).

Таблиця 4.5.

Хімічний склад нафти і природного газу

Елемент	Нафта, %	Природний газ, %
Вуглеводень	82,2-87,0	65-80
Водень	11,7-14,7	1-25
Сірка	0,1-5,5	Сліди–0,2
Азот	0,1-1,5	1-15
Кисень	0,1-4,5	—

Рідке паливо одержують, переробляючи нафту. Сиру нафту нагрівають до 300...370^{o}С, після чого отриману пару розділяють на фракції, що конденсуються за різної температури $t_к$: зріджений газ (вихід до 1%), бензинову (близько 15%, $t_к$ =30...180^{o}С), гасову (до 17%, $t_к$=120...135^{o}С), дизельну (близько 18%, $t_к$=180...350^{o}С). Рідкий залишок з температурою початку кипіння 330...350^{o}С називають мазутом. Зазначені фракції слугують вихідною сировиною для одержання мастильних матеріалів і палива для двигунів внутрішнього згорання і газотурбінних установок (бензину, гасу, дизельного палива тощо).

Дотепер мазут залишається основним рідким енергетичним паливом. Він становить складну суміш вуглеводнів, до складу яких входить вуглець ($C^р$= 84–88%) і водень ($H^р$=10 –12%). Це забезпечує високу теплоту згорання мазуту ($Q_н^р$=40...41 МДж/кг). Баласт мазуту невисокий $A^р$=0,2–0,3%; $W^р$=0,1–1%. До складу мінеральних домішок $A^р$ входять сполуки ванадію, нікелю, заліза та інших металів.

Одним з основних показників мазуту є в’язкість (обумовлює можливість його розпилення залежно від температури) і сірчистість (визначається вмістом сірки: малосірчисті (до 0,5%), середньосірчисті (до 2%) і високосірчисті (до 3,5%)). Мазут, одержуваний з нафти багатьох родовищ, може містити сірки до 4,3%, а це надто ускладнює захист довкілля та устаткування.

Чільним видом *газоподібного палива* є природний газ, основним компонентом якого (85–98%) постає метан CH_4. До складу природного газу також входять такі горючі складові: важкі вуглеводні C_nH_m, водень H_2, сірководень H_2S, монооксид вуглецю CO, баластні гази — CO_2, N_2, SO_2, вода H_2O, та кисень O_2.

Теплота згорання природного газу дорівнює 31,0...37,9 МДж/кг. Природний газ очищують від сірчистих сполук, але частина їх (переважно сірководень) може залишатися.

У процесі видобутку нафти виділяється так званий попутний газ, що містить менше метану, ніж природний, але більше вищих вуглеводнів і тому виділяє під час згорання більше теплоти. Нині досить актуальною є проблема його повного використання в енергетиці і промисловості.

У промисловості й особливо в побуті широко застосовують зріджений газ, одержаний в результаті первинної переробки нафти і попутних нафтових газів: технічний пропан (не менше 93% $C_4H_{18} + C_3H_6$), технічний бутан (не менше 93% $C_4H_{10} + C_4H_8$) та їхні суміші.

На металургійних заводах як попутні продукти одержують коксовий і доменний гази, які застосовують для опалення печей і технологічних апаратів. Іноді (після очищення від сірчистих сполук) коксовий газ використовують для побутового газопостачання прилеглих житлових масивів. Проте через великий вміст CO (5–10%) він значно токсичніший від природного газу. Надлишки доменних газів найчастіше спалюють у топках заводських електростанцій.

У районах вугільних шахт своєрідним "паливом" може слугувати метан, що виділяється з шахтних горизонтів під час їх вентиляції. Одначе при цьому слід мати на увазі, що концентрація метану в суміші з повітрям в діапазоні 5–15% є вибухонебезпечною.

Останніми роками в Україні знов відродився інтерес до газів, що утворюються внаслідок газифікації (генераторним шляхом) або через суху перегонку (у процесі нагрівання без доступу повітря) твердого палива, щонайперше, важкоприступного вугілля Донецького родовища.

У багатьох країнах світу все частіше застосовують біогаз – продукт анаеробної ферментації органічних відходів (гною, рослинних залишків, сміття, стічних вод тощо), зброжування яких дає змогу розв'язати надзвичайно гостру проблему забруднення довкілля рідкими відходами шляхом перетворення їх на біогаз і високоякісні добрива.

4.4. Нетрадиційні і відновлювані енергоресурси

Існуючі моделі розвитку суспільства позначають прямо пропорційну залежність між науково-технічним прогресом (символом економічного благополуччя й добробуту) і споживанням енергії на душу населення. У країнах Західної Європи воно становить понад 3 у.т вугілля на рік (близько 100 ГДж), у США і Канаді цей показник утричі вищій (~ 300 ГДж), але в більшості країн Африки він є в 30-40 разів нижчим. Зараз людство вступає в епоху нетрадиційної енергетики.

Проблема використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЖЕ) в різних галузях народного господарства починаючи з другої половини XX ст. привертає пильну увагу наукової громадськості багатьох країн світу. Такі потрясіння, як світова енергетична криза 1973 р. і Чорнобильська катастрофа 1986 р., примусили більшість країн переглянути свою енергетичну політику щодо темпів і перспектив практичного застосування НВДЖЕ. Якщо раніше світову спільноту хвилювало питання можливості надійно забезпечити себе енергією, то тепер головною проблемою стала інтеграція енергії та екології.

Інтерес до НВДЖЕ зумовлений двома негативними тенденціями розвитку традиційної енергетики: швидким виснаженням природних паливно-енергетичних ресурсів і забрудненням довкілля. За даними ООН, уже до середини XXI ст. можливе виснаження основних видів викопного палива – вугілля й урану (U^{238}). Перспективні технології традиційної енергетики, підвищуючи ефективність використання первинних ПЕР, аж ніяк не поліпшують екологічну ситуацію. Теплове, хімічне і радіоактивне забруднення довкілля може спричинити катастрофічні наслідки.

Одним з головних напрямків нетрадиційної енергетики є перетворення і використання енергії Сонця прямими та непрямими методами. Практично всі енергетичні ресурси Землі є, зрештою, продуктами діяльності Сонця. Прямі методи використання сонячної енергії ґрунтуються на перетворенні променистої енергії Сонця на електричну й теплову. Непрямі – дають

змогу застосовувати кінетичну і потенційну енергію, що виникає внаслідок сонячного випромінювання з біосфери.

До основних нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії належать: енергія Сонця, вітру, тепла Землі (наприклад, парогідротермічна), біомаси (органічні відходи господарської діяльності людини, енергетичні плантації), океанів і морів (наприклад, припливів і відпливів, температурного градієнта великих товщ води), гідроенергія (малих річок, гідроакумулювальних систем), а також вторинні енергетичні ресурси (теплові відходи промислових і сільськогосподарських підприємств).

Сумарний потенційний внесок усіх НВДЖЕ в світовий енергетичний баланс уже до кінця 2000 р. становив майже 10%. Об'єм використання їх окремих видів розподіляється таким чином (млн т у.п.): сонячна енергія (на гаряче водопостачання й опалювання) – 36; геотермальна енергія – 29; енергія вітру – 7; енергія біомаси – 7; інші види енергії – 7 (усього – 86 млн т у.п.).

Велика енергетична криза 70-х років і усвідомлення наслідків Чорнобильської катастрофи зробили свою справу: світове

Таблиця 4.6.

Виробництво теплової та електричної енергії в країнах ЄС на базі нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії

Тип НВДЖЕ	Виробництво енергії, млн т н.е.		Загальні капітальні витрати в 1997-2000 рр., млрд. дол..	Зниження викидів CO_2 до 2010 року, млн т/рік
	1995	2010		
Вітроенергетика	0,35	6,9	34,56	72,0
Гідроенергетика	26,4	30,55	17,16	48,0
Фотоелектрична енергетика	0,002	0,26	10,8	3,0
Біомаса	44,8	135	100,8	255,0
Геотермальна енергетика	2,5	5,2	6,0	5,0
Сонячні теплові колектори	0,26	4,0	28,8	19,0
Усього	74,3	182	198,12	402,0

Примітка. Теплота згорання 1 т нафтового еквівалента (1 т н. е.) – Qнр=41.86 ГДж.

Таблиця 4.7.

Ресурси відновлюваних джерел енергії України

Джерело енергії	Теоретичний потенціал	Використання на початку XXI ст.		Технічний потенціал		Рекомендований обсяг використання	
	МВт·г на рік	МВт·г на рік	т у.п.	МВт· г на рік	т у.п.	МВт·г на рік	т у.п.
Геліоресурси	720×10^9	81×10^3	10×10^3	$0,13\times10^9$	$0,16\times10^9$	$30\div40\times10^9$	$3,6\div4,8\times10^6$
Вітроенергетика	965×10^9	$0,8\times10^3$	$0,096\times10^3$	$0,36\times10^9$	$40\div70\times10^9$	$4,8\div8,4\times10^6$	$4,8\div8,4\times10^6$
Геотермальна енергетика	5128×10^9	$0,4\times10^3$	$0,049\times10^3$	14×10^9	$1,7\times10^9$	2800×10^6	230×10^6
Біоенергія с.-г. відходів	$12,5\times10^6$	$0,14\times10^3$	$0,002\times103$	$6,1\times10^6$	$0,73\times10^6$	$6,1\times10^6$	$0,73\times10^6$
Гідроенергетика зокрема:	$42,4\times10^6$	$10,2\times10^6$	$1,22\times10^6$	$21,5\times10^6$	$2,6\times10^6$	$21,5\times10^6$	$2,6\times10^6$
велика	$25,0\times10^6$	$9,7\times10^6$	$1,16\times10^6$	$15,1\times10^6$	$1,8\times10^6$	$15,1\times10^6$	$1,8\times10^6$
мала	$17,4\times10^6$	$0,5\times10^6$	$0,06\times10^6$	$6,4\times10^6$	$0,8\times10^6$	$6,4\times10^6$	$0,8\times10^6$

співтовариство шукає “нову енергію”, насамперед, у напрямі використання НВДЖЕ (табл.4.6). Так, виходячи з географічних, науково-економічних та екологічних чинників, Україні доцільно розглядати використання таких НВДЖЕ, як енергія Сонця, вітру, біомаси, малих річок, геотермальна енергія, ресурси яких подано в табл.4.7.

Використання відновлюваних джерел енергії створить можливість знизити споживання дефіцитних для України нафтопродуктів (загальний обсяг – приблизно 300 млн т у.п./рік) на 5–6%, зокрема за рахунок використання геліоресурсов – на 1,7%, вітроенергії - на 2,8%; геотермальної енергії – на 0,1%; біогазу – на 0,2%; гідроенергії річок – на 0,9% (окремо великих – 0,6%; малих – 0,3%).

РОЗДІЛ 5

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЦІ

Роль органічного палива й основи теорії горіння

▪

Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива

▪

Характеристика шкідливих речовин у продуктах згорання палива і їхній вплив на довкілля

▪

Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива

...Отрута, яка діє не відразу, не є менш небезпечною.

Р. Лессинґ

5.1. Роль органічного палива й основи теорії горіння

У всьому світі понад 80% теплової та електричної енергії одержують, спалюючи викопне органічне паливо і перетворюючи його хімічну енергію на електричну й теплову. Як наслідок, теплоенергії належить одне з перших місць у забрудненні довкілля, насамперед продуктами згорання палива. Близько 80% усіх видів забруднень біосфери зумовлено саме енергетичними процесами.

Як було показано в попередніх розділах, запаси паливно-енергетичних ресурсів планети до кінця XX ст. істотно зменшилися. У структурі викопного органічного палива питома вага нафти становить близько 45%, природного

газу – 18%, вугілля – 37%. Загальне уявлення про світове використання енергоресурсів за останні 100 років дають дані табл.5.1.

Таблиця 5.1.

Сумарне світове енергоспоживання

Показник	1900	1950	1975	1990	2000
Сумарне енергоспоживання, млрд т у. п.	0,95	2,86	8,6	17,0	25,0
Населення, млрд осіб	1,62	2,5	3,8	4,6	5,2
Питомі енерговитрати (т.у.п. на 1 особу на рік)	0,59	1,16	2,32	3,7	4,8

Нафта, природний газ і вугілля спалюють у таких кількостях, що газоподібні, рідкі і тверді продукти їх згорання повільно, але неухильно змінюють склад атмосфери, забруднюють гідросферу й літосферу. В атмосферу щорічно викидають десятки мільярдів тонн газоподібних і пароутворювальних сполук, твердих частинок, склад яких визначається видом і умовами спалювання органічного палива. Це безпосередньо є чинним і для енергетики України, варто лише врахувати бодай масштаби й умови спалювання органічного палива. Для цього достатньо проаналізувати загальні дані щодо споживання основних видів палива всім ПЕК України (табл.5.2).

Головне джерело забруднення середовища в теплоенергетиці – газоподібні продукти згорання органічного палива, що викидаються через димар.

Основою горіння постають реакції окиснення горючих речовин палива, в результаті яких вихідні речовини (паливо й окиснювач) перетворюються на компоненти (продукти згорання) з іншими фізичними і хімічними властивостями. Характерною ознакою горіння є процес, що швидко відбувається, супроводжується інтенсивним виділенням теплоти, різким підвищенням температури й утворенням розжарених продуктів з різним ступенем світності.

Розрізняють горіння палива без утрат теплоти (стехіометричне або повне), горіння з утратами теплоти (відновне або неповне) і змішане (окиснювально-відновне), характерне для

Таблиця 5.2

Споживання органічного палива в Україні станом на 1995 р.

Вид палива	Паливно-енергетичний комплекс	Мала енергетика	Усього
Природний газ, млрд $м^3$ (млн т.у.п.)	124 (142)	74 (85)	198 (229)
Нафта і нафтопродукти, млн т (млн т.у.п.)	41 (56)	25 (34)	66 (90)
Вугілля, млн т (млн т.у.п.)	128 (90)	77 (34)	206 (124)
Усього, млн т.у.п.	286	174	460

спалення твердого палива в процесі нерівномірної взаємодії поверхонь згорання з повітрям. Під час повного згорання всі горючі речовини палива беруть участь в окиснювальних процесах, при цьому утворюються тільки оксиди – CO_2, SO_2, H_2O.

Реальне згорання, як правило, є неповним. Розрізняють механічну і хімічну неповноту горіння. У першому випадку певна кількість палива не бере участь у процесі горіння. Хімічні втрати виникають у випадку хімічно неповного окиснення вуглецевмісних сполук та утворення оксиду вуглецю, а також у разі, коли частина горючих газоподібних речовин, одержаних у процесі випаровування і термічному розкладанні рідкого палива (CO, H_2, CH_4 та ін.), залишають зону горіння ще до завершення окиснювальних процесів.

Як окиснювач під час горіння переважно застосовують кисень атмосферного повітря, адже він є легкоприступним і зручним у використанні.

Процес горіння газоподібного палива умовно можна розділити на дві стадії: перша – утворення горючої суміші (суміші палива і повітря); друга – нагрівання, запалення і горіння горючої суміші. Складнішим є процес горіння рідкого палива. Початковою його стадією є нагрівання, розпилювання і випаровування пального. Потім утворені краплини й пара пального змішуються з повітрям, і горюча суміш нагрівається, запалюється та згорає.

Залежно від аґреґатного стану палива й окиснювача розрізняють *гомогенне* і *гетерогенне горіння*. Якщо паливо та окиснювач перебувають в однаковому аґреґатному стані й між ними немає поверхні поділу фаз, то вони утворюють гомогенну систему, в якій протікає процес гомогенного горіння. Прикладом постає горіння газоподібного палива. Якщо ж аґреґатний стан палива й окиснювача є різним, то вони утворюють гетерогенну систему, в якій відбувається процес горіння рідкого палива.

Якщо швидкість перебігу хімічної реакції між паливом і окиснювачем значно нижча за швидкість утворення горючої суміші, то підсумкова швидкість процесу горіння лімітується лише швидкістю хімічної реакції, тобто процесами хімічної кінетики. Таке горіння називають *кінетичним*. Якщо ж швидкість підведення окиснювача до палива менша за швидкість хімічної реакції окиснення, то сумарна швидкість горіння не залежить від швидкості реакції й лімітується тільки швидкістю процесу сумішоутворення, що його визначальним чинником є процеси дифузії кисню до палива. Таке горіння називають *дифузійним*.

5.2. Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива

Склад продуктів згорання і кількісні співвідношення в них окремих компонентів залежать від властивостей і складу палива, а також від міри завершеності реакції горіння.. У цьому можна переконатися на прикладі спалювання природного газу, що, як відомо, переважно складається із суми вуглеводнів C_nH_m. Окрім вуглеводнів C_nH_m у природному газі, що надходить зі свердловини, міститься певна кількість вологи (H_2O) і сірководню (H_2S). Природний газ перед подачею споживачеві очищують, видаляючи з нього вологу і сірководень.

Узагальнене рівняння згорання вуглеводню має такий вигляд:

$$C_nH_m+\alpha(n+\frac{m}{n})O_2+\alpha(n+\frac{m}{n})(\frac{100}{\varphi_{O_2}}-1)N_2=$$

$$=n\,CO_2+\frac{m}{2}H_2O+(\alpha-1)(n+\frac{m}{n})O_2+\alpha(n+\frac{m}{n})(\frac{100}{\varphi_{O_2}}-1)N_2\ , \qquad (5.1)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря; n, m – кількість атомів у молекулі певного вуглецю; φ_{O_2} – об'ємна частка кисню в окиснювачі, %.

Як видно з рівняння (5.1), в результаті згорання вуглеводнів (C_nH_m) на одну молекулу паливної компоненти утворюється *n* молекул вуглекислоти – CO_2 і *m*/2 молекул пари води (H_2O). Названі компоненти належать до так званих парникових газів, збільшення концентрації яких визначає зміну умови теплової рівноваги на поверхні Землі. Крім того, в місцях великої концентрації валових викидів водяної пари можуть дати взнаки негативні наслідки, пов'язані з локальною зміною мікроклімату.

Окрім продуктів повного згорання CO_2 і H_2O, азоту N_2 і надмірної кількості кисню O_2 у димових газах можуть міститися продукти неповного згорання у вигляді оксиду вуглецю CO, що його в побуті називають чадним газом, водню H_2 і незгорілих вуглеводнів ($C_xH_yO_z$). Одним з токсичних продуктів неповного згорання є формальдегід (CHOH). Він характеризується токсичністю, що в сотні разів більша за токсичність CO.

Серед безлічі реакцій, що відбуваються в зоні горіння, є і так звані проміжні реакції, внаслідок яких можуть утворюватися сажа (C) і надто токсичні ароматичні вуглеводні, основним представником яких є бенз(а)пірен ($C_{20}H_{12}$).

Сажисті частинки потрапляють у простір у вигляді аерозолів і зі збільшенням їхньої концентрації негативно діють на дихальні органи людини.

Ще більшої шкоди завдає довкіллю одночасний викид сажі та бенз(а)пірену. Це зумовлено тим, що, маючи високі адсорбційні властивості, частинки сажі концентрують на своїй поверхні бенз(а)пірен, сильнодіючий канцерогенний ефект якого спричинює ракові захворювання у населення промислових регіонів.

Серед проміжних реакцій у зоні горіння відбуваються також реакції дисоціації. Наприклад, дисоціація кисню

$$O_2 \rightarrow 2O, \qquad (5.2)$$

у результаті якої з однієї молекули утворюється два атоми кисню.

Атоми кисню О характеризуються підвищеною хімічною активністю і, зіткнувшись із, як правило, нейтральною молекулою азоту N_2 при високих температурах, сприяють реакції утворення так званого термічного оксиду азоту NO

$$N_2 + O \rightarrow NO + N. \qquad (5.3)$$

Унаслідок реакції (3.3) утвориться активний атом азоту N, який реаґує з киснем, утворюючи додатковий оксиду азоту і хімічно активний атомарний кисень

$$O_2 + N \rightarrow NO + O. \qquad (5.4)$$

Відтак, у продуктах згорання утворюється певна кількість оксидів азоту, концентрація яких залежить від багатьох чинників і, понад усе, від рівня температур у зоні горіння. Тому такі оксиди азоту називають термічними. Теорію термічних оксидів вперше розробив Я.Б. Зельдович.

У процесі спалювання в котельних установках рідкого (зазвичай мазуту) і твердого палива, достоту як і у випадку з природним газом, утворюються компоненти продуктів повного згорання CO_2 і H_2O, що є парниковими газами, а також оксиди сірки SO_2 і частково SO_3. Оксиди сірки також належать до парникових газів, але найбільша їхня екологічна небезпека полягає у високій токсичності та здатності утворювати кислотні дощі.

Природа утворення оксидів сірки під час спалювання рідкого і твердого палива різна.

Під час спалювання рідкого палива одним із джерел утворення SO_2 є сполуки, що містять органічну сірку, наприклад, метилмеркантан – CH_3S.

Крім того, до складу макромолекули рідкого і твердого палива входить тіофен (C_4H_4S), який також є джерелом утворення SO_2.

Якщо відомо елементарний склад палива, то з хімічного рівняння

$$S + O_2 = SO_2 \qquad (5.5)$$

бачимо, що у процесі спалювання 1 кг речовини утворюється $2S^p$ на 100 кг оксиду сірки (де S^p – уміст сірки в робочій масі палива, %).

До складу рідкого і твердого палива входить також азот палива N^p у формі сполук на зразок піролу C_4H_5N і піридину C_5H_5N. Ці сполуки можуть бути додатковим джерелом утворення так званих паливних оксидів азоту NO і NO_2.

Під час спалювання рідкого і твердого палива, порівняно з природним газом, додатково не лишень утворюються оксиди сірки і паливні оксиди азоту, а й виникають проблеми з утворенням золи. Це особливо актуально щодо спалювання високозольного твердого палива, зольність якого A^p може перевищувати 30%. Спалювання твердого палива породжує дві екологічні проблеми:

- викидання в атмосферу частинок золи у вигляді аерозолів;
- нагромадження великої кількості твердих відходів у вигляді золошлакових відвалів поблизу джерела спалювання твердого палива.

Наявність золошлакових відвалів спричиняє теплове забруднення атмосфери і літосфери, спотворює ландшафт і забруднює ґрунтові води. Потрапляння відповідної кількості незгорілих речовин (у вигляді механічного палива) продовжує окисні та інші реакції всередині відвального об'єму з утворенням "букета" токсичних газів, що забруднюють атмосферу.

Оксиди азоту NO_x і сірчистий ангідрид SO_2 є найпоширенішими токсичними сполуками, що викидаються в атмосферу під час спалювання органічного палива в котлах. Рівень викидів NO_x і SO_2 істотно залежить від виду і складу палива. Так, утворення сірчистого ангідриду SO_2 в димових газах залежить від сірчистості палива, а його валовий викид визначається співвідношенням

$$M_{SO_2} = 20BS^p(1 - \eta'_{SO_2})(1 - \eta''_{SO_2}), \qquad (5.6)$$

де B – витрата палива, кг/с; S^p – уміст сірки в робочій масі палива, %; η'_{SO_2} і η''_{SO_2} – частки оксидів сірки, що зв`язуються леткою золою і вловлюються у вологому золовловлювачі.

Числові значення η'_{SO_2} варіюються в межах 0,02–0,8, а значення η''_{SO_2} дорівнює 0,8–0,9.

Валовий викид оксидів азоту визначається співвідношенням

$$M_{NOx} = BQ_н^р k_{NOx}, \qquad (5.7)$$

де $Q_н^р$ – теплота згорання палива, МДж/кг; k_{NOx} – питомий викид оксидів азоту NO та NO_2 в перерахунку на NO_2, г/МДж.

Питомі викиди оксидів азоту для всіх азотовмісних палив складаються з паливних і повітряних питомих викидів оксидів азоту:

$$k_{NO_2} = k_{NO_2}^{тпл} + k_{NO_2}^{пов} \quad . \qquad (5.8)$$

Їхній показник варіюється в діапазоні 0,12 – 0,25 г/МДж.

Значення k_{NO_2} представлені в табл.5.3

Таблиця 5.3

Норми граничноприпустимих концентрацій оксидів азоту в димових газах для котлів на природному газі

Країна	Джерело викидів	Граничноприпустимі викиди			
		рівень NO_x	Умови визначення		ГПВ NO_x,якщо O_2=3% (α=1,17)
			O_2, %,об.	α	
Голландія	Котли ТЕС	200	3	1,17	200
Німеччина	Те саме	500	3	1,17	500
Японія	« »	120-200	5	1,31	130-200
США	Котли ТЕС	210	6	1,4	250
СНД	Котлоагрегати:				
(D >420 т/год)	1-й категорії	390	6	1,4	470
	вищої категорії	350	6	1,4	420

Виходячи з рівня питомого викиду, можна визначити концентрацію оксидів азоту (г/м^3) за допомогою співвідношення

$$NO_2 = k_{NO_2} Q_н^р / V^Г, \qquad (5.9)$$

де $V^Г$ – об'єм димових газів для коефіцієнта надлишку повітря α, м^3/кг.

Неабияка міра екологічного ризику під час спалювання органічного палива зумовлює потребу вживати заходів щодо охорони довкілля від шкідливих викидів. Ці заходи мають різноплановий характер і різний ступінь ефективності. Назвімо деякі з них. Отже, знизити NO_x можна:

- зменшенням коефіцієнта надлишку повітря в пальнику і в первинному повітрі;
- збільшенням рециркуляції газів, зниженням температурного рівня факела;
- зменшенням одиничної потужності пальників, зволіканням з процесом перемішування вторинного повітря і пилоповітряної суміші;
- інтенсивним підведенням газів до кореня факела і їхнім перемішуванням з паливоповітряною сумішшю на етапі запалювання речовини.

За наявності відповідних можливостей ефективним засобом є використання екологічно чистого палива (наприклад, краще природний газ, аніж мазут і тверде паливо). Такий метод належить до групи активних методів охорони довкілля.

До пасивних методів слід віднести встановлення обмежень на граничноприпустимі викиди (ГПВ) і визначення максимальної висоти димаря, що забезпечує дотримання норм приземних граничноприпустимих концентрацій (ГПК) відповідних викидів у населеній місцевості.

Зважимо на те, що встановлення і ГПВ, і ГПК не передбачає єдиного універсального підходу для основних енергетичних країн і регіонів нашої планети (табл.5.3). Зупинимося на цьому питанні докладніше.

Аби вжити слушних заходів щодо зниження забрудненості повітряного середовища, конче треба знати, що таке чисте

повітря, які вимоги воно має задовольняти, щоб неґативно не впливати на здоров'я людини. Такими критеріями є граничноприпустимі концентрації (ГПК)$_i$ шкідливих речовин у повітрі (див. табл.5.3, 5.4).

Міра екологічної небезпеки тієї чи тієї шкідливої речовини для живих істот визначається відношенням дійсної концентрації цієї речовини до [ГПК]$_i$ у повітрі на рівні дихання людини. Це відношення $k_i = C_i/[ГПК]_i$ називають токсичною кратністю цієї *i-ї* речовини. Воно має бути менше одиниці. За наявності в повітрі одночасно кількох шкідливих речовин у концентраціях близьких до біологічного впливу на живий організм, отруйний вплив посилюється, а тому наявність таких речовин навіть у концентраціях, близьких до [ГПК]$_i$, є неприпустимою. У зв`язку з цим слід підсумувати токсичні кратності таких речовин. Умову екологічної безпеки повітряного середовища визначають зі співвідношення :

$$\sum_1^n k_i = \sum_1^n \frac{C_i}{[ГПК]_i} \le 1, \qquad (5.10)$$

де n – кількість токсичних інгредієнтів.

Ефект спільної посилювальної дії тут виявляють: сажа і канцерогенні вуглеводні; оксиди азоту й канцерогенні вуглеводні; діоксид азоту і формальдегід; оксиди азоту й сірки. Отже вираз (5.10) можна подати в загальному вигляді

$$\sum_i^n \frac{C_i k_{n-1}}{[ГПК]_i} \le 1, \qquad (5.11)$$

де k_{n-1} – коефіцієнт, що враховує збільшення токсичності *i*-го екологічно шкідливого інґредієнта внаслідок наявності в суміші (*n-1*) шкідливої речовини одно- або різноспрямованої дії.

Таблиця 5.4

Граничноприпустимі концентрації і показники відносної небезпечності речовин

Речовина	Максимально разова концентрація, мг/м^3	Середньодобова концентрація, мг/м^3	Відносна шкідливість
Оксид вуглецю	5	3	1
Вуглеводи (неканцерогенні)	5	1,5	2
Нетоксичний пил	0,5	0,15	20
Оксид азоту	0,4	0,06	50
Діоксид сірки	0,5	0,05	60
Сажа	0,15	0,05	60
Діоксид азоту	0,085	0,04	75
Формальдегід	0,035	0,003	1000
Свинець	-	0,0003	10000
Бенз(а)пірен	-	0,000001	3000000

5.3. Характеристика шкідливих речовин у продуктах згорання палива та їхній вплив на довкілля

Під забрудненням атмосфери розуміють зміну властивостей і погіршення функцій середовища в результаті викидів забруднювальних речовин (твердих, рідких і газоподібних), а також теплових і радіоактивних викидів та електромагнітного випромінення, шуму, вібрацій тощо з різних джерел. Забруднювальні речовини – це речовини, що неґативно впливають на довкілля (прямо або опосередковано в результаті фізико-хімічних перетворень в атмосфері, або ж у поєднанні з іншими речовинами і забруднювачами).

Одночасна дія кількох забруднювальних речовин, особливо однонаправленої дії, істотно підсилює їх неґативний вплив на людину. Наприклад, імовірність онкозахворювань стрімко зростає, якщо в організм людини потрапляють канцерогенні

речовини разом із сажистими частинками. Останні дані фахівців з комунальної гігієни свідчать, що токсична дія хімічних речовин, які потрапляють в атмосферу, у поєднанні з шумом і вібрацією зростає в 2.5–3 рази. Крім того, унаслідок хімічної взаємодії двох забруднювальних речовин можуть синтезуватися нові шкідливі інґредієнти, значно небезпечніші для людини. У процесі взаємодії канцерогенних вуглеводнів і оксидів азоту синтезуються сполуки, що діють на генний фонд людини.

Паливно-енергетичний комплекс, енергетика, транспорт і промисловість (здебільшого через процеси, пов'язані з горінням) є основними джерелами антропогенного забруднення довкілля. За масштабом дії забруднення може бути локальним, регіональним і глобальним, а ці аспекти щільно пов'язані між собою. Головними забруднювачами насамперед є низькотемпературне тепло, вуглекислий газ, оксиди азоту, сірка, пил, шлак, оксиди сірки, зола та ін.

Розгляньмо основні шкідливі газові викиди з погляду їх впливу на довкілля.

Вуглекислий газ (CO_2) утворюється в результаті спалювання викопних видів палива, таких як вугілля, нафта, природний газ, органічних видів палива, як-то деревини, соломи і біомаси. Це основна компонента, яка спричинює "парниковий ефект". Унаслідок неповного згорання виділяється також монооксид вуглецю CO — токсичний газ, що завдає довкіллю багато шкоди.

Щорічно в процесі спалювання горючих речовин витрачається близько 10 млрд т кисню, що перетворюється на еквівалентну кількість CO_2. За останні 20 років XX ст. концентрація CO_2 в атмосфері зросла на 15%. Молекули CO_2 добре пропускають короткохвильове ультрафіолетове сонячне випромінювання, але поглинають випромінювання в довгохвильовому інфрачервоному спектрі частот, який є природним регулятором температури на поверхні Землі. Зниження концентрації CO_2 спричиняє зниження середньорічної температури планети: якби в атмосфері зовсім не було CO_2, уся поверхня Землі взялася б кригою, а середньорічна температура не перевищувала б –10°C.

Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту CO_2 в атмосфері, яка сьогодні порушена досить істотно, щонайперше – техногенною діяльністю людства. Окиснювально-від-

новні реакції горіння органічного палива, як мінімум, до середини наступного сторіччя залишаться основою енергетики світу, що швидко розвивається. За цей час уміст CO_2 в атмосфері може зрости ще в декілька разів. Як наслідок, у найближчому майбутньому слід очікувати потеплення клімату Землі. Підраховано, що вже до 2001 р. концентрація CO_2 в атмосфері збільшилася ще на 17%, а це призвело до підвищення середньорічної температури на 0,65°C з усіма можливими несприятливими наслідками.

Проте існує й інший погляд. З початку й до 40-х років XX ст. (згідно з даними гідрометеорологічних спостережень) середньорічна температура Землі підвищилася приблизно на 0,7°C, а площа арктичних льодів зменшилася на 10%. Пояснювали це збільшенням концентрації CO_2 в атмосфері, зростанням виробництва та споживанням енергії. Втім, за останні 30 років XX ст., попри зростання CO_2 вдвічі і збільшення виробництва, і споживання енергії, температура Землі не підвищилася, а знизилася. Гадають, що в міркуваннях про "парниковий ефект" не взято до уваги вплив аерозолів – дрібних твердих частинок і крапель рідини, що перебуває у завислому стані в приземному шарі, тропосфері і стратосфері.

Аерозолі і тверді частинки можуть потрапити в атмосферу вже сформованими (пил, зола, сажа). Значна ж їх частина утворюється безпосередньо в атмосфері в результаті хімічних реакцій між газоподібними, рідкими і твердими речовинами, включно з водяною парою.

Аерозолі утворюються внаслідок природних процесів, хоча неабияка їх частина має антропогенне походження. З 1-3 млрд т/рік часток різного хімічного складу розміром менше 1 мкм, що утворюються над поверхнею Землі, приблизно 20% – результат практичної діяльності людини (пил, насичені речовини, токсичні метали: свинець, ртуть, кадмій та ін.; пестициди). Вуглеводні включають найрізноманітніші органічні сполуки, хімічне перетворення яких у природних умовах розширює число вуглеводневих частинок, небезпечних для біосфери, навзагал і людини зосібна.

Аерозолі техногенного походження, подібно до CO_2, здатні впливати на клімат Землі, але в протилежному напрямку. Тверді частинки розсіюють сонячне світло, а відтак, значна його частина не досягає поверхні Землі. Як наслідок, тепловий баланс

змінюється у бік зниження температури. Отже, шкідливі речовини, породжені техногенними процесами, можуть як нагріти (вуглекислий газ), так і охолодити (аерозоль) Землю.

Певну роль у матеріальних балансах процесів горіння твердого й рідкого палива відіграють тверді продукти згорання, зокрема зола. Зольністю палива називають баласт із розрахунку на суху масу палива. Вона залежить від природи палива і якості його переробки. Розрізняють первинну золу – залишки мінеральних домішок, що входили до складу палива під час його обробки, вторинну золу — сторонні мінеральні речовини, рівномірно розподілені в горючій масі палива, і породу — мінеральні речовини, що потрапили в паливо у процесі його видобутку. Вміст первинної золи в сухій масі палива звичайно не перевищує 1–1,5%, породи – 2–2,5%. Головними характеристиками золи з погляду її впливу на довкілля є дисперсність, змішуваність, сипучість, щільність, абразивність і електропровідність.

Різноманітні викиди можна класифікувати залежно від розмірів частинок: пил – тверді частинки розміром 1...150 мкм; туман – тверді або рідкі частинки 0,2...1 мкм; дим – частинки 0,001...0,1 мкм; аерозолі –переважно скупчення газоподібних молекул розмірами від сотих часток до десятків мікрометрів.

Діоксид сірки, або сірчистий ангідрид (SO_2) виділяється в результаті спалювання викопних видів палива. Сірчистий ангідрид SO_2 – один з найтоксичніших газоподібних викидів енергоустановок, становить приблизно 90% викидів сірчистих сполук з димовими газами котлоагрегатів (інші – SO_3). Найбільшу кількість сірки містять вугілля і важкі види нафтопродуктів; легкі нафтопродукти містять меншу кількість сірки, і, нарешті, бензин та природний газ практично не мають її у своєму складі.

Діоксид сірки діє на окиснювання, руйнує матеріали, шкідливо впливає на здоров'я людини. Тривалість його перебування в атмосфері відносно невелика: у порівняно чистому повітрі – 15–20 діб, за наявності великих кількостей аміаку й інших речовин – кілька годин. У присутності кисню SO_2 переходить у SO_3 і, внаслідок взаємодії з водою H_2O, утворює сірчану кислоту. Кінцеві продукти зазначених реакцій розподіляються таким способом: як осади на поверхню літосфери – 43%, на поверхню

гідросфери – 13%; поглинається рослинами – 12%, поглинає поверхня гідросфери – 13%. Нагромадження сірковмісних сполук здебільшого відбувається у Світовому океані. Вплив цих продуктів на людей, тварин, рослини та різні інші речовини є різноманітним, залежить від їх концентрації та інших чинників довкілля.

Оксиди азоту утворюються під час спалювання будь-якого з викопних видів палив, що містять азотні сполуки. Азот утворює з киснем ряд сполук (N_2O, NO, N_2O_3, NO_2, N_2O_4 й N_2O_5), властивості яких, активність і тривалість існування є різними і слабко залежать від виду та складу палива. Сумарну кількість оксидів азоту приводять до NO_2. Їх концентрація визначається режимом і організацією процесів горіння палива.

Оксиди азоту шкодять здоров'ю людини, зумовлюють утворення "парникового ефекту" і руйнацію озонового шару. Крім того, оксиди азоту спричинюють "вимирання лісів", викликають "кислотні дощі".

Сполуки CFC (Chlorinated Flour Carbons або фреони) належать до окремих невеликих газоподібних домішок в атмосфері. Вони з'являються переважно внаслідок антропогенної дії (виробництва окремих теплоізоляційних матеріалів, пінопласту), виділяються з холодагентів холодильників і морозилок. Фреони (головні руйнівники озонового шару атмосфери) підвищують рівень ультрафіолетового опромінювання Землі з космосу. Їх наявність в атмосфері сприяє утворенню "парникового ефекту"

Озон (O_3) утворюється на великих висотах (приблизно 30 км) від взаємодії кисню O_2 та ультрафіолетового випромінювання Сонця, а також на низьких висотах – у результаті фотохімічних реакцій (зокрема, взаємодії оксидів азоту й гідрокарбонатів). Озон спричинює "парниковий ефект", негативно впливає на здоров'я людини, культивування рослин та "вимирання лісів".

Метан (CH_4) утворюється внаслідок розкладання органічних речовин, наприклад, у сільському господарстві, у процесі вуглевидобутку, нафто- і газодобування, газорозподілу і спалювання біомаси. Метан також є причиною "парникового ефекту".

Веселящий газ (N_2O) утворюється з натуральних матеріалів у процесі виробництва харчових продуктів та енергії. Деякою мірою зумовлює "парниковий ефект".

Аміак (NH_3) утворюється тільки в сільськогосподарському виробництві. Інтенсифікує та нейтралізує окиснювання. Впливає на порушення балансу примикаючих морів, озер, річок через внесення надмірної кількості добрив (евтрофікації).

5.4. Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива

Як ми вже завважили, у продуктах згорання органічного палива передусім, у димових газах ТЕС, опалювально-виробничих котелень та інших промислових і транспортних об'єктів міститься велика кількість шкідливих для довкілля токсичних речовин. Під час роботи теплоенергетичних установок питомі (табл.5.5) і валові (табл.5.6) об'єми цих викидів залежать від типу палива і потужності об'єкта (останнє стосується тільки валових викидів).

Для електроенергетичної галузі, що витрачає понад 20% котельно-пічного палива від загального рівня його споживання, прикметним, є збільшення викидів. Це наочно демонструє табл.5.7. З неї також видно тенденцію до збільшення складової вугілля і скорочення частки газу й, надто ж, мазуту.

Таблиця 5.5.

Питомі показники забруднення атмосфери (г/кВт·г) від згорання органічного палива за даними Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (м. Відень)

Викиди	Вид палива			
	кам'яне вугілля	буре вугілля	мазут	природний газ
SO_2	6,0	7,7	7,4	0,002
Оксиди азоту	21,0	3,4	2,4	1,9
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	-
Фтористі сполуки	0,05	1,11	0,004	-

Таблиця 5.6.

Валові викиди (млн кг/рік) і витрата палива ТЕС потужністю 1 000 МВт

Викиди	Вид та річна витрата палива		
	природний газ ($1{,}9\cdot10^9$ м^3)	мазут ($1{,}57\cdot10^6$ т)	Вугілля ($2{,}3\cdot10^6$ т)
SO_x	0,012	52,7	139,0
NO_x	12,0	22,0	21,0
CO	Незначне	0,08	0,21
Тверді частинки	0,46	0,73	4,49
Гідрокарбонати	Незначне	0,67	0,52

Примітка. Вміст: у мазуті – Sp = 1,6 %; Ap = 0,05%; у вугіллі – Sp = 3,59%, Ap = 9%;

Таблиця 5.7.

Структура споживання органічного палива ТЕС за даними Міненерго України

Роки	Вугілля			Природний газ			Мазут			Усього
	натур. млн т	млн т у.п.	%	натур. млн т	млн т у.п.	%	натур. млн т	млн т у.п.	%	млн т у.п.
1990	40,9	26,0	33,4	33,7	38,6	49,6	9,7	13,1	16,8	77,7
1997	17,4	17,4	54,2	11,5	13,1	40,9	1,14	1,55	4,8	32,05

Варто ще раз підкреслити, що в тепловій енергетиці України конкуруючими видами палива є вугілля і природний газ, кожний з яких має свої достоїнства й вади.

З технологічного погляду перевага тут на боці природного газу як вищокалорійного екологічно чистого палива. Газ легко транспортується, він зручний для застосування в сучасних енергетичних технологіях, як-от, наприклад, парогазові установки з електричним ККД на рівні 52–60%. Нагадаємо, проте, що об'єм видобутку газу в Україні (близько 28 млрд м^3) задовольняє потребу в ньому лише на 22%. Тому з погляду енергетичної безпеки стратегічною сировиною (паливом) для України залишається вугілля, промислові запаси якого становлять ~ 26 млрд т. Це може задовольнити потребу в ньому нашої країни впродовж кількох сторіч. Попри те, що останнім часом річний видобуток вугілля знизився до 80 млн т, потенціал вугільної галузі оцінюють приблизно в 100 млн т./рік. Якість донецького вугілля до-

сить висока: $Q_н^р$=22,2...26,6 МДж/кг, середня зольність – 22,6 %, хоча в процесі видобутку зольність підвищується до 27–35%, а теплота згорання зменшується до $Q_н^р$ = 13,8÷20,8 МДж/кг.

Токсичні та шкідливі викиди по-різному впливають на довкілля і мають неоднакові масштаби розсіювання і трансформації в атмосфері (табл.5.8).

Таблиця 5.8.

Розсіювання і трансформація викидів в атмосфері

Речовина	Масштаб трансформації	
	відстань, км	час існування, д
NO	10	1 год.
NO_2	100	2
SO_2	100	2
HNO_3	1 000	4
H_2SO_4	1 000	4
ПАВ	1 000	4
CH_4	У глобальному масштабі	10 років

Залежно від інтеґральних особливостей впливу на довкілля всі шкідливі речовини поділяють на 4 класи небезпеки: 1 – *надзвичайно небезпечні* (бенз(а)пірен – $C_{20}H_{12}$); 2 – *високонебезпечні* (формальдегід – CHOH, діоксид азоту NO_2); 3 – п*омірно небезпечні* (сажа С, діоксид сірки SO_2, оксид азоту NO); 4 – *малонебезпечні* (аміак – NH_3, оксид вуглецю CO).

Концентрацію шкідливих речовин в атмосфері нормують відповідним чином. Для цього вводяться ГПК, характерні для кожної речовини, і визначення, що змінюються залежно від умов концентрації.

Розрізняють такі рівні ГПК:

- граничнопripустима максимальна разова концентрація ($ГПК_{м\ р}$) шкідливих речовин у повітрі місцевості, що не викликає протягом 30 хв рефлекторних (спонтаних) реакцій в організмі людини;
- граничнопripустима середньодобова концентрація ($ГПК_{с\ д}$) речовини в повітрі місцевості, що не завдає людині жодної шкоди протягом невизначеного тривалого періоду (роки).

Крім того, для промислових підприємств установлюють ГПК робочої зони ($ГПК_{р\ з}$).

Усі граничнопripустимі концентрації встановлюються на рівні дихання людини.

Для характеристики токсичності використовують показник токсичності

$$A_i = \alpha_i \cdot \delta_i \cdot a_i , \qquad (5.12)$$

де α_i – імовірність нагромадження; δ_i – показник впливу на різні об'єкти (окрім людини); a_i - показник відносної небезпеки (порівняно із CO) визначають як

$$a_i = \left\{ \left(ГПК_{с.д} \cdot ГПК_{р.з} \right) / \left(ГПК_{с.д} \cdot ГПК_{р.зі} \right) \right\}^{0,5} . \qquad (5.13)$$

Характеристики токсичних речовин, які можуть входити до складу продуктів згорання теплоенергетичних установок, передовсім ТЕС, наведені в табл.5.6, 5.8. Вплив кожної з токсичних речовин визначається рівнем її концентрації в повітрі. Так, якщо концентрація NO_2 у повітрі на рівні 150 частинок на мільйон *(ppm)* або 300 мг/м^3, то можливі серйозні захворювання дихальних шляхів людини аж до її загибелі; на рівні 50-100 *ppm* – небезпечні захворювання на бронхіт або запалення легенів; на рівні 5 *ppm* (10 мг/м^3) – шкідливо для здоров'я людини.

Як уже відзначено, крім нормування ГПК на рівні дихання людини існує нормування на рівні припустимих викидів (ГПВ). Наприклад, для димових газів ТЕС та інших енергетичних і промислових об'єктів ГПВ шкідливих речовин установлюють відповідність стану повітряного середовища населених місцевостей гігієнічним нормативам у найнесприятливіших метеорологічних умовах.

Для котлоагреґатів норми ГПК оксидів азоту NO_x у країнах СНД установлюють, виходячи з концентрації кисню в димових газах на рівні 6%; і вони залежать від категорії котлоагреґатів і типу палива (табл.5.9).

Для газотурбінних установок (ГТУ) сучасні норми ГПК NO_x у країнах СНД становлять 150 мг/м^3 у димових газах (уміст у них кисню на рівні 25%).

Таким чином, норми граничноприпустимих концентрацій є важливою характеристикою контролю над рівнем забруднень. Вони відрізняються для різних країн і регіонів як установленим рівнем ГПК, так і періодом спостереження за відповідними концентраціями (табл.5.10).

Таблиця 5.9.

Норми ГПВ (NO_x, мг/м^3) для котлоагрегатів

Вид палива	Котли 1-ї категорії		Котли вищої категорії	
	Парова потужність, т/год			
	≤420	>420	≤420	>420
Природний газ	320	390	300	350
Мазут	340	440	300	350
Буре вугілля і сланці	550	550	500	500
Кам'яне вугілля	600	750	500	500
Торф	790	890	650	700

Таблиця 5.10.

Граничноприпустимі концентрації токсичних газів в атмосфері

Компонента	Країна	Розмірність	Концентрація залежно від періоду спостережень			
			середньо-годинна	середньо-добова	середньо-місячна	середньо-річна
	Японія	ppm*	—	0,04	—	—
	США	ppm	—	0,14	—	0,03
	Німеччина	ppm	—	—	—	0,05
Діоксид сірки	Канада	ppm	—	0,06	—	—
SO_2	Швеція	ppm	—	0,25	—	—
	Італія	ppm	—	0,15	—	
	Корея	ppm	0,15	—	—	
	СНД	мг/м^3	—	—	0,05	
	Японія	ppm	—	0,04-0,06	—	0,02-0,03
	США	ppm	—	—	—	0,05
Оксид азоту	Німеччина	ppm	—	—	—	0,05
NO^2	Канада	ppm	—	0,1	—	—
	Фінляндія	ppm	—	0,1	—	—
	СНД	мг/м^3	—	—	0,04	

*ppm – part pro million (частина на мільйон за обсягом)

РОЗДІЛ 6

ТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА

6.1. Основні типи електричних станцій

Основні типи електричних станцій

■

Енергогенерувальні потужності

■

Джерела енергії малої енергетики

Залежно від виду первинної енергії розрізняють теплові електростанції (ТЕС), гідроелектричні станції (ГЕС), атомні електростанції (АЕС) та ін. До ТЕС належать конденсаційні електростанції (КЕС) і теплофікаційні, або теплоелектроцентралі (ТЕЦ). Електростанції, що обслуговують великі й житлові райони, називають державними районними електростанціями (ДРЕС). До їхнього складу, як правило, входять конденсаційні електростанції, що використовують органічне паливо і не виробляють теплової енергії разом з електричною. ТЕЦ також працюють на органічному паливі, але, на відміну від КЕС, виробляють як електричну, так і теплову енергію у вигляді гарячої води й пари для теплофікаційних цілей. Атомні електростанції переважно конденсаційного типу використовують енергію ядерного палива. У ТЕЦ, КЕС і ДРЕС потенційна хімічна енергія органічного палива (вугілля, нафти

або газу) перетворюється на теплову енергію водяної пари, яка, своєю чергою, переходить в електричну. Саме так виробляють 80% одержуваної у світі енергії, основна частина якої перетворюється в електричну на величезних теплових електростанціях. Сучасна атомна і, можливо, майбутня термоядерна електростанції також є тепловими станціями. Розбіжність між ними полягає у тому, що в другій топку парового котла (генератора теплової енергії у вигляді водяної пари критичних і надкритичних параметрів) буде замінено на ядерний або термоядерний реактор.

Гідравлічні електростанції, на відміну від ТЕС й АЕС, використовують відновлювану первинну енергію, а саме енергію падаючого потоку води, яка перетворюється на електричну.

ТЕС, ГЕС та АЕС – основні енергогенерувальні джерела, розвиток і стан яких визначають рівень і можливості сучасної світової енергетики. Електростанції завважених типів називають також турбінними.

Однією з головних характеристик електростанцій є встановлена потужність, що дорівнює сумі номінальних потужностей електрогенераторів та теплофікаційного устаткування. *Номінальна потужність* – це найбільша потужність, за якої устаткування може працювати тривалий час відповідно до технічних умов.

З усіх видів виробництва енергії найбільшого розвитку у світі навзагал і в Україні зокрема набула теплоенергетика як енергетика парових турбін на органічному паливі. Питомі капіталовкладення на будівництво ТЕС є істотно нижчими, ніж для ГЕС та АЕС. Значно коротші й терміни будівництва ТЕС. Як до собівартості електроенергії, що виробляється, то найнижчою вона є для гідростанцій. Вартість виробництва електроенергії на ТЕС й АЕС нижча для АЕС.

Проте ці показники не надто важать у виборі того або того типу електростанції. Чимало залежить від місця розташування станції: ГЕС будують на річках; ТЕС – звичайно неподалік від місця видобутку палива; ТЕЦ бажано мати поруч із споживачами теплової енергії; АЕС не можна будувати поблизу населених пунктів. Таким чином, вибір типу станції неабияк залежить від її призначення і передбачуваного розміщення.

Ураховуючи специфіку розміщення ТЕС, ГЕС та АЕС, визначають місцерозташування електростанції й умови її майбутньої експлуатації: положення станції відносно центрів споживання, що особливо важить для ТЕЦ; основний вид енергоресурсу, на якому працюватиме станція, і умови його надходження на станцію; умови водопостачання станції, які набувають вагомого значення для КЕС і АЕС. Важливим чинником є близькість станції до залізничних та інших транспортних магістралей, до населених пунктів. Останніми десятиліттями на собівартість виробництва енергії, на вибір типу електростанції й місця її розташування вирішально впливають екологічні проблеми, пов'язані з одержанням і використанням енергоресурсів.

Глобальні проблеми довкілля особливо загострилися наприкінці 80-х років XX ст., коли було встановлено факти порушення озонового шару, збільшення концентрації вуглекислого й інших газів в атмосфері тощо. Всесвітня конференція з питань змін атмосфери (Торонто, 1988 р.) запропонувала країнам установити рівні викидів до 2005 р. Згідно з "Міжнародним оглядом ринку енергосистем", підготовленим американськими експертами, до 2015 р. об'єми викидів CO_2 досягнуть 9 700 млн т, що на 61% більш ніж у 1990 р. Дві третини цих викидів припадають на країни, енергетика яких залежить здебільшого від вугілля.

Про значне техногенне навантаження на територію України (у складі СРСР) свідчать дані про рівні викидів у 1989 р.: пил – 2 млн т, SO_2 – 3,1 млн т, CO_2 – 3,7 млн т, CO – 0,8 млн т. Після аварії на Чорнобильській АЕС радіонуклідами забруднено 4,6 млн га орних земель, із землевикористання вилучено 119 тис. га. Тільки радіоактивне забруднення цезієм-137 становить: 34 000 км^2 – 1...5 кюрі на квадратний кілометр; 1 960 км^2 – 5...15; 820 км^2 – 15...40; 640 км^2 – понад 40 кюрі на 1 км^2.

Відтак, у ряді регіонів України масштаби забруднення довкілля досягли критичного рівня. Головні забруднювачі атмосфери – енергетика, металургія і транспорт. У всьому світі зі зростанням сучасного енерговиробництва й енергоспоживання забруднення атмосфери перетворилося на важливу техніко-економічну й соціальну проблему.

6.2. Енергогенерувальні потужності

Прагнення підвищувати рівень життя й інтеґруватися до європейської економіки визначає потребу в нарощуванні виробництва електроенергії в Україні й доведення річного споживання її на одну людину до прогнозованих середньоєвропейських показників.

На підставі аналізу наявних літературних даних про зростання споживання електроенергії в Європі одержано прогнозовані дані щодо споживання електроенергії в Україні на одну людину на рік (кВт·г на рік): 2010 р. – 4 900 (за програмою), 2020 р. – 7 426, 2030 р. – 8 203, 2040 р. – 8 623, 2050 р. – 8 941 [37].

Звідси випливає що:

- у період з 2010 по 2020 р. зростання споживання електроенергії має становити 4,23 % на рік. За прогнозами міжнародних енергетичних організацій, такий темп зростання характерний для країн, які розвиваються, і саме він передбачений Національною програмою розвитку енергетики України до 2010 року (приблизно відповідає темпу, досягнутому в 1980-1985 рр.);
- у період 2020-2030 рр. темп зростання становитиме майже 1 %, а надалі – 0,5 %. Такий темп зростання буде характерний для країн Європи;
- середньоєвропейський рівень може бути досягнутий Україною тільки в 2016 р.

Як прогнозують науковці, чисельність населення України коливатиметься незначною мірою (від 48 до 52 млн осіб), і це враховано у прогнозі щодо вироблення електроенергії (млрд·кВт·г): 2020 р. – 356 — 386, 2030 р. – 394—427. 2040 р. – 414—448, 2050 р. – 424—460. Менші значення відповідають чисельності населення — 48 млн осіб, великі — 52 млн.

Аби виробляти вищезгадану кількість електроенергії й забезпечувати нормальний резерв (15 %), установлена потужність українських електростанцій має становити (млн кВт): 2020 р. – 58,5 ÷ 63,4; 2030 р. – 65,2 ÷ 70,2; 2040 р. – 68 ÷ 73,6; 2050 р. – 69,7 ÷ 75.8.

Структура потужностей залежить від значної кількості чинників, найважливішими з-посеред яких є:

- наявність паливних та інших енергоресурсів, їх приступність і обсяги;
- вартість палива, використовуваного для генерування електричної й теплової енергії;
- вартість технологій, уживаних для генерування енергії;
- конкуренція між виробниками енергії;
- екологічні вимоги держави і громадськості;
- реалізація політики енерго- й ресурсозбереження;
- вимоги щодо забезпечення енергетичної безпеки економіки України.

Потенціал електроенергетики України на початок XXI ст. становить 44 потужних ТЕС, 7 ГЕС і 5 АЕС (табл.6.1).

Таблиця 6.1.

Техніко-економічні показники роботи ТЕС України

Тип електростанції	Установлена потужність		Виробництво електричної енергії	
	млн кВт	частка, %	млн кВт·г	частка, %
ТЕС	36,4	67,5	33,98	39,1
ГЕС	4,7	8,7	9,73	11,2
АЕС	12,8	23,8	40,76	46,9
Інші джерела енергії			2,43	2,8
Усього	53,9	100	86,9	100

Теплові електростанції. Теплові електростанції України є основою електроенергетики держави. Споруджені в 60-80-х роках XX ст. ТЕС мають 99 конденсаційних енергоблоків потужністю від 175 до 800 МВт з параметрами гострої пари 14 МПа, 540/540°С і 24 МПа, 540/540°С. При цьому понад 53 % енергоблоків експлуатуються більше як 200 тис.годин, а такий показник перевищує граничний, установлений у світовій практиці рівень фізичного й морального спрацювання.

Ще в гіршому стані залишається головне устаткування на теплоелектроцентралях. На деяких з них експлуатують обладнання, установлене ще в 50-ті роки XX ст. Практично, велика

частина основного устаткування ТЕЦ (за винятком київських ТЕЦ-5 і ТЕЦ-6, харківської ТЕЦ-5 та ще деяких) фізично спрацьоване й у ряді випадків морально застаріло. Швидке фізичне спрацювання котельного устаткування зумовлено якістю вугілля, використовуваного енергогенерувальними підприємствами Дніпроенерго, Донбасенерго, Західенерго та Центренерго. Якість вугілля стає дедалі гіршою.

Значне фізичне спрацювання основного устаткування ТЕС характерне не тільки для України. Наприклад, у США перевищено 30-річний термін експлуатації на ТЕС загальною потужністю 89 млн кВт, що становить 16 % від установленої потужності ТЕС або 11,4 % – від загальної встановленої потужності всіх електростанцій США. У зв'язку з цим у США відбувається реконструкція частини ТЕС, а також до 2003 р. передбачено ввести 63,8 млн кВт нових потужностей. В Україні ж після 1990 р. практично не впроваджуються нові потужності, а реконструкція проводиться надзвичайно повільно і в незначних масштабах.

Аналіз показав, що для забезпечення безперебійного електропостачання країни на рівні 2010 р. конче потрібно провести реконструкцію основного устаткування ТЕС загальною потужністю не менше 10 млн кВт. Реконструкція має сприяти подовженню терміну служби на 25–30 років і підвищити економічність на 3–4 %. До 2015 р., в якому прогнозують дефіцит потужностей, необхідно повністю завершити реконструкцію енергоблоків потужністю 200–300 МВт і ввести нові потужності до 2 млн кВт.

У період 2015–2050 рр. дефіцит потужності безупинно збільшуватиметься як через необхідність зняти з експлуатації енергоблоки ТЕС й АЕС, так і внаслідок зростання електроспоживання. Ось якими є прогнозні дані про можливість дефіциту електричних потужностей (млн кВт): 2020 р. – 2,4-5,3, 2030 р. – 14-15. 2040 р. – 35-40, 2050 р. – 20. [14,31]. Звідси випливає, що від 2010 р. необхідно щорічно вводити потужності 0,3—0,7 млн кВт, з подальшим зростанням у період 2020–2030 рр. до 1,4–1,5 млн кВт, у період 2030–2040 рр. – до 3,5–4,0 млн кВт і зниженням у 2040—2050 рр. до 2 млн кВт. Чи реальний такий темп введення потужностей? Як уже сказано, в США за період 1995–2003 рр. передбачено введення 63,8 млн кВт, тобто 7 млн

кВт на рік. В Україні протягом 1970–1971 рр. на Ладижинській і Трипільській ТЕС були введені в експлуатацію 10 енергоблоків потужністю по 300 МВт. За умов нормального фінансування і сучасної організації поставки обладнання та виконання будівельно-монтажних робіт введення 2,5–6 млн кВт є цілком здійсненним, а для України – конче потрібним.

Чільна роль належить тепловим електростанціям, обладнаним блоками 150, 200, 300 і 800 тис. кВт. Усі вони розташовані в основних промислових регіонах України. Робота ТЕС забезпечується за рахунок використання двох видів природних ресурсів: палива і води. На першому місці – паливо (табл.6.2).

Конденсаційна електростанція потужністю 2.5 млн кВт щороку спалює близько 6 млн т антрацитного штиба або майже 12 млн т бурого вугілля. Для перевезення 6 млн т вугілля на рік треба кожної доби задіювати 300 вагонів. Транспортні витрати зростають пропорційно відстані від місця видобутку до ТЕС. Якщо потужність електростанції – близько 4 млн кВт, транспортування високоякісного палива є невигідним уже за відстані близько 400 км, а низькокалорійних – 100 км. Більш раціонально – будувати станцію поблизу місця видобутку палива, а електроенергію подавати лініями електропередач. Окрім того, на охолоджування відпрацьованого тепла й конденсату будь-якої електростанції витрачається майже 90 $м^3/с$ води. Ставок-охолоджувач, який забезпечує подачу та охолоджування такої кількості води, має містити площу дзеркала не менше 2500 га. Використання градирень для охолоджування води знижує термічний ККД станції, а тому великі ТЕС будують у місцях, близьких до родовищ палива, де можна створити ставок-охолоджувач.

Таблиця 6.2.

Структура природного палива у виробництві електроенергії України

Природне паливо	1992	1993	1994	1995
Вугілля, млн т	42,9	42,9	36,6	39,9
Мазут топковий, млн т	7,4	4,8	3,0	2,4
Газ природний, млрд $м^3$	26,5	20,2	29,5	14,4
Усього, млрд т у.п.	65,7	55,8	47,9	45,8

Атомні електростанції. Розгляньмо стан і можливості атомних електричних станцій та атомних теплоелектроцентралей як однієї з альтернативних ланок усієї енергетичної галузі України, що виробляє електричну й теплову енергію. Нині ця ділянка енергетики працює досить стабільно. Україна має власні запаси ядерного палива, хоча проблеми його підготовки також потребують часу і коштів.

Атомні електростанції характеризуються більшими енергоаґреґатами і, відповідно, вагомішими потужностями. В Україні є 5 АЕС: Запорізька – потужністю 6 000 МВт, Південно-Українська – 3 000 МВт, Рівненська – 1 818 МВт, Чорнобильська –1 000 МВт і Хмельницька – 1 000 МВт, вони оснащені здебільшого паротурбінними блоками 1 000 МВт з реакторами ВВЕР. Їх сумарна потужність становить 24% від загальної потужності електростанцій України. Проте саме вони виробляють майже 50% усієї електроенергії країни (табл.6.1.).

Сьогодні на українських АЕС експлуатують 13 енергоблоків загальною потужністю 11,818 млн кВт. На всіх АЕС установлено реактори типу ВВЕР (Запорізька АЕС має 6 реакторів ВВЕР-1000; Південно-українська АЕС – 3 ВВЕР-1000; Рівненськая АЕС – 2 ВВЕР-440 і 1 ВВЕР-1000; Хмельницька АЕС – 1 ВВЕР-1000). У 2003–2004 рр. на Рівненській і Хмельницькій АЕС планувалося ввести по одному енергоблоку потужністю 1 тис. МВт з реакторами ВВЕР-1000.

Згідно з Національною програмою розвитку енергетики України, до 2010 р. на Хмельницькій АЕС мають бути введені в експлуатацію енергоблоки № 3 і № 4 потужністю по 1 тис. МВт з реакторами ВВЕР-1000. Отже, в 2010 р. установлена потужність українських АЕС мусить дорівнювати 95-100 млрд кВт·г, тобто 38–40% від наміченого загального обсягу виробництва електроенергії в Україні. За умови вироблення названої кількості електроенергії економія органічного палива в умовному численні становитиме 32–34 млн т на рік.

Нині ресурс основного устаткування АЕС дорівнює 30 рокам. З урахуванням часу введення енергоблоків його буде вичерпано в 2020 р. Таке зменшення потужностей АЕС в умовах України може спричинити різке зниження виробництва електроенергії

внаслідок дефіциту органічного палива. У зв'язку з цим одним з найнагальніших завдань слід уважати проведення робіт, спрямованих на подовження терміну служби основного устаткування АЕС до 50 років, тобто він має бути на 20 років тривалішим, аніж установлений нині.

Розвиток власної ядерно-паливної промисловості ґарантуватиме стабільне, незалежне від імпорту забезпечення тепер наявних АЕС ядерним паливом, а також створить умови для будівництва в Україні нових АЕС і доведення їхньої потужності до 20–25 млн кВт. Слід зазначити, що в Росії, яка має у своєму розпорядженні набагато більші запаси органічного палива, передбачено будівництво нових АЕС на раніше підготовлених майданчиках.

Очевидно, що Україні необхідно виконати комплекс дослідницьких і проектних робіт з визначення оптимального варіанта ядерних установок для нових АЕС і обрати майданчики для їхнього розміщення.

Зважаючи на виняткове значення надійної експлуатації АЕС, їхній істотний внесок у ґарантування економічної безпеки України при дефіциті органічного палива, необхідно також ужити комплекс заходів, які створюють можливість:

- забезпечити безперебійну видачу потужностей АЕС за рахунок спорудження необхідної системи ЛЕП. Це дасть змогу знизити втрати електроенергії;
- невпинно й ефективно підвищувати безпеку діючих АЕС;
- забезпечити ефективний науково-технічний супровід експлуатації АЕС;
- зменшити залежність від імпорту устаткування за рахунок використання можливостей машинобудування країни;
- завчасно розробляти і здійснювати програми соціального захисту персоналу у зв'язку зі зняттям з експлуатації об'єктів ядерної енергетики;
- створити ефективну систему збереження відпрацьованого ядерного палива, а також системи збору, зберігання і переробки радіоактивних відходів.

Таким чином, АЕС посіли в енергетиці України провідне місце, хоча їх експлуатація пов'язана з цілою низкою проблем, що стосуються насамперед захоронення радіоактивних відходів.

У цьому виданні вже йшлося про відведення тепла конденсату за допомогою ставків-охолоджувачів: якщо ТЕС потужністю 4 млн кВт потрібує площу 4 000 га, то АЕС – до 6 000 га. Існують також інші способи відведення тепла на електростанціях, наприклад, використання пливучої води річок, застосування градирень, але перший з них на території України вичерпаний практично повністю, а другий не дає змогу одержати максимальний ККД станції. До того ж, тепловий потік від градирень є щільнішим, аніж від ставків- охолоджувачів. Питоме тепловиділення під час використання ставків-охолоджувачів становить близько 1 кВт на кожен квадратний метр охолоджувача. Наскільки велика ця цифра, можна переконатися на такому прикладі: удень Сонце посилає на Землю питомий тепловий потік у 0,14 кВт/м^2.

Серйозний вплив електроенергетики на довкілля проявляється в регіональних спотвореннях кліматичних умов, спричинених концентрацією великих об'ємів теплових викидів на порівняно малих площах. Так, ТЕС на органічному паливі має теплові викиди, еквівалентні полуторній потужності. Станція потужністю 4 млн кВт виділяє в довкілля 6 млн кДж/с. АЕС має ще більші теплові викиди: за такої самої потужності вона викидатиме 9,2 млн кДж/с, тобто у 1,5 раза більше, ніж теплова електростанція.

Теплові потоки великих електростанцій, розташованих порівняно щільно (це властиве українським електростанціям), можуть змикатися і формувати бар'єри підвищеної тепловіддачі й парутворення. Ті бар'єри здатні порушити усталені сезонні переміщення мас повітря в регіонах, а це спричинить різкі кліматичні зміни.

Гідравлічні електростанції. Створення гідроелектростанцій, як правило, забезпечує не тільки виробництво електроенергії, а й завдяки наявності водосховища дає змогу вирішувати ряд інших важливих народногосподарських завдань, пов'язаних із судноплавством, водопостачанням, зрошуванням, розвитком рибного господарства й рекреацією.

Повний гідроенергетичний потенціал річкового стоку України становить близько 45 млрд кВт·г на рік, а економічно ефективний – близько 20 млрд кВт·г/рік з урахуванням використання водногосподарчих, воднотранспортних та інших об'єктів. Окрім того, слід зважати на ефективний потенціал штучних водотоків (каналів, водогонів, гідровузлів неенергетичного призначення тощо), який оцінено в 1–3 млрд кВт·г на рік [31,46].

Нині в Україні працюють Київська ГЕС (361,2 МВт), Київська ГАЕС (235,5 МВт), Канівська ГЕС (444 МВт), Кременчуцька ГЕС (625 МВт), Дніпродзержинська ГЕС (352 МВт), Каховська ГЕС (351 МВт), Дніпровська ГЕС (1538,2 МВт) і Дністровська ГЕС (702 МВт). Річне виробництво електроенергії становить 9—12 млрд кВт·г на рік, тобто використовують 45 — 60 % гідроенергетичного потенціалу країни. Цей показник є нижчим, аніж у Норвегії, Швеції, Австрії, Швейцарії, де він дорівнює 60–80 %.

Україна має нагоду підвищити рівень використання гідроенергетичного потенціалу за рахунок завершення будівництва Дністровської ГЕС-2 (2 268 МВт), Ташликської ГЕС (1 820 МВт), Канівської ГАЕС (3 200 МВт), спорудження нових малих ГЕС на р. Тиса (400 МВт) і на Верхньому Дніпрі (160 МВт).

Слід припустити, що зазначені потужності буде введено до 2020 р. У цьому разі загальна потужність ГЕС і ГАЕС України дорівнюватиме 9 668 МВт (приблизно 16 % від загальної необхідної встановленої потужності), а річні обсяги виробництва електроенергії – приблизно 20 млрд кВт·г (десь 5,4 % від загального виробництва електроенергії).

Щоб забезпечити нормальну експлуатацію існуючих ГЕС і ГАЕС Дніпровського каскаду вкрай потрібно виконати великий об'єм робіт з реконструкції як гідротехнічних, так й електрогенерувальних об'єктів.

Структура первинних енергетичних ресурсів у виробництві електричної енергії й тепла електростанціями об'єднаної енергетичної системи України представлена в табл.6.3.

Як видно з цієї таблиці, під кінець XX ст. головними видами енергетичних ресурсів українських електростанцій стали вугілля і ядерне паливо, а основним виробником електроенергії – атомні станції. Їхня складова частина в загальному обсязі виробництва електричної енергії зростатиме й надалі. Ця тен-

денція характерна для багатьох промислових країн, наприклад, Франції, Японії, США.

Виробництво енергії в Україні неабиякою мірою залежить від імпорту енергоресурсів. Частка власних ПЕР у паливно-енергетичному балансі країни становить близько 50%: забезпеченість власним вугіллям оцінюється на рівні 92%, нафтою – 18%, природним газом – 22%. Ядерне пальне повністю імпортується з Росії.

Таблиця 6.3.

Структура енергетичних ресурсів у виробництві електричної енергії й тепла електростанціями ОЕС України

Вид енергоресурсів	Одиниці вимірювання	1995	1996	1997
Вугілля	млн т	39,6	31,3	29,9
	млн т у.п.	24,3	18,2	18,0
	%	34,0	29,9	26,8
Мазут	млн т	2,4	1,7	1,3
	млн т у.п.	3,3	2,3	1,8
	%	4,6	3,8	2,7
Газ	млн т	14,4	14,3	12,8
	млн т у.п.	16,5	16,3	14,6
	%	23,1	26,7	21,8
Гідроенергія	млн т у.п.	3,4	2,4	3,6
	%	4,8	3,9	5,4
Ядерна енергія	млн т у.п.	23,9	21,8	29,0
	%	33,5	35,7	43,3
Усього	млн т у.п.	71,4	61,0	67,0

Водночас практично не змінилася витрата енергії й палива на загальні потреби підприємств, особливо в житловій і комунально-побутовій сфері України (табл.6.4). 1995 року 189,6 млн т у.п. первинних паливних ресурсів було спрямовано на внутрішнє споживання, з них власних первинних ресурсів усього 43,3%.

Таблиця 6.4.

Використання електричної енергії в Україні

Галузь економіки	Одиниці вимірювання	1995	1996	1997
Промисловість, будівництво, транспорт	млрд кВт·г	92,7	84,8	83,4
	млрд кВт·г	61,3	60,6	62,1
Сільське господарство	% від загального використання	13,6	11,9	10,0
		9,0	8,5	7,4
Комунально-побутове господарство	млрд кВт·г	18,0	17,7	17,0
	% від загального використання	11,9	12,7	12,6
Населення	млрд кВт·г	27,0	25,4	24,0
	% від загального використання	17,8	18,2	17,9
Усього	млрд кВт·г	151,3	139,8	134,4

Природно-кліматичні умови України дають змогу застосовувати нетрадиційні первинні джерела енергії: метан вугільних родовищ, біогаз супутних відходів, енергію вітру, сонячну й геотермальну енергію. До 2010 р. передбачено довести виробництво електроенергії на їхній базі до 10,9 млрд кВт.г і теплової енергії – до 16,8 млн Гкал, а також використати 8 млрд $м^3$ метану вугільних родовищ.

Задоволення потреб України в паливі пов'язане, щонайперше, зі скороченням використання природного газу і збільшенням частки твердого палива у виробництві електричної й теплової енергії. Утім, перерозподіл видів застосованих палив на користь твердого загострює і без того не просту екологічну обстановку, насамперед у великих промислових центрах.

Структура нових потужностей. Прогнозуючи структури нових потужностей, слід ураховувати такі чинники [31,46]:

- можливість забезпечення енергоносіями;
- потребу у зменшенні шкідливого впливу на довкілля;
- можливості вітчизняного енергомашинобудування;
- необхідність оптимізації капітальних вкладень;

- потребу в досягненні високих техніко-економічних показників;
- а також те, що основним видом палива для ТЕС України, як і раніше, є вугілля;
- природний газ має використовуватися на ТЕЦ, розташованих у великих містах, і застосовуватися для газотурбінних надбудов на вугільних ТЕС, бо це дасть змогу підвищити їхній ККД;
- мазут слід використовувати як аварійне паливо.

Зменшення шкідливого впливу на довкілля можна домогтися в разі, коли:

- побудувати АЕС, які не викидають вуглекислого газу, оксидів сірки й азоту, а також золи;
- широко використовувати на нових і реконструйованих ТЕС котли з топками ЦКС, які знижують утворення оксидів сірки й азоту в димових газах;
- спорудити конденсаційні парогазові установки, що як основне паливо використовують природний газ або газ, одержуваний у процесі газифікації вугілля;
- реконструювати наявні пилевугільні котли, використавши при цьому газотурбінні установки, викидні гази яких прямують у топки енергетичних котлів;
- ужити технологічних заходів (зниження надлишку повітря, установка нових нетоксичних пальників, ступінчасте введення повітря тощо), які знижують викиди оксидів азоту на 10–75%;
- попередньо збагатити вугілля в районах їхнього видобутку з метою зменшення зольності та вмісту сірки;
- розробити й упровадити технологію паливних елементів, за якої відбувається пряме перетворення хімічної енергії на електричну.

Можливості вітчизняного машинобудування. Україна має великі підприємства енергомашинобудування (“Турбоатом”, ВО “Зоря”, Сумський насосний завод, “Електротяжмаш”, Запорізький трансформаторний завод та ін.), які можуть виготовляти й поставляти тепловим і атомним електростанціям України вагомішу частину основного й допоміжного устаткування.

Промисловцям варто б обміркувати питання про виробництво енергетичних котлів великої потужності та котлів-утилізаторів для ПГУ на Краматорському заводі важкого машинобудування.

Оптимізація капітальних вкладень можлива за спорудження всіх типів ТЕС й АЕС. Аналіз опублікованих даних і повідомлень заводів-поставників свідчить, що:

- останніми роками заводи-виготівники обладнання для ПГУ посутньо знизили ціну на основне устаткування. Наприклад, питомі витрати щодо устаткуванню ПГУ-400 становлять 140 дол/кВт замість приблизно 200 дол/кВт у 1995 р;
- питома вартість спорудження вугільних ТЕС без установки для очищення димових газів дорівнює 850 дол/кВт;
- питома вартість спорудження АЕС на раніше підготовленому майданчику може становити 1200-1500 дол/кВт.

Забезпечення високих техніко-економічних показників. З погляду техніко-економічних показників кращими є парогазові конденсаційні електростанції (ПГУ КЕС), ККД яких досягає 60%, витрата електроенергії на власні потреби – до 3%, штатний коефіцієнт – 0,15 – 0,2 осіб/МВт. Використання газотурбінних установок зі скиданням відпрацьованих газів у топки енергетичних котлів підвищує ККД енергоблока на 5–7 %.

Паросилові енергоблоки, що їх випускають вітчизняні заводи, з параметрами пари 13 МПа і 24 МПа та промперегрівом, мають ККД на рівні 39–41%, витрата електроенергії на власні потреби становить 4,0–5,5%. В інших країнах (Німеччина, Японія та ін.) за рахунок підвищення тиску свіжої пари до 25–28,5 МПа, промперегріву (571/569/569; 580/580/600 C^0) ККД вугільних блоків зростає до 46,3–47%, а газомазутових – до 49%.

З погляду питомих витрат тепла на 1 кВт·г АЕС значно поступаються ТЕС. Однак у зв’язку з тим, що ядерне пальне приблизно в 2 рази дешевше за органічне, питомі витрати на випуск електроенергії АЕС є на 25–30% меншими, ніж витрати ТЕС.

На паросилових, парогазових і газотурбінних ТЕЦ питомі витрати палива на випуск електроенергії й теплоти нижчі порівняно з нарізним виробленням цих продуктів. Наприклад, на ТЕЦ із турбінами Т-250/300-240 у процесі спалювання природ-

ного газу питома витрата умовного палива на 1 кВт становить 227 г, тобто на 40% менше, ніж на КЕС з турбінами К-300-240.

Передбачувана структура введення потужностей у 2020–2050 рр. окреслена в табл. 6.5.

Таблиця 6.5.

Структура введення нових потужностей

Тип електростанції	Введення потужностей, млн кВт			
	до 2020 р.	до 2030 р.	до 2040 р.	до 2050 р.
ТЕС на вугіллі	0,4-4,2	11-11,6	20,7-20,6	7,7-7,6
ГТУ надбудови	0,2-0,4	0,8-1,0	3,3-3,8	0,6
ПГУ КЕС	0,8-1,2	0,7-1,05	1,6-2,0	1,2
ТЕЦ на вугіллі	0,3-0,6	0,3-0,6	0,6	0,6
Газомазутові ТЕЦ	0,3-0,6	0,4-0,4	0,3-0,4	0,3-0,4
АЕС	-	-	8,0-12,0	4,0
Нетрадиційні й відновлювані джерела енергії	0,4-0,5	0,2-0,3	0,5-0,6	0,8
Усього:	2,4-7,5	14-15	35-40	20

6.3. Джерела енергії малої енергетики

До малої енергетики належать промислові ТЕЦ і котельні, все устаткування комунальної енергетики, заводські котельні й ТЕС, промислові печі, побутові енергоустановки різної теплопродуктивності. Для них характерний низький рівень економічності, надійності та безпеки, зокрема й екологічної. Мала енергетика споживає понад 60% від усіх ПЕР України. Обсяги споживання газоподібного, рідкого і твердого палива становлять (в умовному паливі) відповідно 49%, 20% і 31%.

В Україні налічують близько 2,0 млн одиниць паливоспалювальних установок, які теж належать до малої енергетики. Значна їхня частина (десь 1,5 млн) – малометражні котли теплопродуктивністю меншою за 0,1 МВт.

Особливу групу енергогенерувального устаткування малої енергетики являють собою промислові ТЕЦ (243 одиниці загальною потужністю 3 100 МВт). Загальне вироблення електроенергії промисловими ТЕЦ у 1995 р. становило 5,7 млн кВт·год, а теплової енергії – 43,3 млн Гкал. При цьому витрачено 11,3 млн т у.п., зокрема 7,5 млрд м^3 газу, 1,7 млн т рідкого палива (переважно топкового мазуту) й 0,4 млн т вугілля. Техніко-економічні показники більшості згаданих ПТЕЦ є вельми низькі, одначе їхній вплив на екологію дуже великий.

Найбільшими споживачами палива виступають також промислово-виробничі й опалювальні котельні, з яких 1 750 мають одиничну встановлену потужність понад 20 Гкал·год.

Отже, на потреби енергогенерувальних потужностей систем теплопостачання малої енергетики витрачають більше первинних ПЕР, ніж на будь-яку іншу галузь народного господарства. Ефективність використання палива й екологічні показники даних систем не завжди відповідають сучасним вимогам науково-технічного прогресу. Існує велика кількість низькоефективних котельних та індивідуальних теплогенераторів, що спалюють найдефіцитніші види палива – газ, мазут (близько 60% від загальної кількості палива, споживаного всім ПЕК). Середньозважена питома витрата умовного палива на вироблення теплової енергії є доволі високою (43,5 кг у.п./ГДж або 181,9 кг у.п./Гкал) і відповідає ККД трохи більше як 75%. У цілому ряді випадків теплові ККД дрібних котелень та індивідуальних джерел у 1,5... 2,0 раза нижчі від технічно припустимого рівня.

Усі ці джерела теплоти найбільшою мірою споживають первинні ПЕР і трудові ресурси, забруднюють довкілля, спричинюють вагоміше екологічне навантаження на міста й населені пункти.

Досконалішими з економічного та екологічного боку є теплоелектроцентралі й великі районні котельні. Проте їх використання економічно виправдане лише за наявності великих централізованих споживачів. Потреба в розлогих і дорогих теплових мережах помітно знижує ефективність ТЕЦ і масштаби їх застосування.

РОЗДІЛ 7

АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА

Не можна сказати, що ти конче потрібна для життя, ти саме життя...Ти найбільше багатство на світі.

Антуан де Сент-Екзюпері

7.1. Відновлювані джерела енергії

Відновлювані джерела енергії

Геліоенергетика

Вітроенергетика і мала гідроенергетика

Біоенергетика

Інші нетрадиційні природні джерела енергії

Відновлювані джерела енергії – це випромінювання Сонця, рослинна біомаса, морські припливи, вітер і річки. Енергія рослинної біомаси, вітру та річок спричинена дією сонячної енергії. Всі відновлювані джерела енергії дотепер використовують незначною мірою, хоча їхні запаси практично невичерпні (табл. 7.1).

Сонце – невичерпне джерело, яке випромінює на Землю енергію в кількості, що набагато перевищує потребу в ній і тепер, і навіть у найвіддаленішому майбутньому. Людству відомі способи одержання цієї енергії. Якщо говорити про розподіл променистої енергії Сонця, то тепловий баланс має приблизно такий вигляд: ~7 % – відбиває атмосфера Землі,

~27 % – відбивають хмари; з енергії, що поступила на Землю: ~2,5 % – перетворюється на енергію вітру, ~0,05 % – обертається на енергію морських течій, ~33 % – падає на поверхню океану, ~25 % – падає на сушу, ~7 % – відбивається Землею, ~0,12 % – засвоюється рослинами.

Таблиця 7.1.

Потенційні запаси енергії на Землі

Джерело енергії	Запас енергії, кВт·г
Не відновлювані:	
термоядерна енергія	$100\,000\,000 \cdot 10^{12}$
ядерна енергія	$574\,000 \cdot 10^{12}$
енергія викопного палива	$55\,364 \cdot 10^{12}$
Відновлювані:	
енергія сонячного проміння	$667\,800 \cdot 10^{12}$
енергія морів та океанів	$70\,000 \cdot 10^{12}$
енергія вітру	$17\,360 \cdot 10^{12}$
енергія внутрішнього тепла Землі	$134 \cdot 10^{12}$
енергія річок	$18 \cdot 10^{12}$

Щорічний приріст зеленої біомаси на Землі становить 117 млрд т у сухому вигляді, що енергетично дорівнює 40 млрд т нафти. Загальна ж кількість рослинної біомаси на планеті перевищує 1 800 млрд т, що еквівалентно 640 млрд т нафти. Ясна річ, як паливо може розглядатися тільки частина щорічного приросту, яку можна виділити для цього ланцюга.

Енергія морських припливів є значною, а відтак, будівництво припливних станцій видається перспективним, дарма що воно складне, дороге і не виключає непередбачуваних екологічних наслідків.

Енергія вітру менша, але все-таки велика, вона заслуговує на серйозну увагу, проте непостійна в часі, і це утрудняє її використання.

Енергія річок є відносно помірною, її вже використовують значною мірою, причому як для рівнинних річок – з негативними наслідками, котрі свідчать про потребу в надзвичайно обачному ставленні до механізмів екології.

Можливість користатися з унутрішньої теплоти Землі має локальне значення: утилізують лише теплоту гарячих підземних вод.

Безумовно, надалі конче слід орієнтуватися на одержання енергії з відновлюваних джерел. У цьому плані цікавими видаються перспективи енергетики з позиції теоретичної фізики.

Енергетичні процеси пов'язані з перетворенням силових полів. Таких полів є три: мезонне, що цементує атом (найпотужніше); ґравітаційне; електромагнітне в різних формах, зокрема у вигляді електричної енергії. Науковці припускають, що ці поля – різні прояви єдиного поля. Теорію єдиного поля намагалися створити найбільші учені світу – О. Гевісайд, А. Ейнштейн, І. Е. Тамм, але поки що безуспішно. Наявність такої теорії дала б змогу розробити нові, досконаліші способи одержання електричної енергії через перетворення на неї мезонного і ґравітаційного полів, а тим паче – електромагнітного. Нині цю проблему розв'язують кружним і складним шляхом. Так, на гідростанціях ґравітаційне поле води верхнього б'єфу перетворюється на електроенергію за допомогою гідрогенераторів. Система перетворення мезонного поля в електроенергію на атомних станціях ще складніша: реактор – пара – турбогенератор. Не менш складним є перетворювання електромагнітного поля сонячного випромінювання, що має світлову частоту, в електромагнітне поле електричного струму на сонячних електростанціях перетворювання, здійснюване за теплотехнічним способом (сонячний котел – пара – турбогенератор). По суті, всі ці схеми надзвичайно громіздкі, як і схеми, що на них базуються енергетичні установки, де відбувається спалювання горючих речовин. Як протилежний приклад можна назвати тільки сонячну батарею, що перетворює випромінювання Сонця безпосередньо в електроенергію.

Сонячне випромінювання на Землю – невичерпне джерело величезної кількості енергії – є екологічно нейтральним, оскільки процес його використання не спричиняє шкідливих викидів і майже не викликає додаткового нагрівання Землі. Остання заввага є надто важлива, адже Земля як термодинамічна система перебуває у вкрай нестійкій рівновазі.

Ще в самому розпалі атомного буму найвидатніший фізик XX ст. Ф. Жоліо-Кюрі казав таке: "Розв`язання проблеми використання сонячної енергії для людства важить більше, ніж підкорення енергії атома". Цю енергію одержують у такі способи: теплохімічним (нагрівання теплоносіїв), фотоелектричним (використання сонячних батарей), біологічним (фотосинтез рослин) з переходом у біотехнологічний при поєднанні з водневою енергетикою. Основне значення мають фотоелектричний і біотехнологічний способи.

Теплотехнічний спосіб застосовують (досить рідко) для одержання теплоти. Якщо електроенергію виробляють за допомогою турбогенераторів, він є нераціональним.

Фотоелектричний спосіб колись був надто дорогим. Донедавна фотоелектричні сонячні батареї внаслідок своєї високої вартості застосовувалися лише в окремих випадках, наприклад у космонавтиці, і мали доволі невелику потужність, вимірювану сотнями ватів; проте завдяки розробці нових способів одержання кремнієвих сонячних елементів їх вартість швидко знижується.

Відтак, доречними постають два напрями: застосування порівняно дешевих фотоелементів з невисоким ККД і створення дорожчих, але й ефективніших. Завдання полягає в тому, щоб зробити сонячні електростанції економічно вигідними порівняно з іншими, наприклад з АЕС. Вирішення цього завдання вимагає зліквідувати розрив між науковими й інженерними розробками. Вочевидь, уже до кінця нинішнього століття геліоенергетика відіграватиме поважну роль, а до середини наступного матиме більше значення, ніж гідроенергетика.

Біологічний (біотехнологічний) спосіб грунтовано на фотосинтезі. Процес фотосинтезу рослин має неабияке значення для життя на планеті, оскільки з його допомогою неорганічні речовини переробляються в органічні, харчові, за рахунок енергії Сонця. Крім того, рослини забезпечують планету киснем. Для деяких країн фотосинтез може стати переважним способом одержання енергії. Ось як, наприклад, уявляють майбутній енергетичний баланс Швеції – маленької індустріальної країни, багатої на ліси, з розвиненою деревообробною промисловістю. До 2015 р. заплановано таку структуру енергетичного балансу: лісова біомаса – 46 %; сонячне опалювання (одержання теплоти) – 13 %; енергія гірських річок (ГЕС) – 12 %; деревні відходи – 12 %; соня-

чне світло (виробництво електроенергії) – 9 %; вітер – 5 %; морська біомаса – 3 %; нафта, газ, вугілля, ядерна енергія – 0.

Лісова біомаса – це посадки (спеціально для енергетичних цілей) швидкорослих дерев з деревиною, що має достатньо високу теплоту згорання (тополя). Щорічно використовують декілька відсотків масиву посадок з подальшим засівом площі вирубки. Шкідливість продуктів згорання деревини мінімальна, зола – відмінне добриво. Звичайно, для великої промислово розвиненої держави таке рішення не придатне.

У країнах, що розвиваються, біомаса рослин (дрова, сільськогосподарські відходи) задовольняє потребу в енергії наполовину, в розвинених країнах ця частка невелика, але за абсолютним значенням щорічно в Європі біомаса заміщає ~100 млн т нафти. Рідке паливо, що заміняє нафту, можна одержати біотехнологічним шляхом з деяких тропічних рослин, створивши спеціальні нафтові плантації. Таким чином, рослини можуть слугувати багатющим джерелом не тільки харчової та технологічної, а й енергетичної сировини.

Біотехнологічний спосіб і воднева енергетика нині теж є досить вагомими. Водень – екологічно чисте паливо, яке можна зберігати і транспортувати трубами, воно цінне і для технологічних процесів, і для автотранспорту. У процесі згорання водень перетворюється на воду, не виділяючи жодних шкідливих речовин.

Заслуговує на увагу біофотоліз води – використання механізмів фотосинтезу для її розкладання під впливом сонячного світла з метою дістати водень і кисень у вільному стані. Для здійснення цього процесу застосовують біохімічну систему, засновану на взаємодії двох мікроорганізмів: мікроскопічної водорості й термостійкої ціанобактерії, наділеної особливими властивостями. Клітини водоростей під впливом світла виробляють у процесі фотосинтезу органічні вуглецеві сполуки і вільний кисень. Фоторозкладання води, що відбувається, забезпечує постійне виділення кисню та водню. Таким чином сонячна енергія прямо перетворюється в паливо і, як наслідок, виникає перспектива створення нової галузі енергетики (біотехнологічної), що забезпечує одержання молекулярного водню як високоякісного та екологічно чистого палива.

Можливим є процес розкладання води на водень і кисень під дією видимого сонячного світла, одначе він потребує відповідних каталізаторів. Водень можна діставати завдяки електролізу води за умови великої кількості електричної енергії в майбутньому, а нині – за рахунок енергії АЕС у години, коли електричне навантаження зменшується, тобто вночі.

Із запропонованого в попередніх розділах аналізу базових енергетичних об'єктів та екологічних аспектів їхнього застосування можна дійти певного висновку.

У складній системі "біосфера - техносфера" потрібні серйозні зміни, передовсім у напрямку розвитку енергетики. Отже, щонайперше слід відмовитися від усталених стереотипів енерговитратного способу життя, провести серйозну екологізацію всіх галузей енергетики, перейти на альтернативні, нетрадиційні, екологічно безпечні джерела енергії з поступовим нарощуванням їхньої потужності. Підходи, наявні сьогодні в сфері енергетики, є нестійкими, екологічно небезпечними, властиві їй поточні моделі й далі зумовлюють підвищення рівня нестабільності і, отже, не є інструментом для досягнення стійкого розвитку. Проте найголовнішим є те, що практично повне забезпечення електричною енергією, зокрема в країнах ЄС, ґрунтується на використанні тихтаки традиційних невідновлюваних енергоносіїв: органічного палива, атомної енергії та гідроенергії (рис.7.1).

Європейське Співтовариство не є однаковим з погляду енергопостачання: наскільки розходиться кількість щорічно вироблюваної електроенергії в кожній державі-учасниці, настільки ж відрізняється й роль окремих енергоносіїв у цих країнах.

У XXI ст. всі спроби розв'язати соціально-економічні та екологічні проблеми, питання безпеки і миру немислимі без урахування енергетичних аспектів, особливо – зміни стратегії й тактики в сфері енергетики. Одна з таких стійких і перспективних стратегій – використання нетрадиційних енергоресурсів: енергії Сонця, вітру, біомаси, малих річок, геотермальних припливів і відпливів, застосування генераторного газу, газів малих газових, газоконденсатних і нафтогазоконденсатних родовищ, попутного нафтового газу, метану вугільних родовищ, спиртних сумішей, водопаливних суспензій, емульсій та ін.

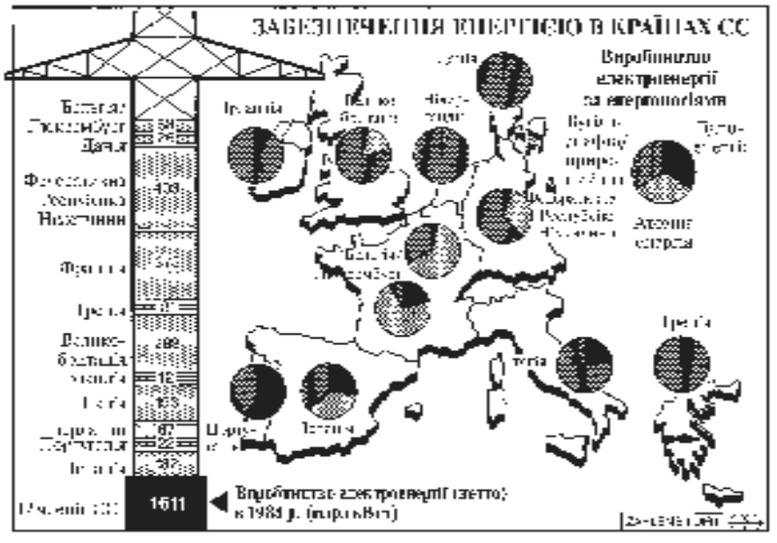


Рис.7.1. Забезпечення електроенергією в країнах ЄС

Перспективи використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Установлена потужність електростанцій, що використовують нетрадиційні й відновлювані джерела енергії, дорівнює 33 млн кВт. Це становить 1,04 % від загальної встановленої потужності всіх електростанцій у світі (3 180 млн кВт). У США частка таких електростанцій становить 2,32 %, у Бразилії – 3,0, в Данії – 7,7, Німеччині – 2,8, Італії – 1,2, Іспанії – 2,2, Індії – 1,0, Японії – 0,4 і на Філіппінах – 17 % від загальної встановленої потужності.[31,46]

В Україні для виробництва електроенергії з відновлюваних джерел використовують тільки енергію вітру. За станом на початок 2000 р. встановлена потужність вітроенергетичних електростанцій (ВЕС) дорівнює 12,5 МВт; у 1999 р. вони виробили 3,83 млн кВт·г. Коефіцієнт використання встановленої потужності становив 0,031 при проектному коефіцієнті 0,19. Окрім цього, було споруджено і введено в експлуатацію Акташську ВЕС (0,6 МВт), Чорноморську ВЕС (0,6 МВт), другу чергу Новоазовської ВЕС (1,6 МВт) і ряд вітроенергетичних електростанцій малої потужності (25–45 кВт).

В АР Крим, у Вінницькій, Одеській та інших областях України застосовують сонячну енергію, біомасу та інші види енергії для підігрівання води, використовуваної для обігріву приміщень. Застосування геотермальної енергії у виробництві електроенергії взагалі має експериментальний характер (установка 5 МВт у Берегівському районі Закарпатської обл.).

З нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії в Україні у виробництві електроенергії можна використовувати: енергію вітру, геотермальну енергію, коксовий, доменний, некондиційний природний гази. Аналіз ресурсної бази цих видів енергії, а також досвід зарубіжних країн дають підставу твердити, що встановлена потужність електростанцій, які використовують ці ресурси, становитиме 2,5–3,0 % від загальної потужності електростанцій України.

Нижче наведено дані про прогнозовану встановлену потужність, виробництво електроенергії та заощадження палива, що їх можна досягнути, послуговуючись нетрадиційними і відновлюваними джерелами енергії (табл. 7.2).

Таблиця 7.2.

Потенціал альтернативної енергетики України

Показник	2020 р.	2030 р.	2040 р.	2050 р.
Установлена потужність, млн кВт	1,6-1,7	1,8-1,9	1,9-2,0	1,9-2,1
Вироблення електроенергії, млрд кВт·г	6,4-6,8	7,2-7,6	7,6-8,0	7,6-8,4
Економія палива, млн т в умовному численні	2,6-2,72	2,88-3,04	3,04-3,2	3,04-3,26

Прогнози, зроблені цілою низкою світових лідерів промисловості, наприклад таких, як знана компанія «Шелл інтернешнл петролеум», свідчать про те, що під 2025 р. у світі панівне значення матиме енергетика, побудована на альтернативних, відновлюваних джерелах, щонайперше на сонячній енергії.

7.2. Геліоенергетика

Сонце – центральне тіло Сонячної системи, розжарена плазмова куля, типова зірка-карлик. Його маса дорівнює $2 \cdot 10^{30}$ кг, радіус – 696 000 км, середня густина – $1{,}41 \cdot 10^3$ кг/м^3, ефективна температура поверхні (фотосфери) – близько 6 000 °К. Хімічний склад: водень – 90 %, гелій – 10 %. Температура всередині Сонця (центральна частина) становить понад 10 млн градусів за шкалою Кельвіна. Вона є такою великою, що вможливлює синтез водню і гелію, унаслідок чого вивільняється енергія у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить до поверхні світила. Енергія, що доходить до Землі, формується в межах тонкого поверхневого шару Сонця (фотосфери). Вважають, що Сонце виділятиме енергію ще впродовж близько 2 000 млрд років. Електромагнітне випромінювання фотосфери Сонця поширюється в космічному просторі зі швидкістю 300 000 км/с у вигляді променів, що розходяться. Земля дістає трохи не 2 мільярдні частки від загального випромінювання Сонця. Загальна кількість сонячної енергії, що досягає поверхні Землі за рік, у 50 разів перевищує всю енергію, яку можна було б одержати з усіх відомих запасів викопного палива і приблизно в 30 000 разів перевершує нинішнє щорічне споживання енергії у світі. Потужність сонячного потоку енергії становить $4 \cdot 10^{23}$ кВт.

З давніх-давен люди прагнули навчитися використовувати сонячну енергію, про що свідчать стародавні літописи і книги єгиптян, греків, римлян.

Великий італійський художник і винахідник Леонардо да Вінчі 1515 р. склав один з найперших планів застосування енергії Сонця в промисловості (малюнки гігантського дзеркала "для поставки тепла для будь-якого бойлера на фарбувальній фабриці"). Проте першим винахідником концентрації сонячного світла вважають Архімеда (212 р. до н. е.), хоча це не доведено. Наприкінці XVIII ст. французький хімік Антуан Лавуазьє винайшов сонячну піч, у якій можна було плавити платину за температури 1 780 °С. Перший у світі сонячний колектор створено швейцарським ученим Горацієм де Соссюром (1767 р.).

У США розвиток сонячної енергетики почався після Громадянської війни (з 1880-х роках.) завдяки роботам інженера Джона Еріксона. Під 2000 р. у США в самому лише штаті Каліфорнія (пустеля Моява) один з найбільших у світі комплексів сонячних батарей, розміщений на площі близько 750 га, виробляє понад 400 МВт електроенергії, що є достатнім для забезпечення нею майже 18 000 будинків.

У Європі найбільша геліостанція споруджена на Мозелі. Тут понад 300 тис. сонячних елементів сполучене у 8 тис. модулів, що на першому щаблі дають потужність 340 кВт. У Німеччині нині виробляють понад 100 МВт електроенергії за рахунок Сонця. Активно розвивається використання сонячної енергії в Іспанії, Італії, Франції. Припускають, що до середини XXI ст. у розвинених країнах Європи частка сонячної енергії в загальному об'ємі енергії, що виробляється, становитиме 10...20 %. Провідними фірмами світу, які виробляють сонячні колектори, батареї й елементи («Сименс Соляр», «Луз», АЕГ, «Телефункенсистем-технік» та ін.), було розроблені й усе ширше реалізуються батареї з ККД 12–20 % (у перспективі – 30 %) різних розмірів і потужностей. Їх можна застосовувати у виготовленні будь-якого енергетичного обладнання – від мініатюрних сонячних електростанцій з портфель завбільшки, використовуваних в умовах, де не можна одержати струм через мережу, до потужних комплексів, що живлять промисловість, і установок, що живлять космічні апарати, зонди, станції, а також до невеликих наземних геліокомплексів, які живлять домівки, теплиці, автомобілі. 1961року в Японії, за даними ООН, уже діяло близько 350 тис. сонячних водонагрівачів, у США (у Флоріді й Каліфорнії) – близько 150 тис. установок.

У колишньому СРСР розвиткові геліоенергетики також приділяли неабияку увагу, оскільки перспективи її використання в республіках Середньої Азії, на півдні України, у Криму, на Кавказі були досить утішними. У 1960-1975 рр. низка визначних науково-дослідних інститутів АН СРСР, АН Туркменистану, Узбекистану, України працювали над створенням, випробуванням і впровадженням сонячних кондиціонерів, теплових установок, термоелектричних перетворювачів, водопідігрівачів,

опріснювачів. Провідним науковим центром у галузі виробництва сонячних теплових установок і термоелектричних перетворювачів був Енергетичний інститут ім. Г. М. Кржижанівського. Існувало спеціальне видання – всесоюзний журнал «Геліотехніка». Внаслідок бурхливого розвитку атомної енергетики і збільшення видобутку нафти розвиток геліоенергетики як у колишньому СРСР, так і за рубежем у 1975–1990 рр. занепав, і лише в останнє десятиліття XX ст. знову виник посутній інтерес до використання енергії Сонця.

У СНД витрати на виробництво побутового геліообладнання є нижчими, ніж у країнах Заходу, тому сонячну енергетику тут уважають перспективною. Дехто припускає, що потенційно застосовними в СНД будуть три технології:

- сонячні колектори для забезпечення будинків гарячою водою;
- сонячні фотоелектричні батареї (особливо в сільській місцевості);
- сонячні теплові електростанції (у далекому майбутньому).

7.2.1. Перетворення сонячної енергії на теплову

Теплову енергію Сонця через пряме нагрівання (будинки, теплиці, водні резервуари та ємкості) використовують двома методами: пасивним й активним. Пасивна система геліопідігріву вловлює сонячне світло прямо всередині приміщень і трансформує його в низькотемпературне тепло для обігрівання простору. Енергоефективні вікна, оранжереї, сонцевловлювальні поверхні розташовують у максимально вигідному відносно сонця положенні. Стіни, підлогу, стелі виготовляють із добрих теплоізоляційних матеріалів (перероблених відходів, автомобільних шин, пористих бетонів, шлаків та ін.). Удосконалюються технології й підвищується ефективність використання пасивної системи геліообігріву.

Дехто припускає, що в майбутньому близько 70 % приватних будинків і майже 60 % комерційних будівель застосовуватимуть

саме таку систему обігріву. До кінця 90-х років XX ст. в Північній Америці налічували десь 250 000 будинків з повним сонячним обігрівом і понад 1 млн споруд, які використовують тепло частково. Обладнення будинків геліоустановками пасивного типу здорожує будівництво лише на 5–10 %, зате експлуатація споруд обходиться на 30–40 % дешевше, а окупність становить 3–7 років (рис.7.2).

Фотоелектричні (сонячні) батареї можуть забезпечувати будинки електрикою. Малі на розмір і легко розтяжні панелі здатні без великих електростанцій або силових кабелів виробляти електрику для селищ міського типу у всьому світі. Масивні комплекти таких батарей можуть виробляти стільки електрики, скільки виробляє мала електростанція. Сьогодні принаймні дві дюжини компаній США використовують у своїй роботі фотоелектричні панелі. 1990 р. у Флоріді почали продавати будівлі, які електрифіковано за рахунок установлених на їхніх дахах сонячних батарей. Хоча системи сонячних батарей становлять близько третини від вартості кожного будинку, вони окупаються коштом оплати за електрику. Нова технологія дає змогу вбудовувати сонячні батареї в покрівельний матеріал дахів.

Стіни Трома – сонячні колектори, що є частиною самого будинку. Це велика панель із вікнами, зверненими на південь. Чималі вікна пропускають сонячне проміння, що потрапляє на розташовану на незначній відстані від вікон бетонну стіну, забарвлену в чорний колір. За стіною – житлові приміщення будинку. Стіна сильно нагрівається, нагріваючи й повітряний простір навколо, через отвори у верхній частині чорної стіни тепле повітря надходить у житлові приміщення, сама стіна також тривалий час зберігає тепло завдяки щільній бетонній структурі. Цей пристрій має великі перспективи.

Системи активного геліообігріву – то є спеціально сконструйовані колектори-поглиначі сонячної енергії в комплекті з насосом або феном, що розгонить тепло по трубах і батареях внутрішнього парового опалення. Декілька з`єднаних колекторів, виготовлених із металевих труб, укладені в ящики зі скляним або прозорим пластмасовим покриттям зверху (зверненим до сонця), розташовано на даху в місці з максимальною освітле-

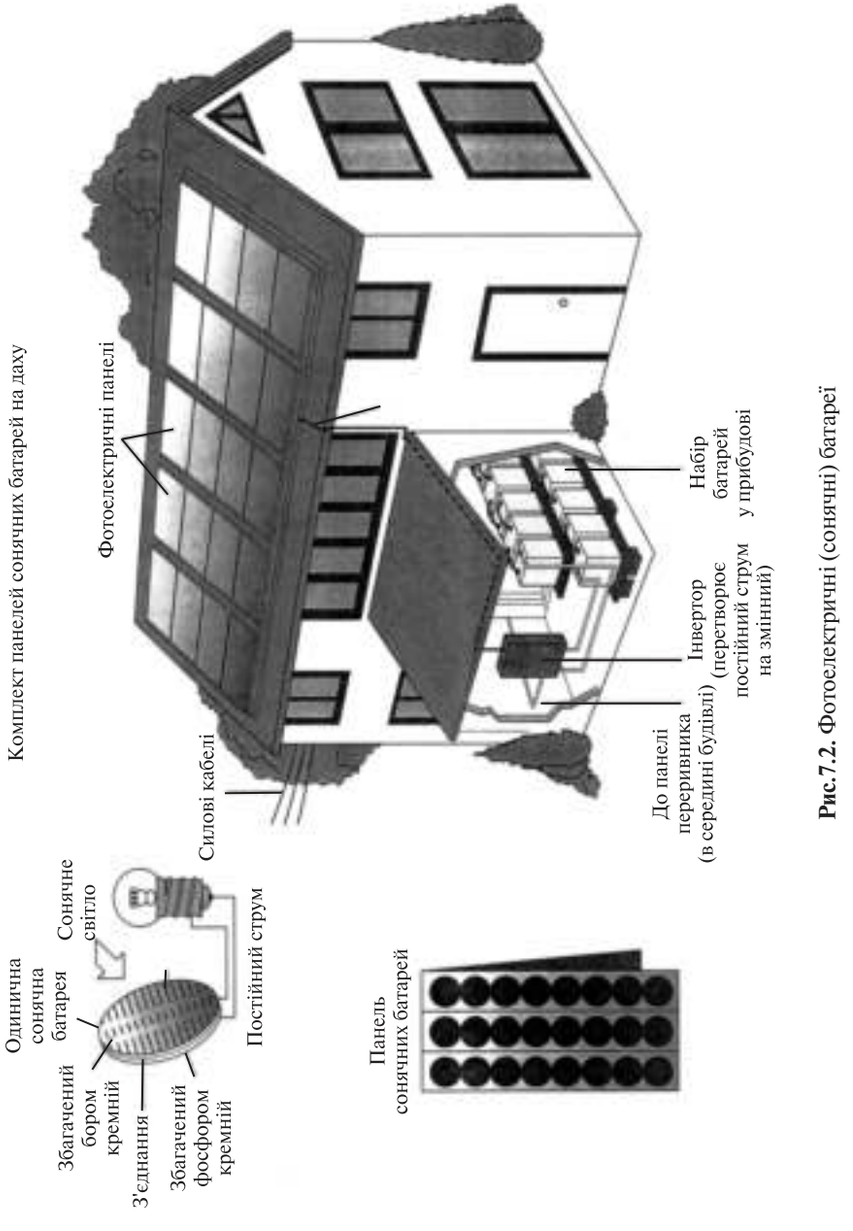


Рис.7.2. Фотоелектричні (сонячні) батареї

ністю. Частина тепла може бути використана безпосередньо, інша – накопичена в теплоізольованих ємкостях, що містять воду, щебінь або теплопоглинальні хімічні речовини. Потім у разі потреби нагромадженою енергією можна буде скористатися. Активні сонячні колектори можуть бути використані і для розігрівання води в баку всередині будинку з подальшим розподілом гарячої води по трубах опалення в приміщеннях. На Кіпрі та в Йорданії системами активного геліообігріву забезпечено 25–65 % будинків. Близько 12 % будинків Японії, 37 % Австралії та 83 % Ізраїлю також використовують цю систему. У наш час вартість систем активного геліообігріву занадто висока (в середньому близько 3,5–3 тис. дол США) для більшості населення – власників будинків. Незважаючи на це, сотні тисяч будинків у США забезпечено такими системами. Розробляються системи вартістю не більш як 700 дол, і вони мають привабливіший вигляд, не псують зовнішню красу будинків.

Бажання населення купувати геліоустановки в багатьох країнах (США, Канада та ін.) стимулюється урядом, який вводить спеціальні податкові пільги, пільгові кредити. Це – взірець практичної турботи про довкілля.

Значні досягнення в розробці низькотемпературних недорогих сонячних колекторів має й Україна. У Дніпропетровську агентство "Циклон-А" 1998 р. спроектувало й випробувало ефективний вакуумний геліоколлектор, здатний цілорічно функціонувати в умовах будь-якого району України й навіть північніше, у температурному діапазоні від - 60 до + 100 °С. Можлива вартість колектора за серійного виробництва (близько 1 000 штук на рік) еквівалентна 60 дол США. Термін експлуатації геліоколлектора теоретично необмежений, практично – понад 20 років.

Високотемпературні геліосистеми — це такі ефективні нагромаджувачі й перетворювачі сонячної радіації, які виробляють високотемпературне тепло (0,32 – 3 тис. градусів і більше) та входять у систему з парогенераторами й електродвигунами. Є декілька типів високотемпературних сонячних систем: сонячні енергетичні (силові) вежі, сонячні термальні станції, сонячні печі, сонячні куховарки, оптичні сонячні концентратори тощо.

У деяких системах сотні тисяч дзеркал, контрольовані й регульовані комп'ютерами (геліостати), уловлюють і сфокусовано відбивають сонячне проміння на розташовану в центрі вежу–нагромаджувач тепла (рис.7.3).

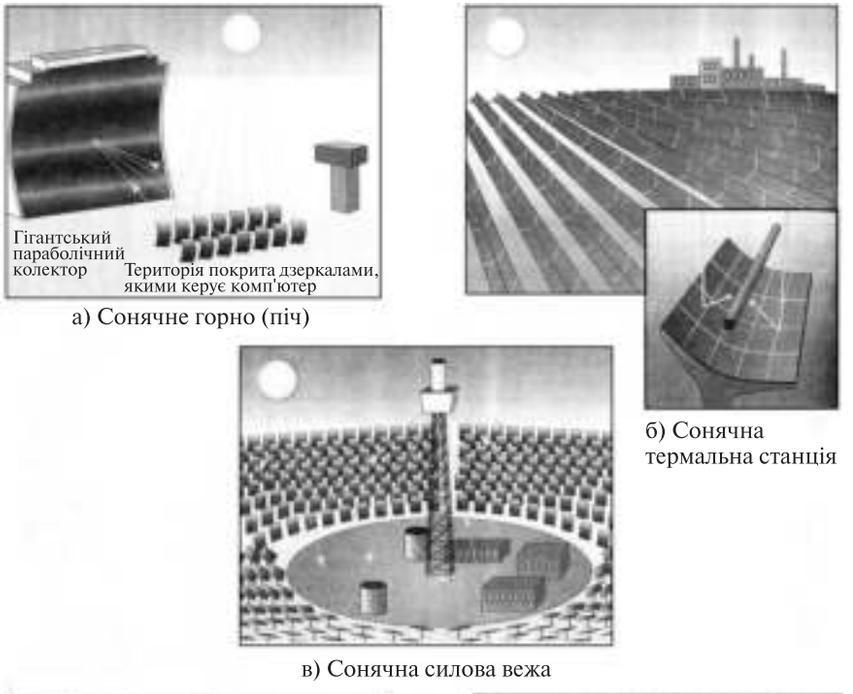
Нині станції а), б) і в) використовують здебільшого для того, щоб забезпечити надійність роботи за денних пікових рівнів електричного навантаження, особливо в сонячних районах.

В інших системах сонячна енергія збирається і фокусується на трубах, наповнених нафтою і вміщених посередині увігнутих сонячних колекторів. Концентроване в цих системах сонячне світло генерує надзвичайно високі температури, що їх можна використати в промисловому виробництві для одержання пари, яка обертає турбіни й відтак виробляє електроенергію. Великі надії покладають на оптичний геліоконцентратор, у якому сонячне проміння не фокусується на певних точках, а сканується. Такий концентратор здатний у 80 000 разів підсилити сонячне світло, що досягає поверхні Землі, а це дає змогу виробляти водень для палива, опріснювати воду, очищати вугілля, перетворювати токсичні відходи на менш токсичні.

Найбільшою енергетичною сонячною вежею є «Солар-1» (США, Каліфорнія, пустеля Мохаве), де геліоагреґати розташовані на 52 га. З 1982 р. вона дає 10 МВт електроенергії, її будівництво коштувало 140 млн дол США, що 20 років тому було майже в 10 разів дорожчим за вартість традиційної енергії. Вежа й досі працює.

Більшість подібних сонячних електростанцій працює за таким принципом: поле дзеркал-геліостатів "стежить" за сонцем і відбиває його проміння на приймач-ресивер, установлений на високій вижі. Ресивер – це сонячний котел, у якому виробляється водяна пара середніх параметрів, і ця пара потім прямує в парову турбіну.

За робоче тіло в колекторах править вода, а в зимовий період – водно-спиртовий розчин. Ефективність використання проміння, що падає на приймач, становить 20...35 %, вироблена електроенергія – 10...30 % ефективного падаючого випромінювання. Принципова схема такої установки наведена на рис.7.4.



а) Сонячне горно (піч)

б) Сонячна термальна станція

в) Сонячна силова вежа

г) Оптичний сонячний концентратор

д) Сонячна куховарка

Рис.7.3. Використовувані методи одержання й концентрації сонячної енергії для виробництва високотемпературного тепла та електрики

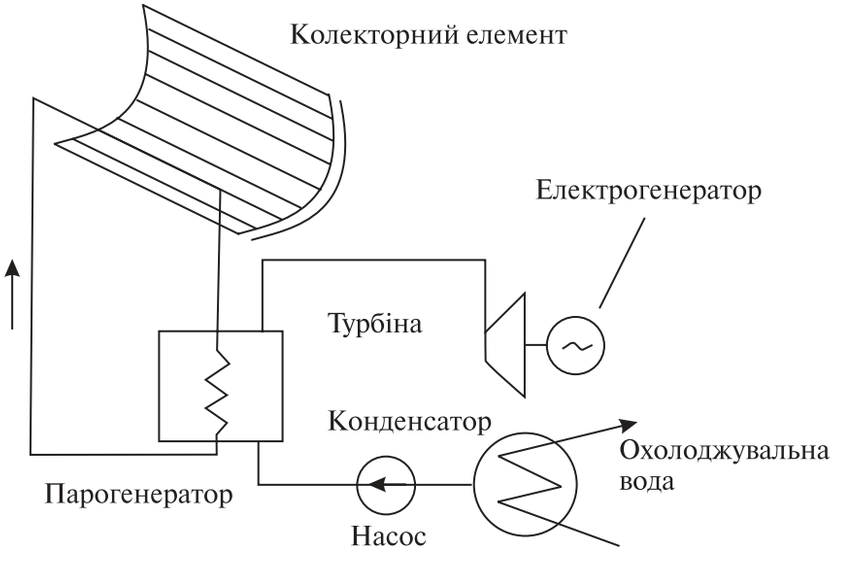


Рис.7.4. Принципова схема паросилової сонячної електростанції

Тепер розроблено проекти геліовеж на 12 і на 100 МВт (США); вони коштують значно менше, ніж «Солар-1», і є перспектива подальшого їх здешевлення (Компанія «Сазен Каліфорнія Едісон» та ін.). Геліоенергетичні вежі побудовані також в Іспанії (Альмерія), на Сицилії (Адрано), у Франції (Телнес), у Японії (Ніо Таун), але вони є трохи меншими за «Солар-1».

Також поширилося будівництво геліостанцій (Каліфорнія, м. Уорнер Спрингс, станція «Солар Плант-1»). Тут замість дзеркал використовують пластмасову плівку, покриту металом і туго натягнуту на півтораметрові алюмінієві обручі. Вакуум-насос надає плівці потрібну кривизну. Вежі немає, кожну групу дзеркал сфокусовано на свій окремий колектор, наповнений водою з сіллю. Колектори з`єднані між собою трубами, якими водяна пара прямує в турбогенератор. Вартість геліостанції є значно меншою, ніж вартість геліовежі, та практично дорівнює вартості енергії, одержуваній від спалювання вугілля або нафти.

7.2.2. Пряме перетворення сонячної енергії на електричну

Сонячне світло може бути перетворено безпосередньо на електрику за допомогою фотовольтажних елементів (осередків), що їх, як правило, називають сонячними елементами. За основу сонячних елементів слугують пристрої, виготовлені з кремнію й названі напівпровідниковими приладами. Саме вони зробили революцію у виробництві комп'ютерів.

Сонячний елемент (система) – це дві тонкі пластинки кристалічного кремнію (монокристалічні або полікристалічні), з`єднані між собою (як два прозорі аркуші паперу). Сонячне світло, падаючи на верхню пластину, вибиває з кристала кремнію електрони, посилаючи їх в іншу пластинку. При цьому утворюється постійний електричний струм, який конче треба перетворювати на змінний. В окремій пластинці струм буває досить малої потужності, тому велику кількість пластинок об'єднують у панелі, що виробляють 30–100 Вт. Потім кілька панелей з'єднують кабелями в блоки, які встановлюють на дахах, підставках або полицях, де сонячного світла щонайбільше. Перевагою сонячних елементів (батарей, станцій) є їхня безшумність, невичерпність джерела енергії, брак рухомих деталей, бездефіцитність матеріалів, з яких вони виготовляються (кремній, скло, пластик та ін.), простота і швидкість установлення, обслуговування, заміни, розширення (збільшення кількості блоків), простота догляду. Скільки завгодно сонячних елементів можна встановити в пустелях, на околицях міст, уздовж автотрас і залізниць, уздовж трубопроводів, на дахах тощо. Їх можна використовувати на невеликих енергетичних станціях (для електроживлення водопідіймальних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, у домашньому господарстві та ін.), комбінуючи виробництво електрики в сонячні дні – за допомогою геліоблоків, а в надто похмурий час – за допомогою газових турбін. Сонячні батареї практично не забруднюють довкілля, не порушують землю, можуть працювати і в хмарні дні. Їхню ефективність (ККД) уже прирівнюють до ефективності АЕС і ТЕЦ.

Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, становить 50...250 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях (рис.7.5) сонячні батареї використовують у процесі складання фотоелектричних генераторів. Термін служби такої станції – 20...30 років, експлуатаційні витрати є мінімальними.

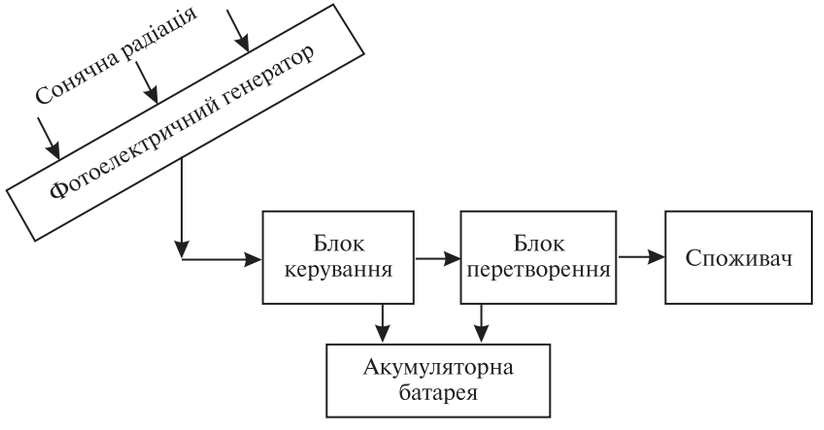


Рис.7.5. Схема сонячної фотоелектричної установки

Єдиною вадою сонячних батарей поки що залишається їх порівняно висока вартість (8–12 центів за кВт·г), але багато компаній ведуть роботи зі здешевлення вартості виготовлення сонячних елементів. Одна німецька компанія успішно випробувала геліоелектричне вікно, інші ж розробляють технології установки сонячних елементів на фасадах будівель і споруд. Комплекси сонячних елементів – ідеальна технологія для електрифікації сільських місцевостей. В Індії сонячні батареї встановлено в 38 000 сіл, у Зімбабве – у 2 500 сіл. На дахах будинків у Південній Африці, Шрі-Ланці, Домініканській Республіці та інших слаборозвинених країнах установлено понад 200 000 комплексів сонячних елементів, у Норвегії – 50 000, у США – близько 100 000.

Фахівці припускають, що до 2050 р. сонячні елементи даватимуть близько 30 % (у деяких країнах, зокрема США – до 50 %) від загальної електроенергії, що виробляється у світі. Кращі технології з виробництва сонячних елементів розроблено в Німеччині, Японії, Італії. Найбільш високоякісні з високим ККД фотоелектричні сонячні елементи застосовують у космонавтиці. Вони – найдорожчі, оскільки виготовлені з монокристалічного кремнію. Дешевші виготовляють із полікристалічного кремнію та широко застосовують для наземних потреб.

У колишньому СРСР перша дослідна геліовежа («Сонячна електростанція» – СЕС-5) була збудована в Криму, в районі п-ова Казантип (смт. Щолкіне), в 1985 р. Її потужність становила 5 МВт і вартість споруди була дуже високою, як і «Solar-1» у США. Станція ефективно пропрацювала 6 років, припинивши своє існування після розпаду СРСР. У 1988 р. на базі СЕС-5 передбачалося спроектувати потужнішу сонячну станцію – на 100 МВт, але ці плани не було здійснено. Названа СЕС-5 мала металеву вежу 89 м заввишки з котлом-парогенератором на вершині. Навколо вежі було встановлено 1 600 геліостатів – квадратних дзеркал з поперечником 5 метрів, змонтованих на фундаменті з 6 400 залізобетонних паль. За допомогою комп'ютерного комплексу дзеркала стежили за сонцем, рухаючися синхронно світилу по горизонтальній і вертикальній осях і фокусуючи віддзеркалене проміння на поверхні парогенератора. Нагріваючись до 250–300 °С, вода в парогенераторі перетворювалася на пару і трубопроводами прямувала до турбіни, установленої в машинній залі, де й вироблялася електроенергія. Вночі і в негоду робочий режим СЕС-5 підтримував акумулятор-резервуар з 400 т гарячої води (t°=120 °С).

Тепер у США ведуться роботи над проектом, що має на меті одержати сонячну енергію з космосу. Американська космічна аґенція НАСА вивчає можливості запуску супутників, призначених для поставки сонячної енергії на Землю вже до 2017 р. Проект "Сан Тавер" передбачає запуск на орбіту 12 тис. км (над екватором) цілої серії супутників, кожнен з яких має виробляти 200–400 МВт енергії. Другим проектом під назвою – «Солор диск» передбачено вироблення супутниками енергії в кількості до 5 ГВт. До реалізації проектів, які вважаються досить перспективними, залучають і державних, і приватних інвесторів.

Над схожими проектами працюють також учені Німеччині та Франції.

Дедалі частіше сонячні елементи використовують для електродвигунів в автомобілях (США, Німеччина, Японія), на яхтах, невеликих літальних апаратах на зразок планерів.

7.2.3. Потенціал і перспективи використання сонячної енергії

Рельєф і особливості атмосферних умов визначають фактичний радіаційний режим, який конче потрібно враховувати під час вибору та проектування геліотехнічних установок. Радіаційний режим території України, надто ж її південних районів, у цілому є сприятливим для практичного використання сонячної енергії.

Значну частину території України характеризує середня інтенсивність сонячної радіації. У реальних умовах хмарності річне надходження сумарної сонячної радіації дорівнює 1050 – 1400 кВт·г/м^2 за загального збільшення з Півночі на Південь, при чому внесок розсіяної радіації становить 40 – 50 %. Частка прямої сонячної радіації змінюється протягом року. З листопаду по лютий вона становить 20—40 %, з березня по жовтень – 40—65 %, на південному березі Криму влітку – до 65–70 %. На добовий рівень сонячної радіації впливає прозорість атмосфери. Як правило, в літній час у першій половині дня атмосфера буває прозорішою. Інтенсивність і годинні суми прямої та розсіяної сонячної радіації в літні місяці вранці є більшими на 3 – 4 %, ніж у відповідні за висотою Сонця вечірні години.

Найбільше число годин сонячного світла (2 300—2 400) припадає на Крим і на узбережжя Чорного та Азовського морів. У степовій Україні тривалість сонячного сяйва за рік становить 2 000—2 200 годин. У районі Полісся і на сході України його тривалість зменшується до 1 740—1 840 годин. У низинах Закарпатської області число сонячних годин досягає 2 025 на рік. Найбільш сонячними місяцями є травень – серпень, щонайменше сонця маємо в листопаді – лютому.

Щоб дати хоча б загальну оцінку ресурсам сонячної енергії, всю територію України умовно можна поділити на 4 зони. Перша зона характеризується річною сумою сонячної радіації, що є меншою 1 100 кВт·г/м^2, друга – 1 100 – 1 200 кВт·г/м^2, третя – 1 200 – 1 300 кВт·г/м^2, четверта – 1 300 – 1 400 кВт·г/м^2.

Сонячні установки (навіть з урахуванням високих початкових капіталовкладень) досить ефективні в сприятливих кліматичних умовах, властивих для практично всієї території України. Згідно з оцінками, для нашої країни добове надходження сонячної радіації становить близько 20 ГДж/м^2 на рік. Величина енергії сонячного випромінювання змінюється залежно від пори року й регіону України. Так, її питомий потік за рік (на 1м^2 горизонтальної поверхні) коливається від 3,85 ГДж у Львові, до 4,99 ГДж у Сімферополі.

Досвід проектування та експлуатації сонячних установок гарячого водопостачання в умовах України показує, що їх застосування дає змогу заощадити (порівняно з джерелом традиційного водопостачання) умовне паливо в межах від 85 кг у. п. м^2 у Львові до 132 кг у. п./м^2 у Сімферополі. Освоєння сонячної енергії з метою одержання електричної енергії проводять у двох основних напрямах: фотоелектричному і термодинамічному. Фотоелектричний являє собою безпосереднє перетворення електромагнітного випромінювання Сонця оптичного діапазону на електричну енергію постійного струму за допомогою спеціальних фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), виготовлених на основі кремнію, арсеніду, галію та інших широко відомих провідників. Термодинамічний напрямок – сонячна енергія концентрується на котлі, пара з якого поступає в турбіну з генератором (створення сонячних теплових електричних станцій).

Використання сонячної енергії для теплопостачання не лише заощаджує паливо, а й сприяє захисту довкілля, причому в окремих регіонах результат може бути значним.

Перспективним є використання так званих систем пасивного сонячного опалювання, тобто систем, у яких не застосовують спеціального устаткування, а приймачами і акумуляторами сонячної енергії є самі конструкційні елементи будівель і споруд.

Такі системи створюють можливість у різних кліматичних зонах економити від 20 до 60 % палива, що витрачається на опалення.

Цей практичний напрям сонячної енергетики є найбільш освоєним. В його підґрунті лежить використання пристроїв, що перетворюють сонячну радіацію на теплоту. Установки сонячного теплопостачання використовують для гарячого водопостачання, опалення і кондиціювання повітря в житлових, громадських, санаторно-курортних будівлях, для підігрівання води в плавальних басейнах, а також для потреб сільського господарства.

Оцінюючи загальний стан сонячної енергетики в Україні, його можна охарактеризувати як початкову стадію у розвитку цього напряму. Мірою вдосконалення технологічних рішень і підвищення економічності сонячних енергоустановок масштаби використання сонячної енергії збільшуватимуться.

7.3. Вітроенергетика і мала гідроенергетика

7.3.1. Потенціал і перспективи розвитку вітроенергетики

Людство з давнени послуговувалося енергією вітру. Ще первісні люди використовували видовбані човники з вітрилами. Стародавні перси задовго до голландців мололи зерно за допомогою вітряків, причому їхні вітряні млини оберталися на вертикальній осі. Чимало століть тому голландці вже застосовували вітряки не тільки для перемелювання зерна, а й для відкачування води з обвалованих понижень ландшафту, на яких обробляли сільськогосподарські культури. Довжина лопатей у голландських вітряках сягала 12 м. Багато вітряних млинів Голландії, яким нині понад 500 років, усе ще в робочому стані.

У 50-х роках. XIX ст. у США був винайдений новий тип вітряків – багатолопатевий, а вже до середини XX ст. близько 6 млн багатолопатевих вітряків на території США качали воду

з криниць і першими забезпечували електрикою американських фермерів, мололи зерно, давали світло й тепло, допомагали сільським районам підключатися до радіо. У віддалених від промислових центрів і міст фермах та селищах, куди нерентабельно або дуже складно тягнути лінії електропередач, і тепер – не лише в США, а й в інших країнах Європи та Азії – вітряки ефективно використовуються як малопотужні енергоустановки (для відкачування води з колодязів, свердловин, для освітлення, живлення електроогорож тощо).

До революції 1917 р. у Росії понад 200 000 вітряних млинів виробляли близько 95 % борошна, десятки тисяч вітряків функціонували в Україні, ефективно використовуючи енергію вітру. Згодом в Україні налічувалося близько 30 тис. вітряків, які виробляли до 200 тис. КВт·г енергії. З початком колективізації їх число значно зменшилося, а до 1988 р. – залишилося всього 15!

Перший вітроагрегат у колишньому СРСР було побудовано 1931 р., він мав потужність 100 кВт і пропрацював до 1941 р. З об'єктивних причин країна після війни не зуміла закріпити свої успіхи й далі розвинути будівництво вітроелектроустановок (ВЕУ). Від 1990 р. в Росії знову проводять роботу зі створення ефективних вітродвигунів потужністю 30, 60, 100, 250, 1000 та 1050 кВт. У 90-х роках. XX ст. планувалося будівництво цілої низки вітроенергетичних станцій: біля Ленінграда (25 МВт), у Казахстані (15 МВт), Криму (12,5 МВт), Дагестані (6 МВт), але після розпаду СРСР ці плани так і не було втілено в життя.

Вітроенергетика є похідною від впливу активності Сонця на земну атмосферу. На сучасному етапі це одна з найперспективніших галузей нетрадиційної енергетики. За наявними прогнозами вже на початку XXI ст. вітрова енергетика задовольнятиме від 1...2 % до 10...15 % електроенергетичних потреб у різних країнах Європейського Союзу. Загальна потужність вітроенергетичних установок під 2005 р. становитиме 8,0 млн кВт. Найефективнішими вважають ВЕУ потужністю 100 – 200 кВт. Існує позитивний досвід роботи вітроустановок потужністю 300...1 500 кВт з вітроколесами діаметром 40 – 60 м.

У Європі провідне місце належить Данії, де побудовано 3 600 ВЕУ, що вже тепер виробляють 3 % від загального об'єму

електроенергії країни. Причому 3 218 вітроагрегатів сполучені між собою загальною мережею встановленою потужністю 418 МВт, яка виробляє 740 млн кВт·г на рік. Активна робота з використання енергії вітру проводиться у Великобританії, де екологічні й метеорологічні умови є сприятливими. Потенціал ВЕУ, споруджуваних на узбережжі, на ізольованих островах і плавучих платформах, становить тут $220 \cdot 10^6$ кВт·г на рік (20 % електропостачання Великобританії). Термін окупності ВЕУ середньої потужності за швидкості вітру 8 м/с становить 5...7 років, а термін служби – 15...20 років.

Якісне зрушення в розвитку цього напряму нетрадиційної електроенергетики в Україні намітилося після Чорнобильської катастрофи й дістало додатковий імпульс за останні десять років. Дотепер розроблена ціла серія вітроустановок різної потужності (0,5; 1,5; 2; 4; 10; 25; 80; 100 кВт) і різного призначення. Створені вітроустановки з горизонтальною віссю обертання й потужністю 200, 250, 500 кВт і вертикальною віссю обертання – 1 250 кВт, виготовлено 40 ВЕУ потужністю 200 кВт, які призначені для роботи на лінії електропередач. Нині (спільно з американською фірмою «Віндпавер») реалізується великий проект щодо створення вітростанції USW-56–100 зі встановленою потужністю 500 МВт на базі ВЕУ (потужність окремої установки 107,5 кВт, кількість 5 000 шт.). Вітроелектростанції цього типу будуть розміщені в Криму, де вже змонтовані і працюють 32 такі установки. Усі вітроелектричні установки можуть працювати в комплексі з ншими енергоустановками, що використовують відновлювані джерела енергії.

Окрім завважених науково-технічних і виробничих чинників, які окреслюють перспективи розвитку вітроенергетики, досить важливим є рівень потужності вітрового потоку, котрий визначає доцільність застосування ВЕР у тому або тому регіоні.

Україна має величезні ресурси вітрової енергетики. Відомо, що енергію вітру можна використовувати за $v > 3$ м/с, а максимальної ефективності досягають у районах, де $v > 5$ м/с. До таких районів належить Азово-Причорноморська зона, Донецька, Луганська, Запорізька області, район Карпат. Тут спостерігається максимально можливе використання енергії вітру, бо час роботи вітродвигуна дорівнює близько 600 г/місяць. Мінімальна енергія вітру припадає на середню течію Дніпра й північно-західну частину України (січень – 500 годин). Нескладні розрахунки показали, що в приморській зоні України, в Донбасі та Південній частині степів ВЕУ працюватимуть 180...200 повних робочих днів за швидкості вітру $v = 5$ м/с. Відповідно, запаси вітрової енергії становитимуть 2...2,5 тис. кВт·р/м^2. Аналіз даних щодо вітрової ефективності України свідчить про великі потенційні можливості й доконечність розвитку вітроенергетики для забезпечення електрикою і теплом, насамперед, автономних сільськогосподарських споживачів. ВЕР потужністю до 1 кВт є достатньою, щоб забезпечити енергією підсобне господарство. Серія установок загальною потужністю 150—200 кВт задовольнить 50 % потреби в електроенергії, що її має селище з населенням 1 000 чол., дасть змогу заощадити до 300 тис. кВт на рік. Установка потужністю 50 – 60 кВт розв'яже інші проблеми його енергозабезпечення (теплом, водою тощо), при цьому буде зекономлено ще до 200 тис. кВт електроенергії на рік.

Сумарна площа, на якій доцільним є одержання електроенергії від вітроустановки, становить близько 20 % всієї площі України, а можливий річний енергетичний потенціал ефективного використання ВЕР – 300...600 млрд кВт·г електроенергії. (Для порівняння: у 1992 р. всіма електростанціями України вироблено 282,6 млрд кВт·г електроенергії). У перспективі обсяг електроенергії, виробленої ВЕР України, може становити 15...20 % від загальної кількості електроенергії, яку виробляють традиційні електростанції. Отже, використання вітроустановок для виробництва електроенергії є найефективнішим і найпривабливішим способом утилізації вітрової енергії. Тим самим вона сприятиме зменшенню негативного впливу традиційної енергетики на екологію окремих регіонів, зокрема таких напружених, як Донбас, на екологію курортних зон Криму і, взагалі, Чорноморського й Азовського узбережжя.

Сумарну кінетичну енергію вітру над планетою оцінюють у приблизно в $2{,}43 \cdot 10^{15}$ кВт·г, що в 5 разів перевищує сучасне світове споживання електроенергії. Технології його використання стають усе ефективнішими, екологічність вітроустановок, порівня-

но з ТЕС й АЕС, є досить значною, перспективи вітроенергетики оцінюються високо: до 10–12 % від загальної електроенергії, що виробляється у світі (під 2050 р.) і до 10–25 % – від електрики, яку використовують у США.

За розрахунками фахівців, у 2000 р. сумарна потужність вітроелектростанцій США досягла 50 млн кВт, в Україні – 2 млн кВт.

Нині європейські уряди витрачають на дослідження щодо розвитку вітроенергетики в 10 разів більше коштів і планують у найближчому майбутньому виробляти в 2 рази більше електрики за допомогою вітру, ніж у США.

До 2000 р. вартість вітроенергетики практично зрівнялася з вартістю атомної й теплової енергетики.

Особливості конструкцій вітродвигунів. Енергія вітру має свої особливості: невелику концентрацію, віднесену до одиниці об'єму повітряного потоку, випадковий характер зміни швидкості. Енергія виробляється, коли лопаті вітродвигуна обертаються під натиском вітру. Величина енергії, що виробляється при цьому, залежить від розмірів, форми, кількості лопатей, від сили вітру і зростає пропорційно квадрату довжини лопаті й кубу швидкості вітру. Кількість лопатей у роторі може бути різною: 1, 2, 3, 4, 8, 18, 30 тощо.

Кінетичну енергію вітрового потоку обчислюють за формулою:

$$A = mV^2/2,$$

де m – маса рухомого повітря, кг; V – швидкість вітру, м/с.

Потужність вітрового потоку визначається як

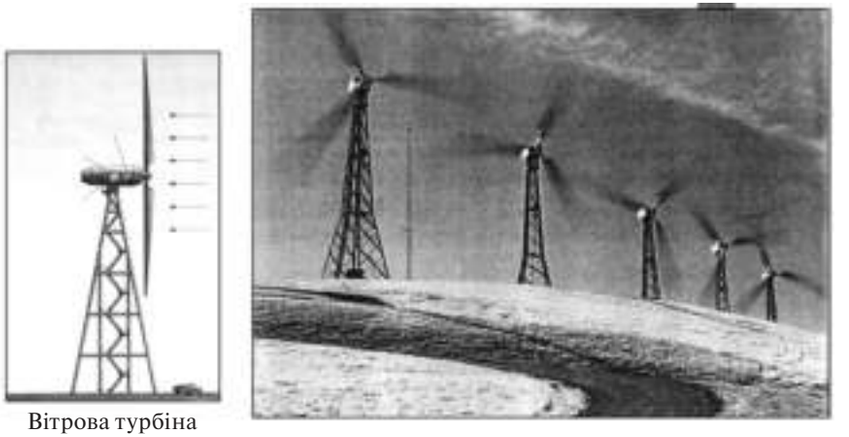
$$P = \rho \cdot FV^3/2,$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3; F – площа, що її перетинає вітровий потік, м^2.

Теоретичний ККД ідеального вітрового колеса (критерій Бетца), який характеризує перетворення потужності повітряного потоку, що проходить крізь площу його перерізу, в потужність на валу колеса, становить 16/27=0,59. Проте, реальний ККД не

перевищує 0,45. Наприклад, вітрове колесо з лопаттю в 10 м завдовжки при швидкості вітру 10 м/с може мати потужність на валу не більшу від 85 кВт.

Нині існує багато різних конструкцій вітроагрегатів – не тільки пропелерного типу, а й у формі щитів, що гойдаються під натиском вітру (з горизонтальною і вертикальною віссю обертання). Сучасні вітродвигуни – це складні автоматизовані електромеханічні системи з перетворення енергії вітру на електроенергію заданої якості. Головними елементами вітроагрегату є ротор (лопаті), генератор, коробка передач, струмозбирачі, електрокабелі, щогла (рис.7.6).



Вітрова турбіна

Рис.7.6. Вітроагрегати

Вітрові турбіни можна використовувати, для виробництва електрики індивідуально або в кластерах, які ще називають вітряними станціями. Тепер якнайширше використовуються турбіни, що мають три скловолоконні лопаті 20–30 метрів (66–98 футів) в діаметрі. Вітряні станції, більшість з яких автоматизовані, дають приблизно 1 % електрики для Каліфорнії — цього досить, аби забезпечити нею 280 000 будинків.

Залежно від потужності генератора, вітроустановки поділяють на класи, параметри і призначення яких наведено в табл.7.7.

Більшість великих вітродвигунів розраховано на роботу при швидкості вітру 17—58 км/г, оскільки вітер зі швидкістю менше 17 км/г дає обмаль корисної енергії, а швидкість понад 58 км/г загрожує роботі аґреґату й може спричинити його зіпсуття. Великі пропелерні лопаті схильні до "втомлюваності". Як правило, двигуни встановлюють на високих щоглах (вежах) – від 30—40 до 60—70 м таким чином, аби лопаті були відкриті сильнішим вітрам, що дмуть на значних висотах. Високі щогли потребують особливої міцності конструктивних матеріалів.

Оскільки швидкість вітру варіює, суттєво змінюється в короткі проміжки часу і веде до різкої зміни числа обертів генератора за секунду, то змінний струм, що виробляється у процесі обертання осі, випрямляють, тобто перетворюють на постійний (електронний перетворювач установлюють у великих вітродвигунах, акумуляторні батареї – в малих).

Таблиця 7.7.

Класифікація вітроустановок

Клас установки	Потужність, кВт	Діаметр коліс, м	Кількість лопатей	Призначення
Малої потужності	15–50	3–10	3–2	Зарядка акумуляторів, насоси, побутові споживачі
Середньої потужності	100–600	25–44	3–2	Енергетика
Великої потужності	1 000– 4 000	>45	2	Енергетика

Акумуляторні батареї є доконечно потрібними для накопичення електроенергії на періоди, коли немає вітру.

Як свідчить досвід експлуатації вітродвигунів за останні 20 років, гігантські вітротурбіни (на зразок MOD-2, США, вежа 61 м заввишки, лопаті робочого колеса турбіни мають загальну довжину 92 м, вага кожної – 80 т, потужність – 2,5 МВт) будуть нерентабельні, надто складні й ненадійні. Значно перспективнішою вважають розробку вітродвігунів потужністю 50, 100, 200 і 500 кВт для забезпечення електрикою міст, муніципальних

підприємств і 8–50 кВт – для забезпечення нею сільських районів, фермерських господарств.

Термін окупності вітроенергетичної установки залежно від місцевості, наявності комунікацій, потужності самого обладнання тощо становить 3—8 років.

Питомі капітальні витрати для станції малої потужності дорівнюють 800–1 000 дол США за 1 кВт установленої потужності та знижуються зі збільшенням потужності установки. Так, капітальні витрати на вітроенергетичну станцію потужністю 250 кВт (Данія) становлять 40 тис. дол США при терміні окупності 6—7 років.

Рівні виробництва електроенергії за рахунок вітроустановок у країнах ЄС ілюструє рис.7.7.

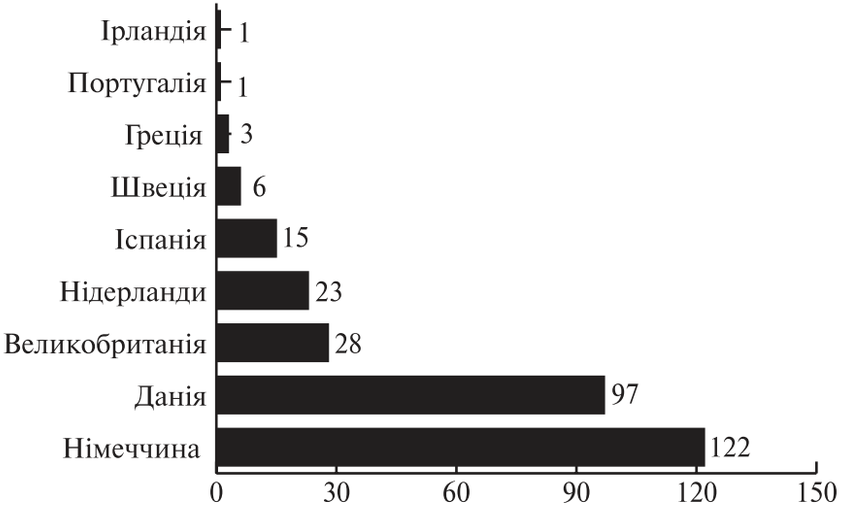


Рис.7.7. Виробництво електроенергії за рахунок вітроустановок у країнах ЄС

Прикладом ефективного використання вітроенергетики може слугувати "вітряний парк" (Західне узбережжя, Шлезвіґ-Гольштайн, Німеччина). Наприкінці 1987 року недалеко від Брюнсбюттеля на узбережжі Північного моря запрацювала перша в Європі велика вітрова станція. На площі 21 га рівнинного ландшафту на греблях було встановлено на бетонних

і сталевих вежах 32 вітродвигуна середньої потужності. Поблизу Вільгельмсхафена (Нижня Саксонія) наприкінці 1989 р. також установили 3 шістдесятиметрові вежі з лопатями 28 м завдовжки (однолопатеві). Ці вітротурбіни виробляють по 640 кВт електроенергії, здатної задовольнити потреби 1 600 домашніх господарств. В Індії ледве чи не 3 000 середніх вітротурбін уведено в експлуатацію останніми роками.

1993 року в Україні, в районі затоки Доузлав (Крим) запустили вітростанцію, побудовану за співпраці американських та українських фахівців. Її потужність становить 500 МВт (53 аґрегати USW-56-100). Успішно функціонує Акташська ВЕС (11 ВЕУ АВЕ-250 виробництва НВО «Південне»). Вітроелектростанції Криму з початку експлуатації й до кінця століття виробили близько 10 млн кВт·г.

Згідно з комплексною програмою будівництва ВЕС в Україні до 2010 р. передбачено спорудити в Криму п'ять ВЕС загальною потужністю до 200 МВт (Сакська, Джанкойська, Міновська, Прісноводненська, Східно-Кримська – найбільша, складається з 150 ВЕУ загальною потужністю 150 МВт). Перевагу надано тихохідним установкам, розрахованим на швидкість вітру від 3 до 12—15 м/с.

Українські ВЕУ виробляють у 1,5 раза дешевшу електроенергію, порівняно з американськими.

7.3.2. Мала гідроенергетика

Поки що немає загальноприйнятих критеріїв для класифікації гідроелектростанцій на великі, середні, малі тощо. У країнах колишнього СРСР на практиці користувалися таким поділом ГЕС (за розміром їх потужності): мікрогідроелектростанції – ГЕС потужністю менше 0,1 МВт; малі ГЕС – потужністю 0,1—30 МВт; 30—1 000 МВт – середні ГЕС; 1,0—6 і більш ГВт – великі ГЕС (Красноярська ГЕС – 6 ГВт, Саяно-Шушенська – 6,4 ГВт, ГЕС на р. Гурі – 10 ГВт та ін.).

Відповідно до державного стандарту (ДСТУ 17.1.1.02-77. Гідросфера, класифікація водних об'єктів) до малих річок належать ті, площа водозбору яких не перевищує 2 000 км^2 або довжина становить до 100 км незалежно від площі водозбору.

Тепер до малої гідроенергетики зараховують усі об'єкти, що виробляють електроенергію коштом падаючої або рухомої води, мають потужність від декількох кВт до 1–12 МВт і розташовані не тільки в руслах малих або у верхів'ях великих річок, а й також на водосховищах, каналах, системах комунально-побутового водопостачання.

Фахівці вважають, що мала енергетика зараз переживає ніби друге народження. За минулі 30-40 років після спорудження десятків чималих ГЕС у світі (особливо в колишньому СРСР) на великих річках, гостро постало питання про доцільність спорудження великих ГЕС, адже, з одного боку, були затоплені величезні площі родючих заплавних земель, знищені сотні тисяч гектарів ефективних сільськогосподарських угідь, садів, лісів, були порушені гідравлічні та гідрохімічні режими великих і середніх річок, спровоковані до деґрадації екосистеми цих водних об'єктів і, з другого – частка електроенергії, що виробляється цими потужними ГЕС, у загальному об'ємі електроенергії, продукованої за допомогою ТЕС й АЕС, виявилася мізерною.

Неабияка вартість, наявність порівняно незначної кількості реґіонів, географічно придатних для будівництва, великий екологічний збиток від затоплення земель, підтоплень територій, замулювання, загибель риб-міґрантів, цвітіння водосховищ, збільшення сейсмічної активності та ін. спричинили те, що й у США, і в країнах колишнього СРСР, а також в інших реґіонах світу завершилася ера великих і гігантських ГЕС. Винятком залишаються Китай і Бразилія, де до кінця XX ст. спостерігався істотний приріст електроенергетики за рахунок створення та експлуатації надпотужних ГЕС (ГЕС Ітайпу в Бразилії – 12,6 ГВт, ГЕС «Три Горджес» у Китаї – 13 ГВт). Китай поки що є лідером і будівництві малих ГЕС – у країні налічують понад 90 000 гідротурбін, що обслуговують електроенергією сільські місцевості.

Останнє десятиліття минулого століття ознаменувалося тим, що промислово розвинені країни значно активізували відновлення і будівництво малих ГЕС. Це характерно для США, Японії,

країн Скандинавії, Німеччини, Польщі. У Польщі, наприклад, триває реставрація 640 малих гребель, у Канаді – 570. Річний приріст випуску устаткування для малих ГЕС (гідротурбін потужністю 0,5...11 кВт) у країнах СНД становив близько 700 штук (1995—1996 рр.). Малі ГЕС у СНД технічно можуть освоїти десь 500 млрд кВт·г (приблизно 23 %). Велику ефективність малої гідроенергії в колишньому СРСР та інших країнах підтвердили 40—50-і роки, коли в експлуатацію було введено тисячі малих ГЕС, що забезпечували дешевою й екологічно прийнятною електроенергією чимало колгоспів, радгоспів, сел, ферм, окремих промислових підприємств, заводів, робітничих селищ.

Проте в 60—70-х роках у результаті швидкого розвитку в усьому світі великої енергетики, що базувалася на великих теплових і атомних електростанціях, потужних і надпотужних ГЕС, у процесі будівництва яких цілком нехтували екологічними наслідками, багато тисяч малих ГЕС були виведені з експлуатації, законсервовані або знищені. Україна в цьому плані не стала винятком.

На початку 20-х років XX ст. в Україні налічувалося 84 гідроелектростанції загальною потужністю 4 000 кВт, а в кінці 1929 р. – уже 150 станцій загальною потужністю 8 400 кВт. 1934 року було введено в експлуатацію Корсунь-Шевченківську ГЕС (1 650 кВт), яка за своїми технічними характеристиками була однією з кращих станцій того часу.

У цей, а також у післявоєнний період електрифікація сільського господарства ґрунтувалася на збільшенні потужності й поліпшенні техніко-економічних показників малих ГЕС, кількість яких до початку 50-х років становила 956 одиниць загальною потужністю 30 тис. кВт. З розвитком електрифікації країни та централізованого енергопостачання на базі тепло- і гідростанцій будівництво малих ГЕС було припинене.

Досвід інших держав і різке змінення економічної, енергетичної та екологічної ситуації в країні (висока вартість і дефіцит ПЕР, намічена тенденція до децентралізації енергопостачання, перехід до ринкових відносин) примусили знов повернутися обличчям до малої гідроенергетики. Проведене обстеження технічного стану обладнання і споруд малої гідроенергетики

показало, що на території України збереглося 150 малих ГЕС, серед яких діють лише 49 одиниць.

Усі малі ГЕС, достоту як і гідроресурси загалом, розподілені по території України нерівномірно: більшість – у центральному і західному регіонах. Сумарна потужність становить 119,2 тис. кВт (248,9 млн кВт·г), з яких 75 % припадає на діючі ГЕС.

Загальні потенційні ресурси 202 основних річок України оцінено в 4 880 МВт, а потенційні ресурси приток великих річок, середніх і малих річок – близько 2 600 МВт. На них уже споруджено понад 20 тис. малих і великих водосховищ. Близько 260 водосховищ мають місткість 10...100 млн $м^3$, і на них можна спорудити малі ГЕС з напорами 5...10 м (одиничною потужністю 0,5...2,0 МВт).

Мала енергетика України, маючи незначну питому вагу (до 0,2 %) у загальному енергобалансі, не може істотно впливати на умови енергозабезпечення країни, проте дає змогу виробляти близько 250 млн кВт·г електроенергії. Це відповідає щорічній економії до 75 тис. т дефіцитного органічного палива. Міні- й мікро-ГЕС можуть стати масовими, рівномірно розподіленими по території України. Розвиток малої гідроенергетики слід розглядати як один з напрямів політики енергозбереження і поліпшення екологічної обстановки в Україні.

Останнім часом відроджені й відбудовані малі ГЕС різняться великим ступенем автоматизації. Сьогодні в Європі функціонує більше як 45 тис. малих ГЕС потужністю 60– 5 000 кВт, в Азії – понад 150 тис. (здебільшого в Китаї та Японії). У Швеції, Норвегії та Швейцарії мала гідроенергетика дає близько 90 % електроенергії.

У вдосконалення гідротурбін для малої гідроенергетики вагомий внесок зробили французькі інженери (фірма «Нейрпік»). Вони винайшли новий різновид турбіни грушоподібної форми, яка універсальна і може виробляти енергію просто за рахунок швидкоплинної води; для неї не потрібна гребля, вона може бути встановлена у вузьких місцях, нижче за потоки від скидної споруди. Перспективною вважають також розроблену французами (1978–80 роки) мініатюрну гідроелектростанцію «Гідролек» (фірма «Лерой-Сомер»), яка спроможна давати до 4 кВт енергії

за різниці в рівнях річкової води всього в 0,9 м, якщо швидкість потоку перевищує 266 л/с.

Сприятливим чинником для розвитку малих ГЕС є незначний час, потрібний для досягнення проектної потужності (близько 1 року, для АЕС – 10-12 років), невелика вартість, екологічність, широкі можливості для спорудження за наявності розгалуженої річкової мережі, каналів.

7.4. Біоенергетика

Стан розвитку та енергетичний потенціал. Майже третина населення Землі (приблизно 2 млрд чол.) ще й досі використовує біомасу у вигляді деревини як основне джерело палива.

Біомаса (БМ) – термін, який вживають на позначення сукупності живої і неживої, рослинної і тваринної матерії на нашій планеті. У це поняття також включено органічні залишки, відходи – гній, викиди мясо- й молококомбінатів, гнилі овочі, рештки сільськогосподарських культур на полях, органічні промислові й побутові відходи, відходи лісового господарства, боєнь, броварень, зернопереробних, текстильних, паперових заводів тощо.

У будь-якій формі біомаса є відновлюваним, єдиним доступним, простим і дешевим джерелом енергії для більшості сільських жителів планети. В Ефіопії, Непалі, Танзанії, в Сибіру й Амазонії, в Північній Канаді та на островах Полінезії, Мікронезії, в Малайзії завдяки біомасі задовольняється 80–90 % потреб у паливі. Навіть у таких розвинених країнах, як США, Швеція, Норвегія, Канада, частка енергії, одержуваної з біомаси, в загальному обсязі енергії становить 4–10 %.

Біомаса є продуктом фотосинтезу – найважливішого процесу народження живої речовини за рахунок сонячної енергії.

Одержання енергії з біомаси (деревини, деревних відходів, соломи, гною, сільськогосподарських відходів, органічної

частини твердих побутових відходів) є галуззю, що динамічно розвивається в багатьох країнах світу. Цьому сприяють такі властивості біомаси як палива: великий потенціал і відновлюваний характер, надійність систем енергопостачання, на ній базованих, можливість посутньо зменшити викиди CO_2 в атмосферу, значний внесок у розв`язання екологічних проблем завдяки використанню різних відходів, чим допомогають вирішенню соціальних питань та економічному розвитку регіонів.

Завдяки неабиякому потенціалу, стислим термінам окупності проектів, екологічним перевагам біомаса вірогідно є одним з найпріоритетніших видів серед інших відновлюваних джерел енергії в більшості країн. Під кінець XX ст. загальний обсяг світових первинних енергоресурсів становив близько 8,5 млрд т н. е., з яких приблизно 7 млрд т н. е. припадає на частку викопного органічного палива. Водночас, енергетичний потенціал усієї рослинності нашої планети становить близько 70 млрд т н. е., тобто в 10 разів перевищує використання викопного палива. Частка деревини, яку використовують для одержання енергії, становить: у Данії – 61 % від загального об'єму вивезеної з лісів деревини, у Франції – 56 %, Іспанії – 44 %, Швейцарії – 56 %. Пересічно в Європі темпи її використання зростають на 7,3 % щороку (у Швеції – 10,2 % на рік, у Данії – 9,2 %, Франції – 8,9 %, Іспанії – 7,7 %).

Нині БМ покриває в середньому 15 % загального споживання первинних енергоресурсів у світі: у країнах, що розвиваються, – 48 %, у промислово розвинених країнах – пересічно 2-3 % (США – 3,2 %; Данія – 6 %; Австрія – 12 %; Швеція – 18 %; Фінляндія – 23 %; див. табл.7.8.).

Як бачимо, ресурси біомаси є ефективним відновлюваним джерелом енергії, що його різні види наявні практично в усіх регіонах світу. Отже, у кожному з них може бути налагоджена переробка біомаси в енергію і паливо. На сучасному рівні, використавши біомасу, можна покрити 6-10 % від загальної кількості енергетичних потреб промислово розвинених країн. Біомаса, здебільшого у формі деревного палива, є основним джерелом енергії приблизно для 2 млрд чол. Для більшості мешканців сільських районів "третього світу" вона лишається

єдиним приступним джерелом енергії. Біомаса як джерело енергії відіграє надзвичайно важливу роль і в розвинених країнах. Навзагал вона дає сьому частину від світового обсягу палива, а за кількістю одержаної енергії спільно з природним газом посідає третє місце. З біомаси дістають у 4 рази більше енергії, ніж дає ядерна енергетика.

Таблиця 7.8.

Рівень розвитку біоенергетики в різних країнах

Показник	США	Данія	Австрія	Швеція	Фінляндія
Частка БМ у загальному споживанні енергоресурсів,%	3,2	6,0	12,0	18,0	23,0
Частка різних видів БМ у загальному виробленні енергії з БМ,%:					
Деревина	85	37,0	74,2	83,0	73
Солома	-	24,7	-	-	-
Рідкі палива	5,5*)	-	-	-	-
Торф	-	-	-	4,8	25,2
Тверді побутові відходи	9,5	40,5	18,9	5,2	1,8
Біогаз	5,5*)	0,33	-	-	-

*) Наведена цифра є сумарною щодо біогазу і рідкого палива.

Стратегія розвитку біоенергетики істотно відрізняється в різних країнах ЄС. Так, Австрія та Італія зосереджують свої зусилля на будівництві теплових станцій потужністю 0,5...10,0 МВт, що використовуватимуть як паливо відходи лісової й деревообробної промисловості. У Фінляндії, Данії та Швеції близько 70 % одержаної з БМ енергії перетворюються в теплову й електричну енергію на великих теплофікаційних ТЕЦ, решта ж – на великих теплових станціях. У більшості випадків такі ТЕЦ мають потужність 10...80 МВт та як первинні енергетичні ресурси використовують БМ і традиційні палива. У США майже всі станції, що працюють на БМ, виробляють електроенергію. Зведені дані про енергетичне використання БМ у різних країнах представлені в табл. 7.8.

Одним зі способів одержання енергії з біомаси тваринного і частково рослинного походження є її анаеробне (без доступу

кисню) зброджування. Для цього біомасу певний час витримують без доступу кисню, як правило, при температурі 30–37 °С або 55–60 °С. У цих умовах під дією бактерій частина органічних речовин розкладається і в результаті утворюється метан та вуглекислий газ, суміш яких і є біогазом. За нормальних умов роботи реактора (метантенка) одержаний біогаз містить 60–70 % метану, 30–40 % двоокису вуглецю, небагато сірководню (до 3 %), а також домішки водню, аміаку й оксиди азоту. Такий газ не має неприємного запаху, його теплота згорання досягає 25 МДж/м^3, що еквівалентно теплоті згорання 0,6 л бензину, 0,85 л спирту або 1,7 кг дров.

Значною перевагою біогазових установок є те, що вони одночасно відіграють роль очисних споруд, що знижують бактерійне та хімічне забруднення ґрунту, води і повітря. Порівняно з малими ГЕС, вітро- й геліоенергоустановками, які є пасивно чистими (використовують екологічно чисті джерела енергії), біогазові установки – активно чисті, тобто усувають екологічну небезпечність продуктів, що застосовуються як джерела первинної енергії.

Тепер у Європі зосереджено 44 % світового об'єму установок для зброджування аероба, в Північній Америці – 14 %. 1994 року в країнах ЄС було зареєстровано 397 великих біогазових установок, зокрема промислових і централізованих сільськогосподарських.

За своїм потенціалом і концепцією розвитку біоенергетики найближчою до України є, певно, Данія, адже обидві країни мають достатньо малу територію, покриту лісом (близько 14 %), і високорозвинутий сільськогосподарський сектор. У Данії експлуатується 50 теплових електричних станцій і 5 великих ТЕЦ, що застосовують деревину як паливо; працює 8 000 фермерських установок (0,1...1,0 МВт), 62 ТЕС (1...10 МВт) і 9 ТЕЦ, які спалюють солому; діють 18 централізованих біогазових установок, котрі щорічно виробляють 40–45 млн м^3 (0,02 млн т н. е) біогазу. В цілому, завдяки застосуванню біогазу покривається 6 % потреби країни в енергоресурсах. Данія наочно демонструє Україні, яких результатів можна досягти в цьому перспективному напрямі.

Таблиця 7.9.

Енергетичний потенціал біомаси в Україні (1997 р.)

Вид біомаси	Валовий збір, млн т	Коефіцієнт відходів	Коефіцієнт приступності	Кількість відходів, млн т	Qрн, МДж/кг	Кількість БМ, приступне на місці одержання енергії		Енергетичний потенціал БМ, приступної для енергетики	
						%	млн т	ПДж	млн т у. п.
Злакові культури	28,53	1,771	0,85	42,95	15,7	20	8,59	134,8	4,6
Кукурудза на зерно	5,34	1,2	0,7	4,49	13,7	50	2,24	30,72	1,05
Цукровий буряк	17,66	0,4	0,4	2,83	13,7	50	1,41	19,36	0,66
Соняшник	2,31	3,7	0,7	5,97	13,7	50	2,99	40,94	1,39
Деревина	5,94	0,55	0,9	2,94	15,0	40	1,18	17,65	0,60
Гній (суха речовина)	7,39	—	0,62	4,58	15,0	100	4,58	68,7	2,34
Разом	—	—	—	63,76	—	—	20,98	312,15	10,64

Дійсно, в Україні на самих лише великих свинарських і птахівничих підприємствах щорічно утворюється понад 3 млн т органічних відходів як сухої речовини, а їх переробка дасть змогу одержати близько 1 млн т у. п. у вигляді біогазу, що еквівалентно 8 млрд кВт·г. електроенергії. Крім того, існує майже 2 млн негазифікованих приватних обійсть. Досвід країн, не забезпечених природним газом, наприклад КНР, показує, що віддалені сільські місцевості доцільно газифікувати за допомогою малих біоустановок, які працюють на органічних відходах приватних садиб. Так, упровадження 2 млн. установок в Україні дало б змогу одержати близько 2 млрд $м^3$ біогазу на рік (це дорівнює 13 млрд кВт·г енергії) і забезпечило б такі садиби органічним добривом у кількості 10 млн т на рік.

Як засвідчив набутий практичний досвід виробництво біогазу є для України найперспективнішим напрямом використання енергії біомаси. Головними потенційними джерелами, крім завважених вище, є: міські комунальні очисні споруди, органічні відходи деяких промислових галузей, полігони твердих побутових відходів міст (звалища).

Попередні оцінки потенційних запасів біогазу (табл.7.9) в Україні свідчать, що (за максимального використання органічних відходів і впровадження сучасної техніки одержання біогазу) його частина в загальному використанні горючих газів може становити близько 10 %. Потенціал анаеробної ферментації України дає змогу тваринницьким комплексам покрити 30 % їхньої потреби в енергії. При цьому окрім біогазу будуть одержані високоякісні добрива. Якщо загалом енергетичні ресурси нетрадиційних енергетичних джерел в Україні становлять 78,2 млн т у. п./р., то з них на частку біоенергетики припадає 21,2 млн т у. п/р., (27 % потенціалу НВДЖЕ).

Згідно з "Протоколом про спільні зусилля щодо зниження емісії парникових газів в атмосферу" (м. Кіто, Японія, 1997 р.), промислово розвинені країни мусять до 2010 р. знизити емісію парникових газів у середньому на 5,2 % порівняно з 1990 р. (країни ЄС – на 8 %, США – на 7 %, Японія – на 6 %). Використання БМ як палива складає істотний внесок у вирішення цього питання, оскільки БМ є CO_2 – нейтральною. Під час її спалювання виділяється та ж сама кількість CO_2, яка була поглинена в процесі її зростання. Викиди парникових газів (CO_2, CH_4, N_2O) у перерахунку на CO_2 – еквівалент під час спалювання вугілля – дорівнюють величині корисної енергії, яка в 20 разів перевищує їхню кількість у процесі спалення деревної щепи.

У наш час біомасу все ширше використовують для вироблення біогазу та подальшої його переробки з метою виробити електроенергію, добрива, тепло (рис.7.8).

Біогаз одержують із рідкої маси, що містить 95 % води, тому на практиці його вихід визначити досить важко. Істотною перевагою переробки біомаси в метантенках (біогазових аґрегатах) є те, що у відходах біомаси хвороботворних мікроорганізмів міститься значно менше, ніж у початковому матеріалі.

Одержання біогазу є економічно виправданим і вигідним у разі, коли переробляють постійний потік відходів (стоки тваринницьких ферм, боєнь, потік рослинних відходів тощо). Його економічність полягає у тому, що немає потреби заздалегідь збирати відходи й керувати їхньою подачею. При цьому видно, коли і скільки буде одержано відходів.

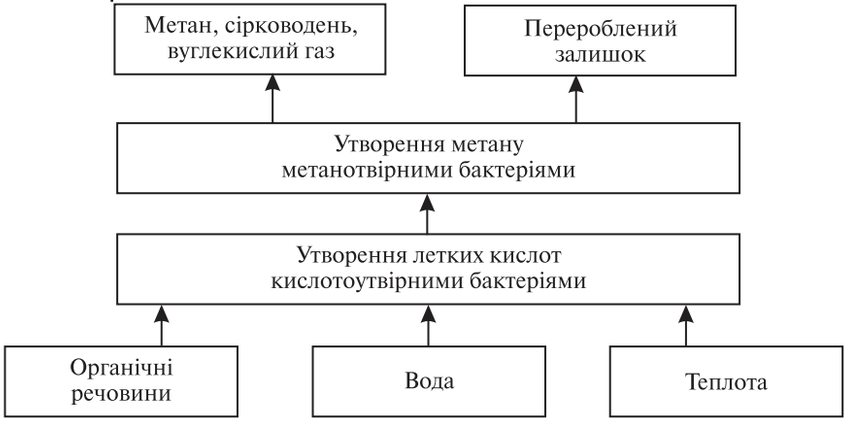


Рис.7.8. Процес одержання біогазу

Біогаз можна одержувати в установках різних розмірів. Особливо вигідно використовувати біогаз в агропромислових комплексах, де можливий повний екологічний цикл. Його застосовують для освітлення, опалення, приготування їжі, для надання руху різним механізмам, транспорту, електрогенератору.

Послідовність процесу зображена на рис.7.8. На першому етапі складні органічні полімери (клітини, білки, жири та ін.) під впливом різних видів анаеробних бактерій розкладаються на простіші сполуки: леткі жирні кислоти, нижчі спирти, водень та оксид вуглецю, оцетову і мурашину кислоти, метиловий спирт. На другому етапі бактерії перетворюють органічні кислоти на метан, вуглекислий газ і воду.

Температура значною мірою впливає на перебіг процесу анаеробного зброджування органічних речовин. Найбільш сприятливою є температура 30—40°С (розвиток мезофільної бактерійної флори), а також 50—60°С (розвиток термофільної бактерійної флори). Вибір мезофільного або термофільного режиму роботи визначається аналізом кліматичних та економічних умов.

Окрім температурних умов на процес метанового зброджування і на кількість одержуваного газу впливає час обробки відходів.

Під час експлуатації реакторів конче треба контролювати показник pH, оптимальне значення якого — 6,7–7,6. Регулювання цього показника здійснюється через додавання вапна.

Біогаз містить 50—80 % метану, має теплоту згорання 5 340—6 230 ккал/кг (6,21—7,24 кВт·год/кг) і може ефективно використовуватися як паливо для газогенераторів і газотурбін з ККД до 80 %, для подальшого вироблення електрики (33 %) або тепла (50 %).

Мікробіологічні технології користаються зі здатності метанових бактерій розщеплювати в безкисневому середовищі органічні речовини рослинного походження й утворювати з них біогаз. З однієї тонни сухих органічних речовин метанові бактерії продукують 200—600 м^3 біогазу, що еквівалентно енергоємності 0,5 — 0,6 кг бензину або 0,77 кг у. п. (тобто 5-6 кВт·г електроенергії).

У процесі мікробіологічної переробки відходів, використовуваних як дешева енергохімічна сировина шляхом розщеплювання, не забруднюється довкілля, оскільки створюється замкнутий кругообіг речовин й енергії. При цьому досягають 90 % ступеня перетворення енергії органічних відходів на біогаз. Це в 3—4 рази перевищує даний показник, що його дістають під час спалювання рослинного палива в печах.

Сучасні біогазові установки мають найрізноманітніші розміри: від малих, продуктивністю 3–8 м^3 до середніх (25—170 м^3) і великих (250—500 м^3 та більше).

Провідне місце у виробництві біогазу посідає Китай, де будівництво невеликих біогазових установок почалося з 70-х років XX ст. Щороку тут виробляли до 1 млн установок і до 1996 р. їх налічувалося вже понад 17 млн (об'ємом 8-10 м^3). У Китаї також побудовано більше як 40 000 великих біогазових аґреґатів, а це дає змогу переробляти до 230 млн т відходів на рік і при цьому продукувати близько 110 млрд м^3 газу, що еквівалентно використанню природного газу в Україні. До початку XXI ст. кількість біогазових установок у Китаї перевищила 30 млн. Вони переоблятимуть близько 1 млрд т відходів, продукуючи до 500 млрд м^3 газу, що дорівнює 350 млн т у. п.

Друге місце за показниками розвитку біоенергетики належить Індії – більше 1 млн біогазових установок. Швидкому

розповсюдженню біотехнології в Китаї та Індії сприяло те, що держава надала субсидії й пільги на придбання будівельних матеріалів для спорудження біогазових установок.

Батьківщиною першого промислового метантенка є Англія. Тут біогазові установки досить ефективно використовують у сільському господарстві: ще 1990 року за допомогою біогазу були покриті всі енерговитрати в сільському господарстві. У Лондоні функціонує один з найбільших у світі комплексів з переробки побутових стічних вод і виробництва біогазу – до 92 млн $м^3$ на рік.

Цікаво, що, за відомостями американських фахівців, у населення сільськогосподарських районів США останніми десятиліттями зростає інтерес до використання дров як палива. З 1974 по 1985 р. було продано близько 11,5 млн дров'яних печей, у 1982—83 рр. – ще 2,7 млн. За цей період збільшилися і масштаби спалювання деревини в промисловості (з 59 млн т у 1969 р. до 81 млн т у 1981 р.). Ідеться здебільшого про відходи паперової, целюлозної, деревообробної промисловості та лісопродукти.

Паливо для дров'яних печей екологічно є досить чистим, його потенційна енергія велика. Воно не зменшує ресурсів лісу, якщо виробляється з відходів лісопромисловості, з повалених дерев, з продуктів розчищання лісу.

Якщо ж на паливо вирубують гарні лісові масиви і при цьому не відновлюють лісовий фонд, то природі завдається непоправної шкоди. Звичний хвойний, хвойно-буковий або хвойно-дубовий ліс відновлюється через 25–100 і більше років. Швидкоросла тополя, західний і кленолистий каштан, що дає високі врожаї, можуть допомогти розв'язати проблему швидшого відновлення лісових масивів, але далеко не скрізь.

Використання органічних відходів має потрійний позитивний ефект: дає енергію, зменшує кількість відходів, сприяє збереженню довкілля. Тому в ряді країн інтерес до біомаси зріс не тільки як до палива, а і як до сировини, що з неї можна виробляти паливний спирт для автомобілів. У Бразилії понад 2 млн автомобілів працюють на гідролізному спирті, 8 млн – на суміші бензину і спирту (спирту – до 20 %). Цей досвід усе більше поширюється в США, Швеції, Кенії, Зімбабве, Малайзії, на Філіппінах.

Водночас зростання інтересу до біомаси як до палива за рахунок використання тих її ресурсів, які можуть бути продуктами харчування (зерно, цукрова тростина та ін.), спричинило соціальні конфлікти в Бразилії та США.

Досвід останніх років показує, що можливості сільськогосподарських культур як потенційного палива насправді обмежені (вони в декілька разів менші, ніж у лісів). Відтак, учені розробили технології комплексного використання біомаси, коли корма, продовольство і паливо виробляють у розумних співвідношеннях, послуговуючися принципами багатогалузевого сільського господарства та рециклування побічних продуктів і відходів.

У країнах СНД переробку біомаси в паливо здійснюють за трьома напрямами:

- *біоконверсія* – розкладання органічних речовин рослинного або тваринного походження без доступу повітря завдяки спеціальним видам бактерій та, як наслідок утворення біогазу (метану) або/і рідких палив (етанолу, бутанолу й ін.). Одержання теплової енергії у процесі мікробіологічного окиснення аероба органічних речовин (біопідігрів, компостування городних і садових відходів) також належать до цього напряму;
- *термохімічна конверсія* (піроліз, газифікація, синтез) твердих органічних речовин (дерево, торф, вугілля) у метанол, штучний бензин, деревне вугілля, що її частіше називають термічною газифікацією. Вона вірогідно є процесом нагрівання біомаси в камері з контрольованою подачею повітря. При цьому виділяються леткі гази, що є основою твердої біомаси (соломи, деревини тощо). Так, під час газифікації деревини утворюються: азот – 50–54 %, оксид вуглецю – 20–22 %, водень – 12–15 %, двоокис вуглецю – 9–12 %, метан. Паливо перетворюється на газ у результаті хімічних процесів: висушування, піроліза, спалювання (окиснення), і відновлення. На рис.6.9 показана схема противоточної газифікації, основні хімічні реакції й потоки, рівні температур та зони реакцій;
- *спалювання відходів* (макуха, щепа, лігнін та ін.) у котлах спеціальної конструкції, в печах, на вогнищах. До цього напряму належить і спалювання дров у побутових печах.

Найперспективнішим та екологічно безпечним вважають перший напрям – біоконверсію. Вона передбачає значне скорочення відходів тваринництва, птахівництва і, відтак, менше забруднення ними ґрунту, води, повітря, оскільки ці відходи цілком ідуть на переробку. У процесі біоконверсії одержують високоякісні добрива, адже під час анаеробного зброджування азот і фосфор у гної зберігаються повністю, а за традиційного вивезення гною на поля втрачають до 30–40 %. Біоконверсія дає також якісні кормові добавки і препарати.

У процесі переробки всіх відходів тваринництва й рослинництва в Росії (близько 20 млн т сухої речовини) можна одержати близько 35 млрд м^3 біогазу (тобто приблизно не 60 млн т у. п.), а в Україні – майже 3,5 млрд м^3 метану.

Темпи розробки і впровадження біоенергетичних установок (БЕУ) у Росії й Україні набагато відстають від Китаю, Індії та Англії. За найефективніші вважають великі БЕУ (об'єм біореактора 6 000 м^3), які нині працюють у Пярну (Естонія), де переробляються відходи свинарського комплексу на 54 000 голів, і БЕУ (з об'ємом біореактора 150 м^3, потужність ферми – 3 000 голів), що діють у Латвії. З 1985 р. серійно виробляють БЕУ «Кобос-1», призначені для ферм з кількістю рогатої худоби 400–500 голів.

У комплект «Кобос-1» входять: подрібнювач гною, підігрів-видержувач об'ємом 25 м^3, два горизонтальні метантенки (по 125 м^3), газгольдер, водогрійний котел, насоси, теплообмінники, система контролю й управління процесом, трубопроводи, допоміжна арматура. БЕУ видає біогаз з теплотою згорання 14 650–25 100 кДж/м^3 (92 –96 тис. кДж/кг). 25-40 % газу використовують для потреб самої БЕУ, решту – для потреб господарства. На кращих зарубіжних БЕУ "зайвий" газ застосовують для роботи дизель-генератора.

Принцип роботи «Кобос» є таким: подрібнену біомасу з початковою вологістю 95–98 % нагрівають, витримують 1 добу, потім подають в один з метантенків, де підтримується температура 42-43 °С і знижений тиск (300–500 мм водного стовпчика). Добова частка завантаження становить приблизно чверть об'єму одного метантенка.

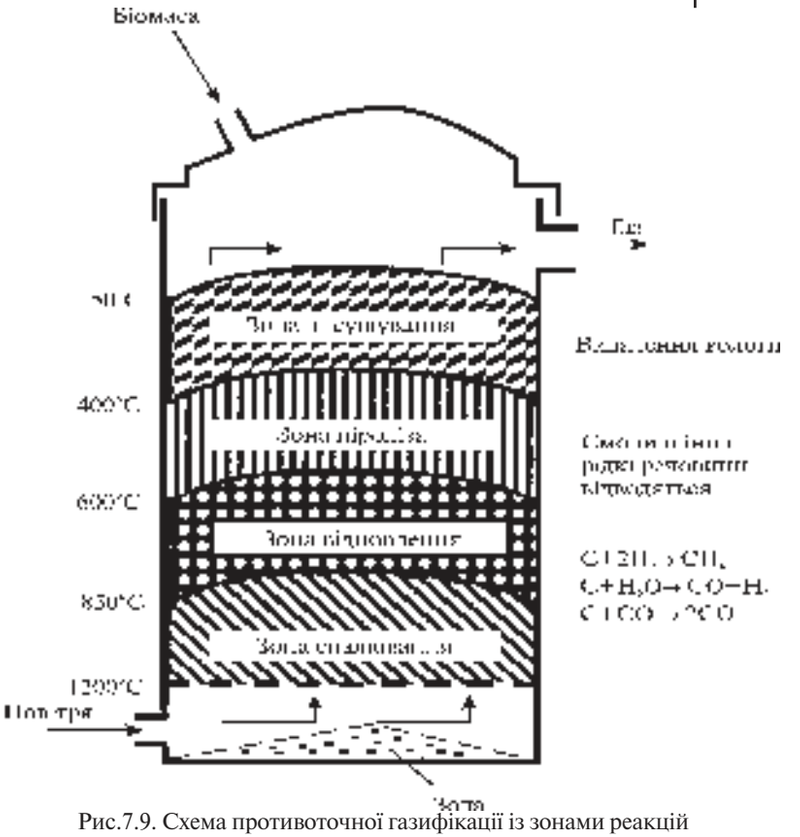


Рис.7.9. Схема противоточної газифікації із зонами реакцій

Основною причиною досить повільного впровадження БЕУ у виробництво й використання їх в агропромислових комплексах СНД є цілковитий брак державної підтримки підприємствам, що виготовляють такі установки, надто висока ціна на них і відсутність пільг на придбання та експлуатацію БЕУ. Цим країни СНД відрізняються від, скажімо, Сполучених Штатів чи Китаю.

Проте за розмаїттям, ефективністю та оригінальністю останні розробки БЕУ в Росії й Україні (1992–1998 рр.) є цілком конкурентоспроможними. Є установки для інтенсивного вирощування мікроводоростей і їхньої переробки на гліцерин та рідкі вуглеводні (розробник – Московський державний університет).

Розроблено проекти комплексів на базі ставків-охолоджувачів атомних і теплових електростанцій, які виробляють рідке паливо й поставляють рибу; розроблено біореактори для індивідуальних невеликих господарств (об'єм метатенка 3 м^3) і дачних ділянок (розробка Київського ін-ту УкрНДІАгропроект). Ще з 1965 р. біля Києва в с. Бортничі діє біоустановка, що виробляє близько 10 млн м^3 біогазу на рік з осадів стічних вод Києва. Аналогічні установки функціонують у Харкові, Одесі, Кривому Розі.

Розрахунки підтверджують доцільність прискореного розвитку біоенергетики як з економічного, так і з екологічного поглядів.

7.5. Інші нетрадиційні природні джерела енергії

7.5.1. Геотермальна енергія

Геотермальна енергія – це енергія тепла, яка виділяється із внутрішніх зон Землі впродовж сотень мільйонів років. За даними геолого-геофізичних досліджень, температура в ядрі Землі досягає 3 000–6 000 ^{0}С, поступово знижуючись у напрямку від центру планети до її поверхні. Виверження тисяч вулканів, рух блоків земної кори, землетруси свідчать про дію могутньої внутрішньої енергії Землі. Учені вважають, що теплове поле нашої планети зумовлено радіоактивним розпадом у її надрах, а також ґравітаційною сепарацією речовини ядра.

Головними джерелами розігрівання надр планети є уран, торій і радіоактивний калій. Процеси радіоактивного розпаду на континентах відбуваються, здебільшого, у гранітному шарі земної кори на глибині 20–30 і більше км, в океанах – у верхній мантії. Припускають, що в підошві земної кори на глибині 10–15 км імовірне значення температур на континентах дорівнює 600–800 °С, а в океанах – 150–200 °С.

Людина може використовувати геотермальну енергію тільки там, де вона виявляє себе близько до поверхні Землі, тобто в районах вулканічної та сейсмічної активності. Нині геотермальну енергію ефективно використовують такі країни, як США, Італія, Ісландія, Мексика, Японія, Нова Зеландія, Росія, Філіппіни, Угорщина, Сальвадор. Тут унутрішнє земне тепло підіймається до самої поверхні у вигляді гарячої води й пари з температурою до 300 °С і часто вириваються назовні як фонтануючі джерела (гейзери), приміром, знамениті гейзери Єллоустонського парку в США, гейзери Камчатки, Ісландії.

Геотермальні ресурси підрозділяють на суху гарячу пару, вологу гарячу пару і гарячу воду. Свердловину, яка є важливим джерелом енергії для електричної залізниці в Італії (поблизу м. Лардерелло), з 1904 р. живить суха гаряча пара. Два інші відомі в світі місця з гарячою сухою парою – поле Мацукава в Японії та поле гейзерів біля Сан-Франциско, де також давно й ефективно використовують геотермальну енергію. Найбільше в світі джерело вологої гарячої пари знаходиться в Новій Зеландії (Вайракей), геотермальні поля трохи меншої потужності – у Мексиці, Японії, Сальвадорі, Нікарагуа, Росії.

Таким чином, можна викремити чотири основні типи ресурсів геотермальної енергії:

- поверхневе тепло землі, використовуване тепловими насосами;
- енергетичні ресурси пари, гарячої й теплої води біля поверхні землі, які нині використовують у виробництві електричної енергії;
- теплота, зосереджена глибоко під поверхнею землі (можливо, за відсутності води);
- енергія магми і теплота, що накопичується під вулканами.

Запаси геотермальної теплоти (~$8\cdot10^{30}$Дж) у 35 млрд разів перевищують річне світове споживання енергії. Лише 1 % геотермальної енергії земної кори (глибина 10 км) може дати кількість енергії, що в 500 разів перевищує всі світові запаси нафти й газу. Проте сьогодні може бути використана лише незначна частина цих ресурсів, і це зумовлено насамперед економічними причинами.

Початок промисловому освоєнню геотермальних ресурсів (енергії гарячих глибинних вод і пари) було покладено 1916 року,

коли в Італії ввели в експлуатацію першу геотермальну електростанцію потужністю 7,5 МВт. За час, що минув, накопичено чималий досвід у сфері практичного освоєння геотермальних енергоресурсів. Загальна встановлена потужність діючих геотермальних електростанцій (ГеоТЕС) дорівнювала: 1975 р. – 1 278 МВт, 1990 року – 7 300 МВт. Найбільшого прогресу в цьому питанні досягли США, Філіппіни, Мексика, Італія, Японія.

Техніко-економічні параметри ГеоТЕС змінюються в досить широких межах і залежать від геологічних характеристик родовища (глибини залягання, параметрів робочого тіла, його складу тощо). Для більшості введених в експлуатацію ГеоТЕС собівартість електроенергії є подібною до собівартості електроенергії, одержуваної на вугільних ТЕС, і становить 1 200...2 000 дол США/кВт.

В Ісландії 80 % житлових будинків обігрівається за допомогою гарячої води, добутої з геотермальних свердловин під містом Рейк'явік. На заході США коштом геотермальних гарячих вод обігрівають близько 180 будинків і ферм. На думку фахівців, між 1993 і 2000 рр. глобальне вироблення електрики за допомогою геотермальної енергії мало зрости більш ніж удвічі й бути використане в 40 країнах. Запасів геотермального тепла в США існує так багато, що воно може, теоретично, давати в 30 разів більше енергії, ніж її зараз споживає держава.

У перспективі можливе використання тепла магми в тих районах, де вона розташована близько до поверхні Землі, а також сухого тепла розігрітих кристалічних порід. В останньому випадку свердловини бурять на кілька кілометрів, закачують униз холодну воду, а назад одержують гарячу.

За допомогою геотермальних ресурсів електрику можна виробити трьома способами (рис.7.10): А – за наявності сухої пари, її можна примусити безпосередньо обертати турбіну; Б – за наявності перегрітої води, частини струменя гарячої води під тиском виходять на поверхню і перетворюються на вологу пару, яку після сепарації крапель води спрямовують на обертання турбіни; В – використання бінарного циклу: нагрівання робочої рідини (ізобутану або фреону) до пароподібного стану й обертання турбіни за допомогою одержаної пари.

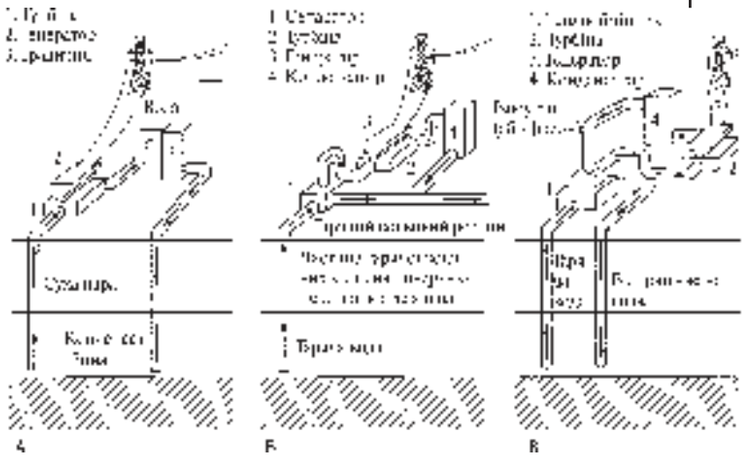


Рис.7.10. Виробництво електроенергії

Якщо неможливо прямо використати пару з огляду на аґресивність води, гідротермальную енергію віддають теплоносієві за допомогою пароутворення і водяного теплообмінника (рис.7.11).

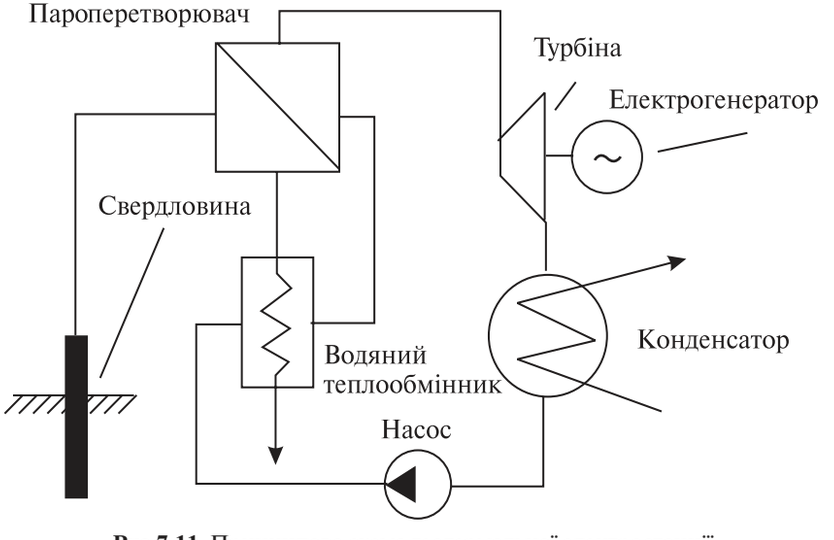


Рис.7.11. Принципова схема геотермальної електростанції

Найбільша електростанція в світі, яка працює на вологій парі, розташована в Новій Зеландії (Вайракей). З 1958 року вона виробляє до 192 МВт на рік. У США перша електростанція, що працює на гарячій вологій парі, була запущена в 1980 р. (м. Бролі, Каліфорнія). Її потужність – близько 10 Мвт. В Альбукерке (м. Нью-Мексико) діє аналогічна станція потужністю 50 МВт.

У США, Японії, колишньому СРСР проводили досліди щодо використання гідротермальних вод у бінарному циклі, коли гаряча вода нагріває аж до перетворення на пару іншу рідину, що її температура кипіння є нижчою, ніж у води (наприклад, ізобутан). Пара другої рідини обертає турбіну й після охолодження повертається до теплообмінника для нового скипання і роботи. Геотермальний потенціал США, Японії, Італії, Ісландії, Російської Камчатки, Сахаліну є досить великим.

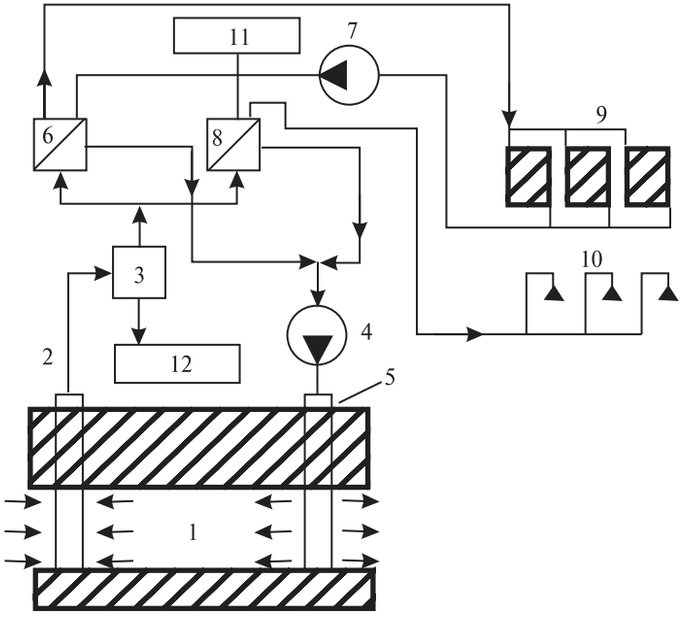
Україна також має значні ресурси геотермальної енергії, потенційні запаси якої оцінюють у 10^{22} Дж. Це відповідає запасам $3{,}4 \cdot 10^{11}$ т у. п. Потенційна потужність ГеоТЕС з урахуванням вилучності запасів і ККД перетворення енергії становить 230 ГВт.

Пріоритетними районами, де щонайперше слід розпочати будівництво є Керченський півострів, Прикарпаття (Львівська область), окремі родовища в Харківській, Полтавській і Донецькій областях. Значними ресурсами геотермальної енергії наділено Крим, де спостерігають найбільші геотермічні градієнти, а температура гірських порід в окремих районах на глибині 3,5...4 км сягає 160...180°С.

У центральній частині України тільки на глибині 1 400 м можна віднайти води з температурою вище 20°С. Проте у зв'язку з малим дебітом вони не мають практичного значення. Частково термальні води України використовують для систем геотермального постачання тепла в різні об'єкти агропромислового комплексу. Особливий інтерес у цьому плані становлять термальні води Криму. За попередніми оцінками, використання потенціалу самого лише Сивашського водосховища з температурою 65°С дасть змогу заощадити 1 млн т у. п. Наявність у Закарпатті зон з температурою води 200°С і пластовим тиском 45 МПа на глибині 4 тис. м ініціювала дослідження щодо використання тепла сухих гірських порід і будівництво Закарпатської ГеоТЕС.

Інститут технічної теплофікації НАН України розробив систему геотермального теплоносія (рис.7.12), що має такі показники:

- теплова потужність модуля, МВт – 5;
- зокрема: теплопостачання, МВт – 3;
- гаряче водопостачання, МВт – 2;
- температура води на виході зі свердловини, °С – 60-80;
- температура в опалювальній системі, °С – 50;
- тиск води у свердловині, МПа – не <1,5;
- габарити будівлі – 6,5×15×6



1 - підземний колектор;
2 - енергетична свердловина;
3 - газошламовіддільник;
4 - нагнітальний насос;
5 - нагнітальна свердловина;
6 - теплообмінник обігрівальної системи
7 - насос обігрівальної системи;
8 - теплообмінник системи гарячого водопостачання;
9 - обігрівальна система;
10 - система гарячого водопостачання;
11 - джерело води для гарячого водопостачання;
12 - система утилізації газів і шламів

Рис.7.12. Схема системи геотермального теплопостачання:

Сумарна потужність ГеоТЕС України, що їх планують збудувати, становить: 2000 р. (уведення в експлуатацію) – 60 МВт, 2005 р. – 270...280 МВт, а 2010 р. – 620...650 МВт. Економія органічного палива за експлуатації ГеоТЕС має дорівнювати: у 2000 р. – 150 тис. т у. п., 2005 р. – 460 тис. т у. п., 2010 р. – 1 млн т у. п.

З представлених даних видно, що залучення геотермальних джерел до системи енергопостачання сприяє поліпшенню паливно-енергетичного балансу, а також зниженню негативного впливу традиційної енергетики на екологічну обстановку, зокрема найбільш напружених регіонів України.

Фахівці підрахували, що для забезпечення електроенергією міст із населенням 1 млн осіб потрібна геотермальна електростанція потужністю 1 000 МВт. Проте будівництво геотермальних електростанцій може мати серйозні несприятливі наслідки, перш за все екологічні (теплове, сольове, газове забруднення довкілля).

7.5.2. Енергія Світового океану

Ще 20 років тому російські вчені підрахували: якщо ефективно використовувати енергію, що міститься у Світовому океані, то можна розв'язати енергетичну проблему нашої цивілізації на найближче сторіччя, бо в океанських хвилях, течіях, припливах і відпливах, у температурних полях приховані величезні запаси енергії. Проблема полягає у тому, що добувати цю енергію і трансформувати її в електрику поки що дуже складно і дорого, з технічного боку.

Нині виокремлюють п'ять основних відновлюваних джерел енергії Світового океану: течії (потенційний запас енергії – близько 0,05 ТВт (тобто $0{,}05 \cdot 10^{12}$ Вт); хвилі – 2,7 ТВт; припливи – 0,03 ТВт; температурний градієнт – 2,0 ТВт; градієнт солоності – 2,6 ТВт. Нагадаємо, що сумарна потужність усіх електростанцій земної кулі становить приблизно 1 ТВт (на сьогодні). До початку XXI ст. найефективніше навчилися використовувати хіба що *енергію припливів*.

Припливні електростанції (ПЕС). Енергію припливів використовували задавна, про це свідчать припливні млини, споруджені

на узбережжі Англії, Франції, Іспанії, Росії, Канади, США тощо. Відомий Вудбріджський млин побудовано ще в XII ст.

Ці млини споруджували таким чином: перекривали загатами невеличкі бухти, внаслідок чого утворювався спеціальний басейн, і розміщували в ньому млинові колеса, які досягали 6 м у діаметрі й рухалися в період відпливу. В Англії така установка, розташована під арками Лондонського моста, від 1580 р. протягом 250 років качала прісну воду для потреб міста.

Особливістю припливних електростанцій є використання ними природно відновлюваної енергії морських припливів, природа яких пов'язана з припливотворною силою, що виникає під час ґравітаційної взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем. Для водної оболонки Землі практичне значення має лише горизонтальна складова припливотворної сили. Оскільки Місяць є ближчим до Землі, розмір припливу, зумовленого його дією, в 2,2 раза більший від сонячного. На узбережжі морів та океанів найчастіше трапляється півдобовий приплив, себто за місячну добу (24 г 50 хв) максимальна хвиля припливу надходить двічі.

Величину припливу А визначає різниця в рівнях води під час максимального підйому і мінімального зниження за період припливу. Максимальне відхилення від середнього рівня моря називають амплітудою припливу, і вона дорівнює 0,5 А. Амплітуди і форми припливно-відпливних хвиль на різних узбережжях Світового океану істотно відрізняються, а це пов'язано з такими чинниками, як глибини, конфігурація берегової лінії та ін.

Нерівномірність припливних коливань протягом місячного місяця характеризується зміною величини припливу від $A_{макс}$ (сизигія) до $A_{мін}$ (квадратура). Закономірність зміни припливів усередині місяця, викликана рухом Місяця і Сонця, залишається практично незмінною для всіх місячних місяців року. Середнє значення величини припливу для всіх однойменних діб місячного місяця також є практично незмінною в річному й багаторічному розрізах. Енергія припливної хвилі вірогідно є функцією від величини припливу. Відмітною особливістю припливної енергії постає незмінність величини середньомісячної енергії для будь-якого року.

Величини припливів на морських узбережжях є різними. Так, максимальну величину припливу, що становить $A_{макс}$=19,5 м,

спостерігали в Канаді в затоці Фанді на узбережжі Атлантичного океану; $A_{макс}$=16,3 м – у Англії у гирлі р. Северн, $A_{макс}$=14,7 м – на півночі Франції, $A_{макс}$=11,0 м – у Росії в Пенжинській затоці Охотського моря.

Для створення ПЕС необхідні сприятливі природні умови, які включають: великі припливи (А > 3-5 м); контур берегової лінії (бажано з утворенням затоки), який дає змогу відділити від моря басейн для роботи ПЕС за мінімальної довжини і висоти загати, сприятливі геологічні умови для будівництва.

Енергетичні параметри ПЕС із півдобовим припливом визначають як:

$$E = 1{,}97\, A^2 cpF;\ N = 225 \cdot 10^{-6} A^2_{ср}\, F,$$

де E – вироблення енергії, кВт·г на рік; N – середня потужність, кВт; $A_{ср}$ – середньоквадратична амплітуда за місячний місяць, м; F – середня площа поверхні басейну в межах припливних коливань рівня, м^2. Реальні умови створення і заповнення басейну протягом тривалого часу за умов перепадів, менших від $A_{ср}$ істотно відрізняються від ідеальних, а фактичні величини N і E будуть меншими в 2-4 рази порівняно з одержаними відповідно до наведеної формули.

Загальний потенціал припливної енергії в усьому світі за потужністю оцінюється орієнтовано в майже 1 млрд кВт, а за виробленням енергії у 1 240 млрд кВт·г, зокрема в Росії – близько 200 млрд кВт·г.

У Франції в естуарії р. Ранс, (м. Сен-Мало) з 1967 р. працює припливна електростанція потужністю 240 МВт (висота припливу 10 м), яка виробляє 60 МВт енергії, в Росії з 1968 р. діє Кислогубська ПЕС потужністю 0,4 МВт, у Канаді з 1984 р. – ПЕС Аннаполіс потужністю 20 МВт тощо.

Припливні електростанції можна спорудити лише в 24 точках світу, тобто цей енергоресурс досить обмежений. Мова йде про деякі райони Ла-Маншу, Ірландії, узбережжя Північної Америки, Австралії, кілька ділянок узбережжя Білого й Баренцового морів.

Найбільші перспективи для спорудження припливної електростанції має узбережжя Канади в затоці Фанді, де висота припливу досягає 16,2 м (можлива потужність – близько 3 800 МВт). Американські вчені вважають, що в океані міститься близько 3 ТВт енергії припливів, але тепер практично можна використовувати лише приблизно 0,03 ТВт.

За цілком можливе визнають використання океанських течій (Гольфстрим в Атлантиці, Куросіо в Тихому океані), швидкість яких становить 1—2,5 м/с, а теоретична потужність – від 15 ГВт (Гольфстрим) до 50 ГВт (Куросіо). Припускають, що загальна потужність океанських течій дорівнює не менше 100 ГВт.

Найперспективнішим і найліпше освоєним джерелом океанської енергії постає, енергія градієнта солоності, тобто енергія, що виділяється в процесі змішення солоних морських вод із прісними дощовими й річковими водами. Різниця осмотичного тиску між прісною і солоною водою становить близько 24 кг/см^2, що за концентрації енергії еквівалентно тиску стовпа 240 м заввишки. Натомість у Мертвому морі, де вода є суперсолоною, концентрацію енергії градієнта солоності можна порівняти з тиском водяного стовпа 5 000 м заввишки. Запаси цієї енергії визначають за швидкістю випаровування води з поверхні океану й подальшого її випадання назад в океан. З поверхні океану за рік випаровується шар води 1,3 м завтовшки. Об'єм води (Q), що випаровується, становить 1,2·107 м^3/с. За осмотичного тиску π=24·104 кг/м^2 потужність цього джерела енергії визначають як

$$P = \pi \cdot Q = 30 \text{ ТВт}.$$

Оскільки багато великих міст розташовано в гирлах річок, використання градієнтів солоності як джерела енергії має неабиякі перспективи.

Теплова енергія океану (температурний градієнт) у майбутньому також може ефективно використовуватися за допомогою термоелектричних генераторів, що працюють на перепадах температур. Різниця температур поверхневих і глибинних вод є особливо посутньою в районах теплих течій і може досягати 20–22 °С.

Першими теплову енергію океану запропонували використовувати французькі науковці. 1881 року за проектом

фізика Д'Арсонваля на Кубі, в затоці Матансас, сконструювали й апробували океанську теплову енергетичну станцію (ОТЕС)). У 1929 р. учень Д'Арсонваля Жорж Клод створив іншу систему і випробував її, але незабаром станцію було зруйновано.

Робота ОТЕС ґрунтується на принципі поперемінного використання шарів води з різною температурою для кип'ятіння і конденсації *робочої рідини*, наприклад, рідкого аміаку або пропано-фреону, коли в проміжках пара цієї рідини має обертати турбіну при високому тиску (рис.7.13). Теплу поверхневу воду застосовують для перетворення робочої рідини на пару, що обертає турбіну з електрогенератором. Для конденсації пари в іншому теплообміннику використовують подану насосами холодну воду з глибини океану. Конденсована рідина далі знову подається в перший теплообмінник, нагрівається, перетворюється на пару – і цикл повторюється, йде безупинне вироблення електроенергії. Оскільки процес відбувається в морі, проблемою може стати прокладання й утримання електрокабелів на дні океану, а також те, що труба для станції потужністю, наприклад, 10 МВт має бути занурена на декілька сотень метрів углиб океану, а її діаметр – становити близько 15 м. Утримати такий аґрегат у стійкому положенні, захистити його від поштовхів і тиску хвиль і течій буде досить складно.

Проте в США впродовж останніх десятиліть ведуться серйозні дослідження з розробки і вдосконалення різних океанських теплових енергетичних станцій. Два експериментальні проекти пристрою ОТЕС-1 (Ocean Thermal Energy Conservation) діють із 1982 р. в районі Гавайських островів. Один із пристроїв змонтовано на колишньому танкері ВМС США "Чепачет"; він має потужність 1 МВт, складається з трьох трубопроводів холодної води (діаметром – 1,2 м), що підіймають воду з глибини 640 м, і насосної групи. Розроблено ще декілька проектів ОТЕС: установка біля м. Кіє-Уест (Флорида) для вироблення 50 МВт електроенергії та 2 млн л прісної води щоденно; установка поблизу о. Оаху (Гаваї) потужністю 40 МВт й інші, потужністю від 12,5 до 400 МВт. Якщо на дослідження і проектування у сфері ОТЕС 1972 р. в США було виділено 85 тис. дол, то вже 1980 року – 46 млн дол. До кінця XX ст. США планували створити 25 установок ОТЕС потужністю 400 МВт кожна.

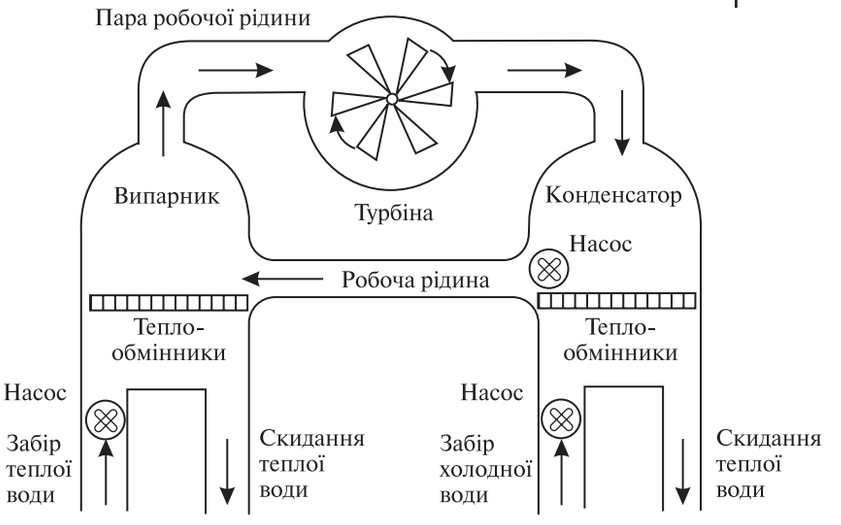


Рис. 7.13. Схема океанічної термоенергетичної установки із замкнутим циклом

Існує думка, що на базі ОТЕС можуть бути створені плавучі заводи з енергоємними електрохімічними процесами – виробництвом аміаку, алюмінію, водню, кисню, метанолу.

Окрім США, роботи зі створення ОТЕС проводяться в Японії, Великобританії, Індії, а також, у рамках європейської програми «Євроушен», 26 компаніями Франції, Нідерландів, Швеції та Італії.

У країнах СНД, порівняно зі згаданими державами, масштаби досліджень у галузі створення і використання ОТЕС видаються дуже скромними.

Функціювання ОТЕС спричинює неґативні екологічні наслідки, серед яких можна назвати: неспокій, перешкоди, а іноді й руйнівний вплив станцій, устаткування, трубопроводів та електропроводів, якщо їх скупчено в місцях мешкання людей чи на шляхах міґрації риб та інших гідробіонтів у шельфових зонах океанського узбережжя, забруднення водного середовища побутовими відходами електрокомплексу; станції не займають землі на суходолі, але охоплюють значні площі в морі, і це дається взнаки там, де життя в прибережній зоні активне й багатоманітне.

Нарешті, для виробництва електроенергії може бути використана енергія океанських хвиль.

За підрахунками фахівців, в океанських хвилях міститься близько 3 ТВт енергії. Пересічна хвиля Північного, Японського морів або Біскайської затоки містить 40 кВт енергії на кожен літр. Але таких районів, де хвилі активні і їх можна ефективно використовувати для перетворення на електроенергію, у Світовому океані є обмаль – біля берегів Англії, Японії, Камчатки, дещо менше – в Чорному морі. Енергозапаси хвиль оцінюють на підставі багатьох вимірювань параметрів хвилювання за допомогою спеціальних приладів – хвилеграфів.

Океанографи Росії та США, побувавши в морських експедиціях, дістали підтвердження фактам, на які зважили стародавні мореплавці, зокрема Джеймс Кук, а саме, що висота штормових хвиль у Північній Атлантиці може досягати 20–25 м. Іноді моряки (танкер «Романо», США, 1933 р.) стикалися з хвилями 36 м заввишки! Такі хвилі, згідно з підрахунками проф. Н. В. Вершинського, на 1 м свого фронту містять до 70 МВт енергії, тобто власне стільки, скільки виробляє середня електростанція.

Для Чорного моря питома потужність становить 8, для Каспійського – 11, Баренцового – 29, Охотського – 20, Балтійського – 8 кВт/м. Новітні методи вимірювань параметрів хвиль, окремо за допомогою стереофотозйомки і дистанційної зйомки, показують, що висота найбільших хвиль не перевищує 25-30 м в океанах і 15-20 м – в окремих морях.

Перший у світі патент на пристрій, що використовує енергію хвиль, здобули французи – батько і син Жерари в 1799 р. Першу діючу установку запустили американці 1889 року, на узбережжі неподалік від Нью-Йорка. Вона давала електрику для насосів, що закачували воду у водонапірну башту. До середини 20-х років XX ст. було зареєстровано понад 1 000 заявок на способи перетворення енергії хвиль і відповідну апаратуру, зроблено чимало доповідей і повідомлень на міжнародних конференціях.

Тепер найпоширенішим є тип хвильових електростанцій, що працюють на принципі "осцилюючий водний стовп" (автор – японський морський офіцер І. Масуда, 1965 р.). 1978 року

під керівництвом І. Масуди в Японії був створений великомасштабний макет установки «Каймей». Ця установка розміщена на баржі водотоннажністю 500 т. Вона близько 80 м завдовжки і 12 м завширшки. У днищі баржі зроблено ряд отворів для проходу хвиль у 22 повітряні камери. На борту – 10 пневмохвильових електрогенераторів різних типів (8 – японських, 2 – англійських) потужністю по 125 кВт, а також двонаправлений пневмохвильовий електрогенератор «Мак-Кормік» (США, професор Морської академії М. Мак-Кормік). Нині у США ведуться інтенсивні випробування різних модифікацій установок на зразок «Мак-Кормік», аналогічні розробки мають Норвегія, Ірландія, Японія.

У колишньому СРСР перші випробування хвильових насосів було здійснено 1936 року (інж. О. Г. Блінов). Пізніше виконувалися розробки із застосуванням лінійних індукційних генераторів, гнучких оболонок, п`єзоелементів. Наразі в СНД ці роботи і випробування практично призупинені.

7.5.3. Енергія інших природних об'єктів

Використання водню або гелію як пального. Під тиском 10–20 МПа ці гази поміщаються в замкнутий простір і під час роботи у процесі нагрівання або охолоджування змінюють свій об'єм, відтак чинячи тиск на поршень, який далі виконує потрібну роботу. За приклад може слугувати двигун Стерлінґа (англієць Р. Стерлінґ у 1816 р. створив перший двигун з незамкнутим циклом, який працює на підігрітому повітрі). Сучасний двигун Стерлінґа має робочий цикл на чотири такти: стискання – нагрівання – робочий хід – охолоджування, і може працювати не тільки на водні, а й на торфі, дровах, соломі тощо. Регенератор двигуна ніби розділяє його простір на дві порожнини – гарячу і холодну. До гарячої порожнини тепло підводиться від нагрівника, а від холодної відводиться охолоджувачем, у якому циркулює вода. Спеціальний ромбічний механізм перетворює обертально-поступальний рух поршнів на обертальний. ККД двигуна близький до ККД дизеля.

У США останнім часом розробляють двигуни для автомобілів, які працюють на водні. Спеціальний акумулятор, наповнений пористими речовинами, що поглинають водень, запасає необхідну енергію. Рідкий водень у таких двигунах є замінником бензину. Після спалювання водню в кисні утворюється вода. Спеціальна камера в акумуляторі регулює витрату водню завдяки зміненню температури. Двигун є екологічно безпечним.

Припускають, що в майбутньому переведення автотранспорту й авіації на водневе паливо дасть змогу значно очистити атмосферу від CO, CO_2 та інших компонентів вихлопних газів, що їх викидають сучасні бензинові двигуни, а заміна звичайного горючого газу на водень розв'яже проблему теплозабезпечення міського й сільського населення. Поки що вартість використання водневих двигунів удвічі дорожча, порівняно зі звичайними, але технології їх виробництва і застосування удосконалюються і здешевлюються.

В індустріально розвинених країнах (за винятком Німеччини і Японії) під впливом могутніх нафтових і газових компаній, а також автомобільних концернів, концернів які виробляють енергію з інших традиційних джерел і для яких новий вид палива на зразок водню є небезпечним конкурентом, уряди не виділяють достатньої кількості засобів на вивчення і розвиток цього виду енергетики. Натомість у Німеччині та Японії, а також у Південній Аравії на дослідження у сфері використання водню витрачають у 8 разів більше засобів, аніж, наприклад, у США; у цих країнах побудовано заводи з виробництва водню (геліоводневі заводи).

В Україні роботи в цьому напрямку започатковані ще у 70-ті роки XX ст. академіком Підгорним А.М., ведуться в Інституті проблем машинобудування НАН України (м. Харків)

Фахівці прогнозують, що в найближчі 40–50 років відбудеться геліо-воднева революція, наслідком якої стане активний перехід енергетичних компаній на водневе паливо – екологічно безпечне, практично невичерпне і наділене низкою інших переваг, а також перехід на водневі суміші типу *гітану* (H_2+CH_4 – 15 і 85 % відповідно).

Одним із проектів, розроблених в Австрії, передбачено використання енергії, захованої в *льодовиках* Гренландії. Зачорнюючи поверхню льоду, досягають його інтенсивного танення. Це змінює тепловий баланс, оскільки збільшується поглинання сонячного світла. Електроенергія, що виробляється при цьому, передаватиметься на континент підводними кабелями і застосовуватиметься для одержання водню з води шляхом електролізу.

Штучний місяць. Нині вчені впритул наблизилися до практичного втілення фантастичної ідеї – створення космічних рефлекторів, що відкидають на Землю сонячне світло. Уперше цю ідею висловив німецький учений Г. Оберт 1929 року.

Так звані штучні місяці можуть по-різному бути застосовані в народному господарстві. Виведені на орбіту штучного супутника Землі, такі рефлектори зможуть подовжити світловий день на кілька годин, а це сприятиме підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Супутники-рефлектори здатні забезпечити високоякісне освітлення вулиць великих міст, транспортних магістралей, місць, де ведуться роботи в нічний час, наприклад великих будівництв, колгоспних і фермерських полів у період посівної і збиральної кампаній, районів стихійного лиха під час рятувальних операцій.

У загальних рисах дослідники вже розробили майбутній вигляд орбітальних освітлювальних систем. Такі системи нагадують упаковану парасольку, що автоматично розкривається після доставки на орбіту. Поверхнею, що відображає світло, стане, ймовірно, полімерна металізована плівка. За належної організації наукових досліджень і дослідно-конструкторських робіт перші зразки космічних рефлекторів можуть бути створені в найближчому десятилітті.

У Московському авіаційному інституті ім. С. Орджонікідзе створюють проект орбітального експерименту із супутником-рефлектором масою не більше 200 кг і площею 110 $м^2$. Такий експеримент має на меті перевірити технічні рішення, закладені в основу побудови космічного рефлектора майбутнього. Освітленість на наземному приймачі діаметром 10 км має бути в 7 разів інтенсивнішою, ніж уночі; коли світить повний місяць

(близько 1,5 лк). Уже створено експериментальні наземні установки, що демонструють процеси розкриття супутника-рефлектора й управління формою його поверхні.

Утім, одночасно з розробками необхідно вивчати екологічні наслідки застосування космічних рефлекторів і виробити рекомендації щодо їхнього раціонального використання.

Існують проекти стосовно використання енергії блискавок, магнітного поля Землі, застосування для вироблення електрики сірководню, що у величезних кількостях міститься в так званій сірководневій зоні Чорного моря (пересічно від 150 м углиб і до самісінького дна). Але всі вони поки що далекі від реалізації в таких масштабах, як геліоенергетика, вітроенергетика, біоенергетика або енергія океану.

РОЗДІЛ 8

ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ

8.1. Класифікація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР)

Класифікація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР)

▪

Стан використання вторинних енергетичних ресурсів

▪

Ефективність застосування ВЕР

Вторинні енергетичні ресурси (ВЕР) – енергетичний потенціал продукції, побічних і проміжних продуктів, що утворюється в технологічних аґреґатах (установках) і втрачається в самому аґреґаті, але його можна частково або цілком використати для енергопостачання інших споживачів. Раціональне використання ВЕР є одним з найбільших резервів економії палива, що сприяють зниженню паливо- й енергоємності промислової продукції. Досить сказати, що в країнах СНД потенційні запаси ВЕР оцінюють більше ніж у 1 000 млн ГДж.

Вторинні енергетичні ресурси можна використати безпосередньо без зміни виду енергоносія (для задоволення потреби в тепловій енергії та паливі) або зі зміною виду енергоносія виробленням теплової та електричної енергії, холоду або механічною роботою в утилізаційних установках.

Багато галузей народного господарства мають у своєму розпорядженні неабиякий резерв паливних і теплових ВЕР, що посідають значне місце в їхньому паливно-енергетичному балансі. Найбільші теплові ВЕР зосереджено на підприємствах чорної та кольорової металургії, хімічної, нафтопереробної й нафтохімічної промисловості, промисловості будівельних матеріалів, газової промисловості, у галузі важкого машинобудування.

На цих ділянках широко використовують теплоту високого, середнього і низького потенціалів. Майже 90 % теплоти високого потенціалу (більше 623 К) витрачають: близько 33 % – на плавку, 40 % – на нагрівання і близько 20 % – на випал руд і мінеральної сировини. Велику частину теплоти високого потенціалу одержують за рахунок спалювання горючих речовин безпосередньо в технологічних установках.

Теплоту середнього (373...622 К) і низького (323...423 К) потенціалів застосовують для теплопостачання споживачів, що потребують підвищених значень температури й тиску. Понад 90 % її корисного споживання витрачають у промисловості (~45 %) та житлово-комунальному секторі (~48,5 %). Основними енергоносіями, що забезпечують енергією середньо- і низькотемпературні процеси, є водяна пара й гаряча вода.

Підприємства важкого, енергетичного і транспортного машинобудування України мають величезний потенціал ВЕР у вигляді фізичної теплоти димових газів мартенівських, нагрівальних і термічних печей, вагранок, теплоти випарного охолодження печей, теплоти відпрацьованої пари пресів і молотів. Мають вторинні відновлювані енергоресурси і підприємства інших галузей народного господарства.

Одним з найважливіших завдань удосконалення будь-якої галузі є виявлення резервів економічного та екологічного використання ВЕР для цілей виробництва і задоволення потреб побутового споживання.

Поряд зі збільшенням ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів, утилізація ВЕР дає змогу знизити негативний вплив енергопостачання й енергоспоживання на довкілля, зокрема меншим стає викид теплових відходів (теплове забруднення), а також уміст шкідливих викидів у продуктах згорання.

Принципова схема використання ВЕР, наведена на рис.8.1, ілюструє окремі потоки і перетини, за якими визначають їхні кількісні показники.

Отже, застосування вторинних енергоресурсів, що неминуче виникають під час різних технологічних процесів, є одним з істотних резервів енергозбереження. Вихід вторинних енергоресурсів залежить від цілої низки чинників: параметрів, за яких відбувається процес, його режиму, конструктивного боку технологічного устаткування та ін.

Кожну технологічну установку характеризує певний енергетичний ККД, що показує, скільки втрачається енергії, підведеної до процесу. На практиці точиться постійна боротьба з утратами, використовуються найрізноманітніші способи їхнього скорочення, зокрема організаційно-технічні, пов'язані з налагодженням технологічних процесів і режимів роботи аґреґатів, з поліпшенням ізоляції технологічного устаткування, трубопроводів гарячої води, водяної пари та ін.

Один зі способів знизити втрати – використовувати можливості повернення частини втрат енергії безпосередньо до того процесу, в якому вони утворюються. Численні дослідження підтверджують енергетичну й економічну ефективність регенерації та рекуперації енергії. По тому залишаються тільки втрати, яких за цією технологією не можна зменшити й уникнути при наявному рівні розвитку техніки. Саме цю частину енергетичних утрат прийнято вважати вторинними енергоресурсами, які звичайно підрозділяють на паливні, теплові та підвищенного тиску.

Паливні ВЕР – відходи технологічних процесів, що мають хімічно зв'язану енергію; вони невживані або непридатні для подальшої технологічної переробки і можуть бути застосовані як котельно-пічне паливо.

Теплові ВЕР – це ентальпія газів технологічних аґреґатів, основної, побічної, проміжної продукції та відходів виробництва, теплота робочих тіл систем охолодження технологічних аґреґатів й установок, ентальпія гарячої води і пари, відпрацьованих у технологічних установках. До теплових ВЕР також належать водяна пара і гаряча вода, що побіжно виникають у технологічних установках.

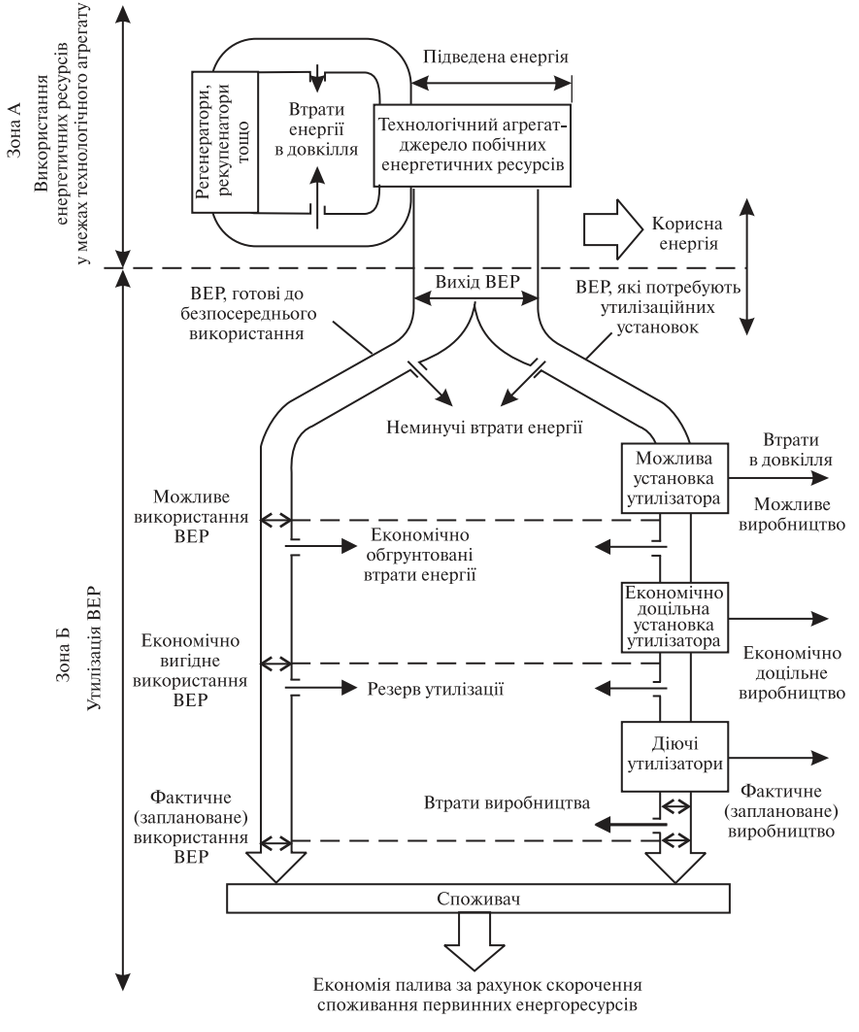


Рис.8.1 Принципова схема використання ВЕР

ВЕР підвищеного тиску – потенційна енергія газів, що виходять із технологічних аґреґатів з надлишковим тиском, який треба знижувати перед подальшим використанням або викидом їх в атмосферу.

Залежно від виду і параметрів вторинні енергоресурси використовують в одному з таких напрямів.

Паливні – як котельно-пічне паливо.

Теплові – в утилізаційних установках (УУ) або безпосередньо споживачем, щоб забезпечити потреби в тепловій енергії. Можливе також одержування штучного холоду за рахунок ВЕР в абсорбційних холодильних установках.

Електроенергетичні – перетворення енергоносія для одержання електроенергії в газових або парових конденсаційних турбоаґреґатах.

Комбіновані – для виробництва в утилізаційних установках ТЕЦ електричної й теплової енергії за допомогою теплофікаційного циклу.

8.2. Стан використання вторинних енергетичних ресурсів

Паливні ВЕР. У сумарному виході паливних ВЕР основна частка припадає на три галузі промисловості: чорну металургію, нафтопереробну й нафтохімічну, хімічну. Паливними ВЕР чорної металургії є коксовий, доменний, конверторний і феросплавний гази. Після відведення з технологічного аґреґату їх очищають від пилу і спрямовують до різних технологічних установок підприємства, де й спалюють як котельно-пічне паливо. Якщо на підприємстві є надлишки паливних ВЕР, то їх спалюють в енергетичних установках (ТЕС, котельнях).

Річний вихід паливних ВЕР з названої галузі в цілому оцінюють у десятки млн т у. п., а їхнє використання досягає 93 %. При цьому використання доменного газу становить 96,6 %, феросплавного – 38,0 %. Подальше зростання міри їхнього застосування пов'язане з вирішенням цілої низки науково-технічних завдань: розробкою і впровадженням установок для очищення газів феросплавних печей, розробкою системи очищення і вловлювання конвертерного газу без допалювання тощо.

До горючих ВЕР нафтопереробної і нафтохімічної промисловості належать гази, утворюванні у процесі виробництва сажі, абгази, рідкі вуглеводні й кубові залишки у виробництві дивінілу, метановоднева фракція у виробництві етилену, горючі відходи нафтопереробки та ін. Звичайно вони використовуються як паливо в технологічних установках, а їхні надлишки спалюють у факелах. Коефіцієнт використання паливних ВЕР у нафтопереробній і нафтохімічній промисловості є недостатньо високим і, за деякими оцінками, не перевищує 60 %. Істотне його підвищення пов'язане з організацією застосування низькокалорійних (400-500 ккал/м^3) відхідних газів виробництва сажі, коефіцієнт використання яких наразі становить лише близько 20 %.

Більше як 98 % загальної кількості паливних ВЕР хімічної промисловості припадає на азотну, фосфорну і хлорну підгалузі. Горючі відходи є у виробництвах аміаку, метанолу, ацетилену, капролактаму, каустичної соди, жовтого фосфору, карбіду кальцію.

У процесі виробництва аміаку утворюються ретурні, танкові і продувальні гази, фракція CO, а також рідкі вуглеводні, які можуть бути використані як паливо. Під час одержання метанолу виділяються танкові і продувальні гази; ацетилену – шлам сажі й вищі ацетиленові гомологи; капролактаму – продувальний газ і водень; каустичної соди – водень. Горючими також є відхідні гази електропечей у виробництвах жовтого фосфору і карбіду кальцію. Сумарний вихід паливних ВЕР у цій галузі еквівалентний декільком млн т у. п./рік, а коефіцієнт їх використання сягає 75 %.

Усі названі паливні ВЕР використовуються або можуть бути використані як паливо, спалюване в технологічних або енергетичних установках. Економічно це, безумовно, є доцільним, оскільки витрати, пов'язані з організацією спалювання, наприклад горючих газів, становлять не більш 10-20 % від витрат на видобуток і транспортування первинного палива. Крім того, під час їхнього спалювання відбувається знешкодження речовин, що викидаються в атмосферу, звільнення іх від токсичних і канцерогенних компонентів, а це покращує екологічну обстановку в районах, де розташовано такі підприємства.

Основні труднощі у використанні паливних ВЕР пов'язані з їхнім збиранням, транспортуванням, а також з потребою вдосконалити наявні й розробити нові методи і пристрої для їх спалювання.

ВЕР підвищеного тиску. Значної економії природних енергоресурсів можна досягти, якщо утилізувати цей вид вторинних енергетичніх ресурсів у чорній металургії та в системах газопостачання.

Нині в Україні близько 3/4 усіх доменних печей працюють під тиском 0,2 МПа і більше. Сумарний вихід доменного газу за такого тиску досягає сотень тис. м^3/г. До останнього часу перед подачею очищеного доменного газу до заводської розподільної мережі його підвищений тиск знижували в спеціальних дросельних пристроях, але при цьому втрачалася значна кількість потенційної енергії газу.

Розрахунки показують, що в умовах тиску газів, який перевищує атмосферний на 0,09 МПа і більше, за теперішнього рівня цін на паливо економічно доцільним є утилізувати цю енергію, зокрема спрацьовувати надлишковий тиск доменного газу на газорозширювальних станціях, обладнаних спеціальними газовими утилізаційними безкомпресорними турбінами з генераторами для вироблення електроенергії.

Великими резервами потенційної енергії підвищенного тиску наділено газорозширювальні станції природного газу, на яких відбувається його дроселювання перед подачею до розподільної мережі. Об'єм споживання природного газу як у чорній металургії, так і загалом у народному господарстві невпинно зростає.

Теплові ВЕР (*ТВЕР*). Найбільше труднощів виникає під час вирішення питань, пов'язаних з утилізацією теплових ВЕР промисловості. Це зумовлено великим розквітом останніх з погляду їхньої температури, режиму видачі, виду і физико-хімічних властивостей їхнього носія та інших чинників. Деякі з теплових ВЕР не використовуються, оскільки немає відповідних технічних рішень і устаткування для їхньої утилізації (або устаткування таке дороге, що робить цей захід економічно невиправданим).

До числа галузей, що визначають вихід теплових ВЕР промисловості, насамперед слід зарахувати чорну металур-

гію. Сумарний вихід теплових ВЕР галузі еквівалентний 20 млн т у. п./р, а можливе вироблення теплоенергії за умови повної утилізації оцінюють у 10 млн т у. п./р. Проте, фактично, в наш час вироблення тепла утилізаційними установками становить близько 3 млн т у. п./р, що дає змогу покрити 34 % загальної потреби галузі в ньому. Невисокий ступінь використання ВЕР значною мірою можна пояснити нестачею вже освоєного промисловістю утилізаційного устаткування.

Близько 3/4 від сумарного виходу теплових ВЕР у кольоровій металургії дають відхідні гази різних металургійних печей. Проте утилізація їх шляхом розміщення за печами котлів-утилізаторів пов'язана з неабиякими труднощами, обумовленими високою запиленістю й агресивністю відхідних газів. Отже, потрібно розробити вузькоспеціалізовані котли й випускати їх малими серіями, навіть одиницями, а такі котли коштують значно дорожче за котельні установки, використовувані в чорній металургії, і тим паче – за енергетичні. Цими обставинами до останнього часу звичайно пояснювали низький рівень використання теплових ВЕР у кольоровій металуріі. Наприклад, у колишньому СРСР, за сумарного виходу в цій галузі такого виду ВЕР, що дорівнював 3,0—3,2 млн т у. п., з виробленням тепла утилізували лише ~20 % вторинних енергетичних ресурсів.

Водночас утилізація ВЕР не тільки заощаджує паливо, а й дає змогу вирішувати завдання щодо підвищення продуктивності технологічних агрегатів, надійності їхньої роботи, уловлювання цінних сировинних компонентів, скорочення викидів шкідливих речовин у довкілля. Наприклад, якщо під час вироблення міді за відбивною піччю встановити котел-утилізатор із паропродуктивністю 20—26 т/г і тиском 4,05 МПа, це дасть змогу зекономити близько 19 тис. т у. п. на рік. При цьому додатково буде вловлено майже 320 т пилу, що містить мідь та інші цінні компоненти. Те ж саме можна сказати про системи випарного охолодження елементів шахтних, відбивних і випалювальних печей, напилків конверторів та ін. Їхнє застосування приблизно в 50 разів скорочує потребу в технічній воді і в 2—3 рази побільшує термін служби відповідного устаткування.

Ураховуючи такі обставини, утилізація теплових ВЕР у кольоровій металургії стає економічно виправданою навіть там, де раніше вважалася неефективною.

Теплові ВЕР нафтопереробної і нафтохімічної промисловостої переважно визначає ентальпія відхідних газів установок первинної переробки нафти, каталітичного риформінгу і крекінгу та інших технологічних агрегатів. Сумарний вихід теплових ВЕР галузі становить мільйони т у. п./р., а їхнє використання – близько 50 %.

У промисловості будівельних матеріалів ВЕР утворюються у процесі випалення цементного клінкеру й керамічних виробів, у виробництві скла, виплавці теплоізоляційних матеріалів, але їхньому використанню досі приділяють мало уваги. За сумарного виходу теплових ВЕР, еквівалентних 1,0–1,5 сотні тис. т у. п. на рік, їх утилізація з виробленням тепла не перевищує 15-17 %. Тепер котлами-утилізаторами оснащено здебільшого великі скловарні печі на заводах з виробництва листового скла.

У хімічній промисловості найенергоємнішим є виробництво аміаку, хімічного волокна, синтетичної смоли, кальцинованої соди, фосфору, метанолу: воно споживає понад 70 % електроенергії й половини тепла, що їх витрачає вся галузь. Вихід теплових ВЕР у галузі взагалі є досить великим і становить понад 1,0 млн т у. п./р.

Теплові ВЕР значною мірою покривають потреби окремих виробництв у теплі. Так, в азотній промисловості коштом ВЕР задовольняють більше 26 % потреби в теплі, у содовій – понад 11 %.

Утім, рівень використання цього виду ВЕР у галузі все ж таки не відповідає сучасним вимогам. Нині в найенергоємніших її підгалузях коефіцієнт використання становить лише близько 37 %. Основною причиною низького рівня їхнього застосування є те, що технологічні агрегати аж ніяк не в повній мірі оснащені вже освоєним утилізаційним устаткуванням, окрім того, у ряді випадків утилізація неможлива через відсутність конче потрібних технічних засобів.

Низькопотенційна теплота (НПТ). До низькопотенційних теплових відходів належить ентальпія димових газів техноло-

гічних і енергетичних установок з температурою нижче 400 °С; води, що охолоджує елементи конструкцій технологічного устаткування; вентиляційних викидів; шахтних вод; водяної пари вторинного скипання тощо. Утилізації цих ВЕР досі не приділяли належної уваги, оскільки вважалося, що вона є економічно неефективною. Тепер ситуація різко змінилася, і в різних енергоощадних програмах утилізацію низькопотенційної теплоти виокремлено в самостійний напрямок робіт з економії енергоресурсів.

І справді, утилізація НПТ є важливим народногосподарським завданням, оскільки її вихід становить близько половини від сумарного виходу всіх видів ВЕР. Актуальність цього завдання зростатиме, адже вдосконалення технологічних процесів, як правило, супроводжується скороченням витрат тепла високого потенціалу. Крім того, не можна забувати, що утилізація НПТ, як і всіх ВЕР, сприяє охороні довкілля від теплового й хімічного забруднення.

Носіями низькопотенційної теплоти звичайно є корозійноактивні, забруднені, запилені рідини і гази, від яких її практично неможливо відвести, застосовуючи стандартну теплообмінну апаратуру. Інакше кажучи, аби вирішити завдання щодо використанню НПТ, потрібно створити спеціальне утилізаційне устаткування.

Досвід зарубіжної та порівняно невеликої вітчизняної практики з утилізації низькопотенційних теплових відходів дає змогу вирізнити необхідні для цього основні технічні засоби:

- контактні апарати з різними насадками для використання теплоти димових газів й інших парогазових потоків;
- багатоступінчаті установки з апаратами миттєвого скипання для забруднених гарячих стоків;
- багатоступінчаті установки з апаратами типу “теплова труба” для утилізації теплоти аґресивних рідин (сірчаної, фосфорної, азотної кислот);
- скруберно-сольові установки для димових газів;
- випарні апарати з обертовими елементами (роторно-плівковими) для забруднених газів з метою одержання теплоти і концентрування стічних вод;

- теплові насоси (пароструминні, абсорбційні і компресійні) для виробництва холоду й теплопостачання;
- абсорбційні холодильні установки (на водних розчинах аміаку, броміду літію, хлориду кальцію та ін.);
- установки, що працюють за водо-фреоновим циклом;
- регенеративні обертові теплообмінники, пластинчасті рекуператори, теплообмінники з проміжним теплоносієм, з “тепловими трубами” для використання теплоти вентиляційних викидів.

Створення переліченого устаткування пов’язане з додатковими витратами, які є значно більшими від тих, що потрібні для утилізації високотемпературних ВЕР. Розв’язання питання щодо ефективного використання НПТ ускладнено ще й тим, що звичайно складно знайти відповідного споживача енергоносїв, вироблених утилізаційними установками.

І справді, теплоту, вироблену в утилізаційних установках НПТ, досить складно вписати у графік традиційних споживачів. У таких випадках стоїть завдання шукати нових, раніше з якихось причин не врахованних споживачів низькопотенційного енергоносія. Потрібно вивчити можливість його використання як усередині певного підприємства – для очищення стоків і конденсату, деаерації та знесолення живильної води, виробництва холоду тощо, так і на стороні – для опалення теплиць і парникових господарств, опріснення морської води й інших комунальних потреб. У разі, коли вироблення низькопотенційної енергії значно перевищує потребу в ній підприємства і дотичних до нього споживачів, економічно доцільним може виявитися її використання для виробництва електроенергії в енергоустановках з низькокиплячими робочими тілами (фреонами).

Відзначмо, що розробки теплопостачання промислових вузлів на базі використання ТВЕР тільки на чотирьох підприємствах чорної металургії (на трьох великих і одному середньому), дають змогу заощадити близько 6 млн т у. п. 20–25 % цієї зекономленої суми одержують за рахунок перекомунікації теплової схеми заводських енергостанцій і раціоналізації системи теплопостачання в цілому. Одначе, зі зростанням промислового виробництва кількість ВЕР збільшиться лише трохи, оскільки

розвиток енергоощадних технологій приведе до відносного зменшення енергетичних відходів.

Утилізації ТВЕР технологічного процесу передує можливість повернути відведену теплоту назад – до основного процесу з відповідним підвищенням його теплового ККД; цей спосіб називають регенерацією теплоти і досить широко застосовують у техніці. Для нього потрібні: економайзери парових котлів, регенератори і рекуператори промислових печей, теплообмінники для регенерування теплоти вентиляції тощо. Використання ТВЕР доповнює регенерацію теплоти, що є першочерговою, і тільки залишкову теплоту після регенерації слід розглядати як ТВЕР. Розмежування понять "використання ТВЕР" і "регенерація теплоти" можна проілюструвати такими прикладами:

1. За паровим котлом звичайно встановлюють водяний або/і повітряний економайзер (и) для роботи на відхідних газах. Теплота, що в результаті відходить, повертається до основного процесу з живильною водою або повітрям горіння з метою знизити витрати палива в топці, а це і є регенерацією теплоти. За економайзером, що нагріває живильну воду, може розміщуватися теплофікаційний економайзер для нагріву мережевої води системи теплопостачання або контактний – для гарячого водопостачання. Ці пристрої слугують для використання ТВЕР.

2. За промисловими печами вмонтовують теплообмінники-регенератори, рекуператори для того, щоб відхідні гази нагрівали дуттьове повітря, причому в піч повертається частина теплоти газів, тобто відбувається регенерація. Установлені після (замість) них водяні економайзери, що обслуговують зовнішніх споживачів, є утилізаторами ТВЕР.

3. Підігрівання припливного повітря витяжним повітрям вентиляції – це регенерація, що знижує витрачання теплоти в основному процесі. Використання цієї теплоти як ТВЕР є неможливим через низьку температуру витяжного повітря.

У питаннях утилізації ВЕР важать техніко-економічні розрахунки. Сьогодні варіанти вирішення народногосподарських завдань перш за все мають відповідати умовам соціально-економічної ефективності. Обов'язковим є дотримання екологічних вимог. Економічну ефективність слід порівнювати щодо варіантів, які задовольняють ці вимоги, а ухвалювати найекономічніший із соціально ефективних (за науково-технічною політикою, концепцією розвитку промислових галузей, розміщенням продуктивних сил та ін.) і екологічно припустимих варіантів.

Такий підхід має велике значення для розв'язання технічних проблем, зокрема для вибору джерел енергопостачання. Соціальна й екологічна ефективність використання ВЕР є очевидною – це збереження невідновлюваного палива, зменшення забруднення атмосфери, зниження витрат і поліпшення умов праці, розвантаження транспорту.

8.3. Ефективність застосування ВЕР

Паливні ВЕР потрібно використовувати як паливо повністю (100 %). Об'єм застосування вторинних енергетичних ресурсів, що утилізуються з перетворенням енергоносія, визначено можливим виробленням електроенергії в утилізаційній установці.

Можливу кількість утилізованої теплоти для виробництва водяної пари або гарячої води за рахунок теплових ВЕР загалом визначають відповідно до формули:

$$Q_T = G\,(h_1 - h_2)\,\beta(1 - \xi), \tag{8.1}$$

а для виробництва холоду так:

$$Q_x = Q_T \varepsilon, \tag{8.2}$$

де G – витрата енергоносія ВЕР в утилізаційній установці; h_1 і h_2 – ентальпія енергоносія відповідно на вході й виході з УУ; β – коефіцієнт, що враховує невідповідність режиму і кількості годин роботи УУ та агрегату-джерела ВЕР; ξ – коефіцієнт утрат теплоти УУ в зовнішнє середовище; ε – холодильний коефіцієнт.

Кількість виробленої теплоти в УУ можна визначити також за формулою

$$Q_T = Q_{вих}\eta_y, \tag{8.3}$$

де η_y – умовний ККД утилізаційної установки.

Можливу кількість електроенергії в утилізаційній турбіні за рахунок ВЕР у вигляді надлишкового тиску визначають за формулою

$$W = M_{ВЕР}\tau I\cdot\eta_{ві}\cdot\eta_м\cdot\eta_г, \tag{8.4}$$

де $M_{ВЕР}$ – часова кількість енергоносія (рідини або газу, що має підвищений тиск); τ – кількість годин роботи агрегату-джерела ВЕР у розглядуваний період; I – робота ізоентропного розширення енергоносія; $\eta_{ві}$ – внутрішній відносний ККД турбіни; $\eta_м$ – механічний ККД турбіни; $\eta_г$ – ККД електрогенератора.

Якщо до конденсаційної турбіни від теплоутилізаційних установок надходить водяна пара високих параметрів, кількість енергії визначається відношенням

$$W = Q_т/q_к, \tag{8.5}$$

де $Q_т$ – кількість теплоти, що надходить до турбіни від теплоутилізаційної установки; $q_к$ – питома витрата теплоти на виробництво електроенергії в конденсаційній турбіні.

Економічну ефективність використання ВЕР детермінує значення зведених витрат на систему енергопостачання, енергетичну установку або агрегат,

$$B = C + E_н k, \tag{8.6}$$

де B – зведені витрати, грн/р.; C – річні експлуатаційні витрати (собівартість), грн/р.; $E_н$ – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень, який для енергетичної галузі дорівнює 0,12 рік$^{-1}$; K – капіталовкладення, грн.

Економічно найефективнішим є варіант, який характеризується мінімумом зведених витрат B_{min}. Зведені витрати для варіантів енергопостачання з утилізацією ВЕР можна окреслити за співвідношенням

$$B_{ут} = C_{ут} + E_н K_{ут}, \tag{8.7}$$

а для енергопостачання без утилізації ВЕР за рівнянням

$$B_{б.\,ут} = C_{б.\,ут} + E_н K_{б.\,ут}, \tag{8.8}$$

де індекси *ут* і *б. ут* указують на варіант енергопостачання.

Економічний ефект від використання ВЕР визначається різницею в річних зведених витратах за порівнюваними варіантами:

$$\Delta B = B_{б.\,ут\ min} - B_{ут\ min} = C_{б.\,ут} - C_{ут} - E_н (K_{ут} - K_{б.\,ут}). \tag{8.9}$$

Використання ВЕР є економічно доцільним для позитивного значення різниці ($\Delta B > 0$).

РОЗДІЛ 9

ТЕПЛОВІ НАСОСИ – АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

Стан, потенціал і перспективи розвитку теплонасосної техніки

▪

Термодинамічні основи роботи і характеристики теплових насосів

▪

Напрями використання і класифікація

▪

Головні типи теплових насосів

▪

Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ

9.1. Стан, потенціал і перспективи розвитку теплонасосної техніки

Як уже зазначалося, важливе місце в паливно-енергетичному балансі (ПЕБ) країни, зокрема міст і інших населених пунктів, посідає низькотемпературне тепло. Головним чином його витрачають на комунально-побутові потреби промислових підприємств, житлового сектору та комунально-побутової сфери. На опалення і гаряче водопостачання витрачається близько 30% палива, при цьому понад 45% теплоспоживання покривають за допомогою ТЕЦ, великих районних і виробничих котелень, експлуатація яких пов'язана з істотним негативним впливом на екологію.

За цих умов, а також у зв'язку зі зростанням вартості палива і його дефіцитом, усе важливішим стає залучення вторинних енергоресурсів до ПЕБ. У промисловості досягнуто певних успіхів в утилізації високотемпературних

ВЕР – рідин з температурою понад 150 °С і газів з температурою більше 150–200 °С. Натомість практично не реалізується утилізація низькопотенційної теплоти. Водночас, у загальному об'ємі ВЕР низькотемпературні джерела за теплотою становлять близько 50%. "Теплові річки" охолоджувальної води конденсаторів турбін, охолоджувальні середовища генераторів, скидні теплові стоки підприємств, станцій аерації, теплові відходи виробництв агропромислового комплексу та ін., що містять тисячі МВт енергії, викидаються в довкілля, погіршуючи і так несприятливу екологічну обстановку в містах і промислових центрах.

Основним чинником, який стримує утилізацію скидної теплоти, є порівняно низький її температурний потенціал. Із цієї ж причини не використовують необмежені джерела теплоти, розсіяні в землі, ґрунтових водах і водах природних водоймищ, в атмосферному повітрі.

У світлі всього сказаного особливу увагу привертають теплові насоси – установки, які завдяки витраті невеликої кількості електричної енергії дають змогу підвищити потенціал тепла зазначених низькотемпературних джерел до необхідного рівня. На сьогодні теплові насоси є найперспективнішими теплоенергетичними установками, що ефективно використовують низькотемпературну теплоту.

Теплові насоси (підвищувальні термотрансформатори) – це пристрої (машини), які сприймають теплоту довкілля для подальшої передачі її тілу з вищою температурою. Таким чином, тепловий насос — це пристрій, який дає змогу передати теплоту від холоднішого тіла до більш нагрітого, використавши додаткову енергію. Застосування теплових насосів видається одним з важливих шляхів утилізації теплоти вторинних енергетичних ресурсів.

Як відомо, теплота низького потенціалу є продуктом технічної діяльності людини, причому чим нижче її температурний рівень, тим більше цієї теплоти безповоротно втрачається, розсіваючись у довкілля. За приклад носіїв такої теплоти може слугувати нагріте повітря, що йде в атмосферу із систем вентиляції та кондиціювання, або теплі побутові і промислові стічні води, що мають температуру приблизно 20...40 °С. Досить часто єдиним економічно виправданим способом утилізації

теплоти таких вторинних енергетичних ресурсів є застосування теплових насосів, котрі можуть використовувати як теплоту, вироблену в різних технічних пристроях, так і теплоту природних джерел – повітря, води природних водоймищ, ґрунту.

Головна ділянка застосування теплових насосів у цей час – нагрівання теплоносія для систем опалення, вентиляції й гарячого водопостачання будівель. Проте їх можна використовувати і для технологічних цілей.

Теплові насоси розрізняють щонайперше за способом перетворення теплоти. Типи теплових насосів, які збігаються з типами холодильних установок (оскільки реалізують один і той самий термодинамічний цикл), підрозділяють на парокомпресійні, газокомпресійні, сорбційні, пароежекторні й термоелектричні.

Інший важливий вид класифікації теплових насосів ґрунтується на типі джерел енергії, що його використовують для перетворення теплоти. Це може бути електродвигун, газова турбіна, двигуни внутрішнього згорання, механічна енергія струменя пари абощо. Часто теплові насоси розділяють за видом робочого аґента (фреонові, аміачні, повітряні та ін.) і типом теплоносіїв, які віддають і сприймають теплоту (повітря – повітря, вода – повітря, вода – вода тощо).

Найбільшого поширення нині набули парокомпресійні теплові насоси, що як робочий аґент використовують один із фреонів або їх суміш. Докладніше на цих питаннях зупинимося в наступних розділах.

Теплонасосні установки (ТНУ) широко застосовуються у США, Японії, Канаді, Франції, Швеції та в інших розвинених країнах. Їх використовують для опалення, гарячого водопостачання, кондиціювання, в процесах сушіння дерева, паперу, зерна, для обігріву теплиць, виробництва харчових продуктів, для опріснення, дистиляції води та в багатьох інших сферах.

Зарубіжні ТНУ переважно спрямовано на теплопостачання і кондиціювання індивідуальних споживачів. Так, продаж теплонасосних кондиціонерів у США останніми роками підтримується на рівні близько 1 млн штук щороку. Активна енергоощадна політика проводиться в Японії, унаслідок чого продаж

ТНУ сягнув понад 1,5 млн штук. Загальна кількість ТНУ у світі до 2001 року перевищила 25 млн.

Тільки за 1995 р. у США було побудовано близько 1 млн односімейних житлових будинків, з яких 246 тис. обладнані опалювальними ТНУ. Загальну кількість установлених у США теплових насосів оцінюють сумою більше 7,5 млн, що становить близько 11% від загальної кількості опалювальних установок.

Європа застосовує теплові насоси також у достатньо великій кількості. Так, в Австрії щорічно продається більше 1 000 комплектів опалювальних теплових насосів і 6 000 комплектів теплонасосних установок гарячого водопостачання. У Нідерландах, де пристрій теплонасосних систем забезпечують державні субсидії, установлюється понад 100 тис. теплових насосів на рік. Нинішній обсяг продажів теплових насосів у Швеції становить близько 35 тис. комплектів на рік, а в Швейцарії щорічно встановлюють до 3 тис. одиниць теплонасосного устаткування.

Можливість використовувати в теплових насосах енергію довкілля відкриває нові потреби енергозбереження у царині житлово-цивільного будівництва. Водночас, перетворення низькопотенційної енергії довкілля пов'язане з витратами електричної енергії й досить високою вартістю устаткування.

ТНУ застосовують і як великі установки централізованого теплопостачання. Особливо вирізняється Швеція, що експлуатує найбільші в світі теплонасосні станції (ТНС) потужністю від 40 до 120 тис. кВт. Сумарна потужність ТНС у Стокгольмі досягає 500 тис. кВт.

За рубежем ТНУ випускаються серійно і мають термін окупності 2-4 роки, тут ведуться інтенсивні дослідження щодо їхньої розробки і вдосконалення. Так, у США річні витрати на ці роботи перевищують 100 млн доларів. ТНУ є добре відпрацьованими промисловими виробами, масштаби і темпи впровадження яких визначаються не тільки технічними, а й багато в чому екологічними чинниками.

Поряд з великими ТНС і ТНУ, спостерігають зростання кількості експлуатованих у різних країнах опалювальних, опалювально-охолоджувальних (цілорічних кондиціонерів) і водонагрівальних ТНУ незначної потужності.

Тим часом, у всіх країнах СНД завважують серйозне відставання у практичній реалізації передових розробок у сфері теплонасосної техніки. Головна причина – несприятливе для ТНУ співвідношення цін, що склалося тоді на електроенергію й паливо. Економічна ефективність ТНУ, які споживають електроенергію і заощаджують паливо, є тим вищою, чим дешевша електроенергія і дорожче паливо. Якщо раніше в СРСР зазначене співвідношення було істотно більшим, аніж в інших індустріально розвинених країнах, то після утворення України як самостійної держави воно змінилося у зворотний бік, тобто економічні передумови розвитку ТНС і ТНУ стали сприятливішими.

9.2. Термодинамічні основи роботи і характеристики теплових насосів

Здатність теплового насоса брати енергію з довкілля вигідно відрізняє його від інших теплогенераторів, які всі свої теплові втрати разом із продуктами згорання скидають в атмосферу (рис.9.1). Для того, щоб тепловий насос міг забирати енергію від довкілля за відносно низької температури, до нього конче треба підвести механічну енергію, яка в більшості випадків перетворюється з електричної енергії. Звичайно при теплонасосному опаленні потрібно майже в 3 рази менше електричної енергії, ніж під час прямого перетворення електричної енергії на теплову, наприклад, в електрорадіаторах. Таке порівняння, проте, не зовсім коректне, оскільки електричну енергію виробляють на теплових електростанціях з досить низьким ККД, і правильніше було б оцінювати ефективність теплового насоса за величиною первинної енергії палива, що її витратили на виробництво одиниці споживаної теплоти. Схема потоків енергії при теплонасосному опаленні наведена на рис.9.2.

Як уже наголошувалося, тепловий насос (ТН) вірогідно є одним з термотрансформаторів – пристроїв, які забезпечують

подачу тепла від одних тіл до інших при тому, що ці тіла мають різні температури. Термотрансформатори можуть бути підвищувальними у разі, коли призначені для передачі теплоти до тіл з низькою температурою, і знижувальними, якщо за їх допомогою передається теплота тілам з високою температурою. Термодинамічні цикли термотрансформаторів є поєднанням прямого і зворотного циклів.

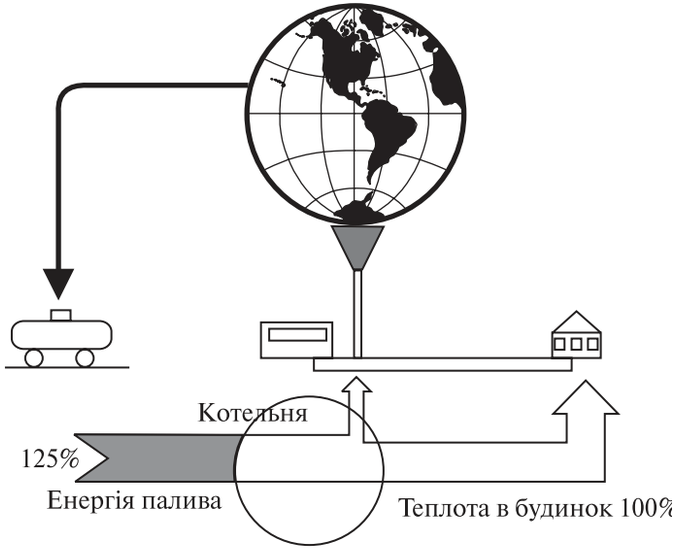


Рис.9.1. Схема потоків енергії за опалення від котельні

Таким чином тепловий насос є певним ґатунком підвищувальних термотрансформаторів і здійснює передачу теплоти від зовнішнього середовища до тіла з вищою температурою (рис.9.2).

Принцип дії та основні характеристики теплових насосів. Немає принципової відмінності в роботі й у конструкції холодильних машин і теплових насосів. Розрізняють лише призначення і температурний рівень одержуваної теплоти. Мета холодильної машини – одержати теплоту з температурою нижче за рівень температури довкілля, тобто виробництво охолодженого теплоносія (розсоли, антифризи, повітря, вода), що виходить із

випарника. Мета теплового насоса – дістати теплоту (у випадку парокомпресійного теплового насоса як нагрітий теплоносій (вода, повітря), що виходить із конденсатора).

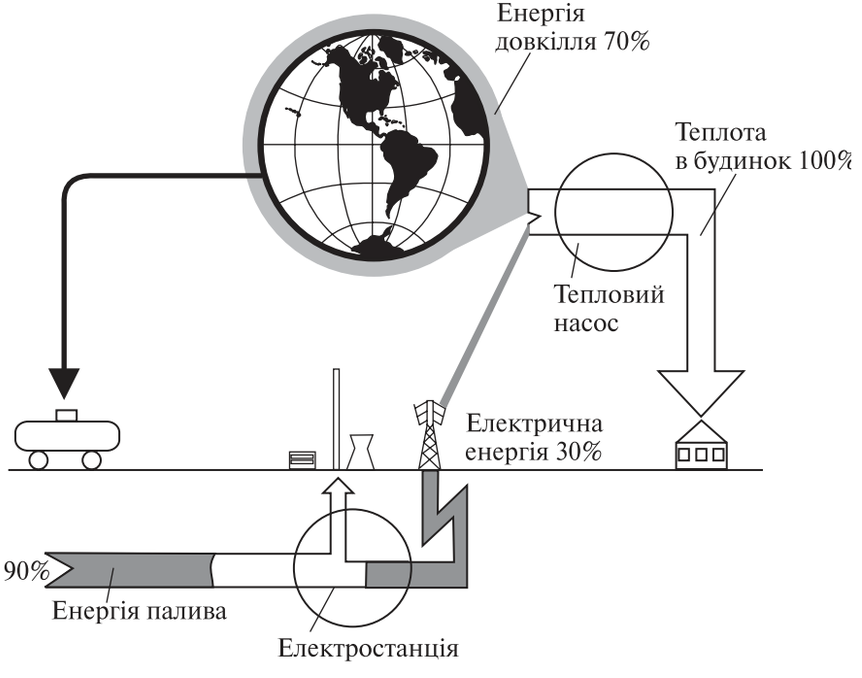


Рис.9.2. Схема потоків енергії за теплонасосного опалення

Проілюструймо принцип дії парокомпресійного теплового насоса, навівши на рис. 9.3. його схему і термодинамічний цикл у діаграмі *T-s* (“температура-ентропія”). Тепловий насос діє за рахунок механічної роботи, підведеної в компресорі, що йому надає рух електричний або тепловий двигун. У компресорі тиск робочої речовини, що перебуває в пароподібному стані, зростає від P_1 до P_2 (процес 1-2). За умови постійного тиску в конденсаторі потім відбувається конденсація робочої речовини (процес 2-3). Одержане внаслідок конденсації тепло передається споживачу при температурі T_2, наприклад нагріваючи воду, направлену в систему опалення. У дроселі відбувається розширення робочої речовини до тиску P_1 з його частковим випаровуванням (процес

3-4). Далі, робоча речовина цілком перетворюється на пару при температурі T_1 у випарнику, де теплоту забирають від її джерела, наприклад, від нагрітого вентиляційного повітря або продуктів згорання.

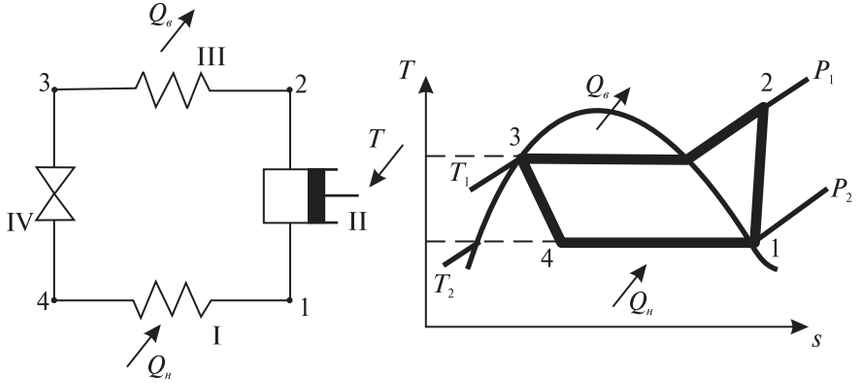


Рис.9.3. Схема парокомпресійного теплового насоса і його цикл у *T-s* діаграмі: I – випарник; II – компресор; III – конденсатор; IV – дросель

Основними характеристиками теплового насоса є коефіцієнт перетворення (трансформації) тепла, термодинамічний ККД і питома вартість, тобто вартість, віднесена до теплопродуктивності теплового насоса.

Коефіцієнт перетворення тепла — це цілковите відношення одержуваної теплової потужності до потужності, що витрачається на привод компресора. Він вищий за одиницю, істотно залежить від температури холодного джерела теплоти T_1 і температури одержуваного гарячого теплоносія T_2. У результаті роботи теплового насоса можна дістати приблизно в 2-8 разів більше теплоти, ніж у випадку безпосереднього підігрівання теплоносія в електрокалорифері:

$$\varepsilon_T = \frac{Q_B}{N} = \frac{T_2}{T_2 - T_1}, \qquad (9.1)$$

де $Q_в$ – теплопродуктивність, а N – потужність, що витрачається.

Для тих, хто не ознайомлений з роботою теплових насосів, ця обставина здається порушенням першого закону термоди-

наміки. Насправді це не так: ми лише трансформуємо теплоту нижчого потенціалу в теплоту вищого потенціалу, тобто іншого температурного рівня. Коефіцієнт перетворення тепла не є коефіцієнтом корисної дії теплонасосної установки. Відомо, що якість виду енергії залежить від його здатності перетворюватися на інший вид енергії. Якщо механічна робота в ідеальному процесі може бути цілком перетворена на інший вид енергії, то теплота навіть в ідеальному процесі лише частково обертається на механічну роботу. Міру перетворення теплоти в роботу характеризує працездатність або ексергія потоку теплоти, вона посутньо залежить від температурного рівня потоку теплоти, а також від температури довкілля.

Термодинамічна досконаліть теплового насоса визначається його ексергетичним ККД, що може бути обчислений таким чином:

$$\eta_e = \frac{Q_B \omega}{N}. \qquad (9.2)$$

Тут ω – температурна функція або коефіцієнт працездатності теплоти, визначувана як термічний ККД циклу Карно між температурами T_1 і T_2 (температурою довкілля)

$$\omega = \frac{T_2 - T_{OC}}{T_2}. \qquad (9.3)$$

Як бачимо, ексергетичний ККД теплонасосної установки завжди менше одиниці.

Приблизна залежність коефіцієнта трансформації теплоти від температури наведена на рис. 9.4. За малої різниці температур у випарнику й конденсаторі коефіцієнт трансформації може досягати великих значень. На практиці за сучасного рівня цін на устаткування та енергоносії рекомендують застосовувати теплові насоси з коефіцієнтом трансформації не нижче 2,5.

Питома вартість теплових насосів, що випускаються в Росії, за даними [41,68], для потужностей від 100 до 10 000 кВт становить 200–250 дол.США за 1 кВт установленої теплової потужності (включаючи монтаж). Вартість теплових насосів, що їх випускають зарубіжні фірми, є трохи вищою. Слід чекати, що

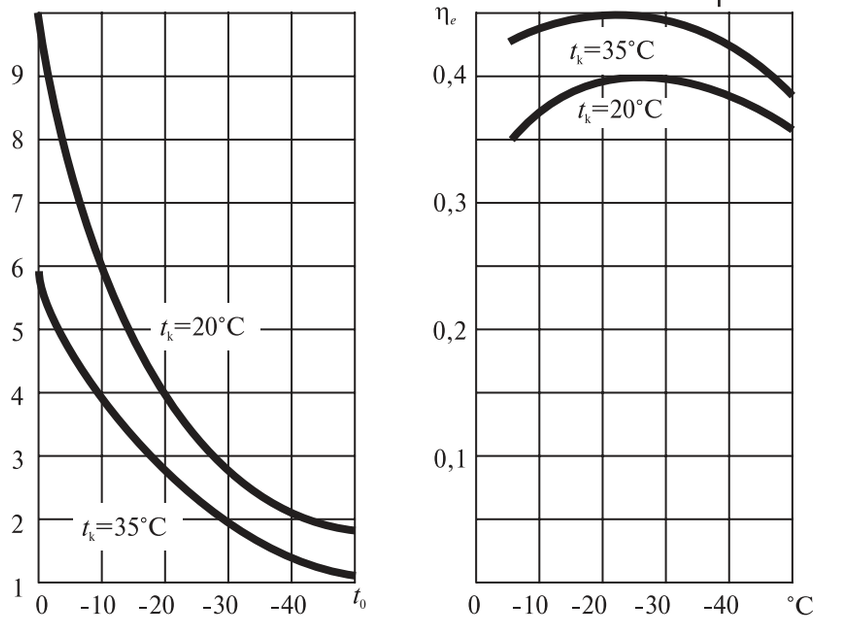


Рис. 9.4. Залежність холодильного коефіцієнта (а) та ексергетичного ККД (б) від температур конденсації й випаровування

зі збільшенням числа вітчизняних виробників питома вартість теплових насосів знижуватиметься.

Характеристики теплового насоса неабияк залежать від уживаної робочої речовини, що нею найчастіше виступають різноманітні фреони (хладони) – галогенопохідні граничних вуглеводнів. Використовуються такі фреони, як R-22, R-134A, R-407, а також озонобезпечний фреон R-142B. Застосування фреону R-22 Монреальська конвенція дозволила лише до 2005 року. Характеристики фреонів багато в чому визначають коефіцієнт перетворення тепла, а отже, економічність теплового насоса.

Теплові насоси широко використовують для теплохолодопостачання в технологічних процесах для опалення і гарячого водопостачання.

Однаковий принцип роботи холодильних машин і теплових насосів дає змогу в одному агрегаті виробляти холод і теплоту,

забезпечуючи одночасно тепло- і холодопостачання споживача. Таке поєднання звичайно є економічно вигідним.

Джерелом теплоти для теплового насоса, використовуваного у прцесі опалення, можуть бути повітря, вода і ґрунт. Абонентом теплоти є опалювальне приміщення. Якщо температура джерела теплоти змінюється (наприклад, добова зміна температури повітря), то ефективність теплового насоса також змінюється.

Таким чином, використовуючи тепловий насос, можна одержати корисного тепла більше, ніж міститься у витраченому на його виробництво паливі (на декілька десятків відсотків), а це може зумовити значний економічний ефект.

Відомо багато типів теплових насосів, з яких найбільш споживаним є компресорний парорідинний. Він складається з чотирьох елементів: компресора, випарника і терморегулювального вентиля (рис.9.5).

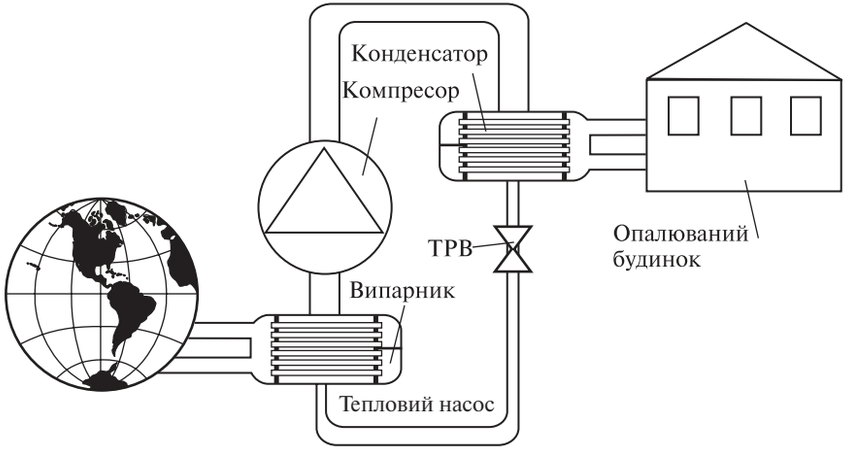


Рис.9.5. Схема перетворення природної енергії в тепловому насосі

Усі апарати теплового насоса заповнені легкокип'ячим холодильним аґентом, для якого температура довкілля є такою високою, що у випарнику починається кипіння рідкого холодаґента. Компресор відсмоктує утворену пару. У процесі стиснення в компресорі температура пари холодаґента підвищується

настільки, що в конденсаторі, омиваному теплоносієм системи опалення, пара зріджується, а теплота конденсації передається теплоносію, який при цьому нагрівається. На шляху до випарника рідкий холодаґент проходить крізь терморегулювальний вентиль, де різко знижується тиск рідини, після чого й починається її кипіння у випарнику, в якому цикл замикається.

Відношення виробленої теплової енергії до витраченої в компресорі роботи вірогідно і є коефіцієнтом перетворення теплового насоса $E_{пр}$., що залежить від різниці температур джерел. Якщо різниця незначна, коефіцієнт перетворення може досягти високих значень. За великої різниці температур він знижується. Вважають, що опалювальний тепловий насос є ефективним у разі, коли коефіцієнт перетворення дорівнює 3 і більше. Розрахувати ефективність теплового насоса – то є достатньо складне завдання, з яким можна впоратися, зважившн на конкретні умови експлуатації.

9.3. Напрями використання і класифікація

Великі теплонасосні установки (ТНУ) і теплонасосні станції (ТНС) сприяють розв'язанню проблем щодо економії палива й енергії, заміщенню органічного палива ядерною енергією, прискоренню електрифікації та підвищенню ефективності тепло- й холодопостачання промислових підприємств і комунально-побутової сфери. Крім того, їхнє застосування може зробити істотний внесок у стабілізацію екологічної обстановки.

Розрахунки показують, що за умов упровадження ТНУ в системи теплопостачання можна досягти економії в 20-70%. В екологічному аспекті позитивна сторона ТНУ полягає, по-перше, у відсутності процесу горіння і супутного забруднення атмосфери; по-друге, в утилізації теплових відходів виробництв, що є важливим напрямом захисту біосфери від теплового забруднення.

Інші переваги ТНУ:

- виняткова універсальність стосовно продуктивності (від кількох кВт до десятка МВт), щодо виду використовуваної первинної енергії та низькопотенційної теплоти;
- широка сфера застосування: опалення, гаряче водопостачання і кондиціювання, одночасне охолодження одних об'єктів і нагрівання інших, використання в технологічних процесах ректифікації, опріснення, сушіння;
- скорочення витрат на транспортування палива:
- зниження капіталовкладень у теплові мережі;
- зниження трудовитрат на експлуатацію тепловиробних об'єктів за рахунок практично цілковитої автоматизації ТНУ.

ТНУ сприяють одночасному розв'язанню трьох найважливіших проблем: енергозбереження, охорони довкілля, економії і поліпшення умов праці теплоенергетичних виробництв.

Відтак, теплові насоси – джерела тепла, що реалізують прогресивну технологію, забезпечують якісно новий рівень розвитку систем теплопостачання і подальшу оптимізацію паливно-енергетичного комплексу взагалі.

Теплонасосна станція є джерелом централізованого теплопостачання, що складається з ТНУ, пікової водогрійної котельні і теплових акумуляторів, які дають змогу ТНУ працювати за примусовим графіком енергоспоживання в провальні або позапікові години графіка навантаження енергосистеми.

Як було показано раніше, економія палива під час експлуатації ТНУ, порівняно з безпосереднім його спалюванням у печах і котлах, у процесі вироблення теплоти невисоких температур досягається завдяки раціональнішому використанню енергії. Можливість вибору термодинамічного циклу (на відміну від традиційного способу одержання тепла в котлах) дає змогу управляти верхнім рівнем температур таким чином, що він лише на кілька градусів перевищує температуру нагріву теплоносія. Як наслідок, на здійснення роботи циклу витрачають лише невелику кількість енергії, визначеної кількістю роботи, яку може виконувати система під час свого зворотного врівноваження з довкіллям.

Такі достоїнства ТН роблять їх досить вигідними для використання в найрізноманітніших низькотемпературних системах енергопостачання, насамперед у системах тепло- і холодопостачання.

Особливо слід відзначити широкий спектр можливих сфер використання ТН, можливості розвитку ТН з теплоносієм "вода-вода", "вода-повітря" для обігрівання будівель з опалювальними системами на рідкому нафтовому паливі; застосування теплових насосів спільно з використанням сонячної енергії для забезпечення житлових приміщень побутовою гарячою водою; ТН із приводом від дизель-електричного або теплового двигуна; використання ТН з електричним приводом тощо.

Залежно від типу теплових джерел (зовнішнє і вентиляційне повітря, земля, камінь, стічні води, промислове скидне тепло, підземні води, озерна і морська вода, накопичене сонячне тепло, теплота конденсації та ін.) теплові насоси можуть бути класифіковані таким чином:

Теплові насоси, що використовують тепло, нагромаджене в зовнішньому повітрі. Повітря є джерелом тепла, на яке не впливають жодні місцеві умови (за винятком холодного періоду року). Отже, ТН, що послуговуються теплом зовнішнього повітря, мають істотно більшу потенційну можливість для застосування в житловому секторі порівнянно з іншими типами, хоча з повітря вдається видобути дещо меншу кількість тепла, ніж з більшості інших джерел.

Зменшення температури повітря з 10 до 0 °С спричиняє до збільшення потреби в обігріві житлових приміщень майже на 100%, при цьому можливість одержати тепло за допомогою ТН падає приблизно на 40%. Оскільки повітря має невелику густину і низьку теплоємність, доводиться прокачувати його у великій кількості через теплопоглинальний колектор. Реалізація ТН за низької температури (до –20 °С) потребує значних витрат енергії для приводу компресора. Тому, як правило, при температурі нижче –10 °С ТН вимикають і вмикають резервну пікову опалювальну систему. Утворення льоду на випарнику за температури випаровування менше 0 °С (при температурі повітря менше 5 °С) також є вадою таких ТН, оскільки знижує їхню ефективність.

Незважаючи на це, простота установки ТН, що використовують тепло зовнішнього повітря, а також конкурентоспроможність визначили їхнє широке застосування для опалення індивідуальних будинків.

Теплові насоси, які використовують тепло, накопичене в озерній воді. Використання озерної води як джерела тепла дає змогу застосувати ефект природного сезонного нагромадження літнього тепла в озерах і водотоках. Оскільки температура озерної води відносно стабільна й поволі знижується до точки замерзання, можна створити ТН з хорошими економічними показниками і з оптимальним розміщенням елементів системи видобування води для опалення з шару, що зберігає оптимальну температуру протягом усього року.

Розробка і застосування ТН такого ґатунку для забезпечення теплом усіх типів житлових приміщень мають свої специфічні особливості й потребують конкретного розгляду.

Теплові насоси, що використовують тепло стічних вод. Стічні води, як і зовнішнє повітря, є низькотемпературним джерелом тепла, особливо зручним для використання ТН. Стічні води з температурою влітку близько 20 °С і взимку рідко менше 8 °С, як правило, є в усіх міських забудовах. Як джерело тепла їх можна використовувати і необробленими, й очищеними. Після очищення стічні воді звичайно мають вищу температуру і дають змогу скоротити відстань між ТН і місцем їхнього використання. Проте їхнє застосування часто спричинює засмічення трубопроводів і блокування теплообмінних поверхонь.

Такі ТН доцільно розміщувати поблизу очисних споруд або у великих будівлях, що мають вагому кількість порівняно чистих стічних вод.

Економічні показники перетворення тепла є схвальними, однак загальні можливості ТНУ цього типу оцінити поки що досить складно.

Теплові насоси, які використовують тепло вентиляційного повітря. ТН для рекуперації тепла з повітря, що викидається вентиляційними системами і має температуру близько 20 °С, яка дещо змінюється протягом року, створює можливість мати вищий коефіцієнт перетворення тепла в зіставленні з іншими

джерелами низькотемпературного тепла. Вони можуть бути встановлені в багатоквартирних, індивідуальних будинках та інших спорудах із механічною системою вентиляції.

Очевидно, що вентиляційне повітря є порівняно обмеженим джерелом тепла, а збільшення вентиляційних потоків неминуче викликає зростання потреби в опаленні.

Крім того, використання ТН названого типу, призначених для забезпечення гарячого водопостачання, показало, що ці системи неекономічні, оскільки їх використовують упродовж близько 50% часу. І нарешті, велика частина витрат у таких системах пов'язана з прокладенням трубопроводів у будівлях і будівельними роботами, а це удоцільнює вибір ТН, які рекуперують тепло, що викидається з повітря і використовують його для опалення.

Теплові насоси, що використовують тепло поверхневих шарів землі. Механізм нагромадження тепла в землі аналогічний механізму накопичення тепла в озерах. Шари землі є стабільними акумуляторами сонячного тепла, нагромадженого в літній період, і вочевидь є великим джерелом низькотемпературного тепла, яке може бути використане взимку.

Тепло поверхневих шарів може бути використано як джерело тепла для індивідуальних і багатоквартирних будинків, а також опалювальних котелень потужністю до 1 МВт. Придатність для теплопостачання залежить від типу ґрунту і вмісту в ньому води. Постійна і відносно висока температура землі дає змогу дібрати тепловий насос, здатний забезпечити всі енергетичні потреби добре ізольованого індивідуального будинку. Попри відносну дорожнечу, вони успішно застосовуються в секторі індивідуальних будинків. Принципово можливим і перспективним є їхнє застосування для великих будівель (наприклад, шкіл), що володіють достатньою площею землі, а надто ж якщо скоротити площу землі, потрібну для ТН.

Теплові насоси, які використовують тепло підземних вод і скельних порід. Напрям використання такий самий, як і ТН, розглянутих вище. Температура підземних вод на глибині 15-20 м є звичайно постійною, хоча вона коливається залежно від кліматичних умов конкретних районів. Для видобування тепла з підземних

вод використовують пересічні методи буріння свердловин діаметром 10–20 см, завглибшки 50–150 м. Як і під час використання озерної води, застосовують два істотно незбіжні принципи збору тепла. В одному випадку замкнута трубопровідна система опускається в свердловину. У такому колекторі циркулює теплоносій, що добуває тепло з підземної води і переносить його у випарник теплового насоса. Охолоджений розчин-теплоносій потім закачують назад через систему свердловин. Для невеликого теплового насоса потужністю близько 10 кВт (для індивідуального будинку) потрібно 1-2 $м^3$/г підземної води (залежно від температури).

В іншому варіанті підземну воду закачують безпосередньо у випарник і після охолоджування скидають у спеціальну свердловину, розташовану досить далеко від місця забору, щоб запобігти охолодженню джерела підземної води.

Теоретично такі системи мають більші потенційні можливості проти ТН, що використовують тепло поверхневих шарів землі. Якщо застосування останніх обмежене наявністю відповідних земельних ділянок, то використання тепла підземних вод визначається саме їхньою наявністю і ризиком порушити екологічний баланс підземної води, а також її недостатнім об'ємом.

Можливості використання ТН на підземних водах обмежено територіями, де температура підземної води на глибині 10 м менша 4,5 °С.

Використання інших джерел тепла. Не зупиняючись на застосувані геотермальних вод, відзначимо можливість створення ТН, що використовують скидне тепло технологічних процесів. Цей напрям розвитку ТНУ в деяких випадках може виявитися надзвичайно ефективним (термін окупності – 1-3 роки). Проте всі ці питання вимагають окремого опрацьовування, починаючи з узгодження інтересів підприємств і місцевих органів водопостачання.

9.4. Головні типи теплових насосів

Практичне застосування дістали теплові насоси двох типів:

- парокомпресійні (ПТНУ), де робочим тілом є різні фреони і стиснення здійснюється механічним шляхом за допомогою компресора;
- абсорбційні (АТНУ), де робочим тілом є розчин, складений, як правило, з двох компонентів. Ці компоненти мають різні температури кипіння за однакового тиску. Один компонент є робочим аґентом, а другий – абсорбентом (поглиначем). Схема АТНУ організована таким чином, що в одному з елементів (генераторі) відбувається випаровування аґента, а в іншому (абсорбері) – його поглинання. За аналогією з ПТНУ абсорбер відіграє роль усмоктувальної сторони компресора, а генератор – нагнітальної. Як робочі середовища найчастіше застосовують водні розчини аміаку і бромистого літію, причому в першому розчині аміак, а в другому вода є робочими аґентами.

У світовій практиці найбільш поширеними є парокомпресійні ТНУ. Це пояснюється, з одного боку, їхньою більшою енергетичною ефективністю в порівнянні з АТНУ, з другого – характерним для розвинених країн практично необмеженим постачанням електроенергії, яка з ПТНУ йде на привод електродвигуна компресора. Зарубіжні ПТНУ є компактними і високотехнологічними аґреґатами.

Робочі середовища АТНУ – водні розчини аміаку або бромистого літію – менш дефіцитні й зручніші в експлуатації завдяки своїй меншій текучості; розчин бромистого літію екологічно безпечний. Для виготовлення теплообмінного устаткування АТНУ використовують порівняно недорогі ґатунки сталі.

Простота конструкції та виробництва вигідно відрізняють АТНУ від ПТНУ, де потрібне прецизійне виготовлення і складання компресорів; використовуються складні спеціалізовані технології для конденсаторів і випарників, куди витрачають

переважно мідні й алюмінієві сплави. З цим також пов'язана висока надійність АТНУ та малі витрати на їхнє обслуговування.

Теплонасосні схеми можуть бути центральними, центрально-місцевими, автономними.

Центральні системи. Одержання тепла, холоду, нагрівання, зволоження й осушення повітря відбувається централізовано, повітря розподіляють по вентиляційних каналах. Перевага – застосування великих установок, вентиляторів та іншого устаткування знижує капіталовкладення. Вади – складне впровадження пристрою у вже споруджені будівлі; доконечна потреба в підведенні гріючої й охолоджувальної води; дорожчання системи регулювання за необхідності підтримувати різний мікроклімат в окремих приміщеннях будівлі.

Центрально-місцеві системи. Тепло і холод виробляються централізовано, потім подаються до приміщень, де в місцевих кондиціонерах відбувається обробка повітря. Їхня назва пов'язана з прагненням створити установку, що поєднала б достоїнства центральної й автономної системи.

Автономні системи. Обробка повітря, вироблення тепла і холоду здійснюється децентралізовано. Завдяки цьому досягають великої гнучкості в роботі, не потрібно підводити енергоносіїв, можливим є використання як нових, так і наявних будівель. Завважені достоїнства визначають і ґандж системи: високу питому вартість, відносно великий шум у кондиційованих приміщеннях.

За принципом дії застосовують три основні типи ТН (як і холодильних машин): термоелектричні, повітряні (газові) й парові. Парові теплонасосні установки підрозділяють на абсорбційні та парокомпресійні.

Абсорбційні теплові насоси. Іхня дія заснована на використанні абсорбції водяної пари робочої рідини, що відбувається за допомогою розчину. Найефективнішими вони є тоді, коли температура відпрацьованого теплоносія становить 100 °С і вище. У цих ТН, як правило, застосовують дві речовини: робочий аґент і абсорбент. Найперспективнішим робочим аґентом є вода, абсорбентом — циклічний їдкий натр NaOH, їдкий калій KOH, хлористий кальцій $CaCl_2$, бромистий літій LiBr; усі вони поглинають і виділяють воду.

За рахунок тепла, підведеного від зовнішнього джерела, в генераторі відбувається випаровування розчину абсорбенту. Водяна пара, що виділяється при цьому, надходить до конденсатора. Утворенний конденсат дроселює в регулювальному вентилі й потрапляє у випарник, де на його випаровування підводиться тепло від довкілля. З випарника пара надходить до абсорбера і поглинається розчином абсорбенту. Тепло абсорбції, що при цьому виділяється, відводиться охолоджувальною водою, а збагачений розчин абсорбенту подається в генератор. Після виділення пари абсорбенту розчин у генераторі стає слабким і крізь другий регулювальний вентиль надходить для збагачення в абсорбері.

У ФРН у 80-х роки було проведено економічний аналіз щодо застосування абсорбційних теплових насосів індивідуального призначення. Їхнє використання дало змогу на 30% скоротити витрату палива порівняно з опалюванням газомазутової котельні.

Ціна устаткування АТНУ коливалася в межах від 0,7 до 1,0 тис. марок на 1 кВт проектної потужності. При цьому капіталовкладення на моновалентну схему (опалення тільки за рахунок ТНУ) і бівалентную схему (ТНУ й газовий котел у піковому режимі) були практично однакові. Нині термін окупності теплових насосів не перевищує 10 років, а їхнє розрахункове фізичне спрацювання становить 20 і більше років.

Відносною вадою АТНУ є їхні габарити, що в 1,5-2 більші, ніж у ПТНУ. Одначе при цьому питома споживана потужність знижується в 5 і більше разів. У разі ж використання безнасосної схеми й обігріву генератора скидною теплотою практично зникає потреба в якісній первинній енергії — електриці, газі, рідкому паливі.

Перевагою абсорбційних ТНУ є незначний тиск. Ганджем – спричинювана абсорбентом сильна корозія звичних конструкційних матеріалів. Застосування спеціальних матеріалів, поза сумнівом, позначається на їхній вартості.

Характерною особливістю АТНУ є те, що єдиним джерелом первинної енергії виступає теплота. Енергетичною характеристикою АТНУ слугує коефіцієнт трансформації, що вірогідно є відношенням тепло- або холодопродуктивності до кількості

теплоти, підведеної від гріючого джерела. У наш час технічно досяжне значення коефіцієнта трансформації лежить у межах 20...60%. Це означає, що така частка низькопотенційної теплоти, яку звичайно втрачають, перетвориться на придатну для використання.

Звідси випливає, що пріоритет у використанні АТНУ має широке коло технологічних процесів, які супроводжує виділення скидної теплоти – тобто утилізація низькопотенційних теплових ВЕР. Чимало теплоти скидають житлово-комунальні господарства, а отже її використання створить можливість звести до мінімуму потреби первинної енергії на опалення і гаряче водопостачання.

Парокомпресійні теплові насоси. Такі насоси здійснюють різновид теплонасосних циклів з робочим тілом у вигляді вологої пари. Парокомпресійний цикл забезпечує ізотермічні процеси підведення і відведення тепла, та, по суті, не відрізняється від загальновідомого холодильного циклу. Робоче тіло з конденсатора потрапляє в регенеративний теплообмінник і, дроселюючи в регулювальному вентилі, надходить до випарника, де відбувається його випаровування. Водяна пара, що утворилася при цьому, через теплообмінник відсмоктується за допомогою компресора. У компресорі відбувається стиснення пари (підвищення тиску і температури). Стиснута пара надходить до конденсатора, де й конденсується, віддаючи тепло споживачеві. Далі цикл повторюється і здійснюється безперервна циркуляція робочого тіла в циклі теплонасосної установки. У теплообміннику має місце теплообмін між парою і рідиною, що рухаються одна одній назустріч. Як наслідок, рідина переохолоджується, а пара перегрівається.

Найпоширенішими є системи парокомпресійних теплових насосів типу "повітря-повітря" і "вода-вода", а найприйнятнішими робочими агентами – фреон-12, 22 і 12В1. При цьому фреон-12 і -22 можна використовувати в системах цілорічного кондиціювання повітря, а фреон-12В1 – у системах гарячого водопостачання. Ці речовини нешкідливі, незаймисті, вибухобезпечні, вони також характеризуються помірним тиском конденсації у сфері робочих температур експлуатації.

9.5. Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ

Технічний комітет МІРЕК на підставі аналізу наукових досліджень і досвіду експлуатації термотрансформаторів указує на економічну й екологічну доцільність використання енергії довкілля і низькотемпературної теплоти (20–60 °С) у парокомпресійних теплонасосних установках, а низько- та середньопотенційного тепла на рівні 80–250 °С – в абсорбційних перетворювачах теплоти.

Енергетичного ефекту від упровадження ТНУ можна досягти за рахунок як прогресивнішого способу одержання теплоти з мінімальними втратами енергії, так і абсолютної економії дефіцитного органічного палива, залучаючи величезні кількості скидної теплоти до енергетичного балансу. Масове впровадження ТНУ дасть змогу скоротити об'єм перевезень палива, що за умови загострення транспортної проблеми має неабияке самостійне значення.

Сприятливими передумовами для розвитку теплових насосів є такі:

- тенденції до зменшення відношення вартостей електроенергії й палива;
- наявність потужних низькотемпературних теплових скидів у промисловості;
- збільшення споживання природного газу, що стимулює розвиток великих ТНУ з газотурбінним приводом;
- доконечність захисту довкілля від зростої кількості шкідливих викидів;
- накопичений світовий досвід експлуатації та проектування ТНУ теплопродуктивністю від одиниць кіловат до десятків мегават.

Наостанку розгляньмо деякі шляхи використання ТНУ для утилізації низькопотенційної теплоти ВЕР.

Як відомо, в тепловому балансі багатьох ТЕУ, зокрема парогенераторів, значну кількість утратної теплоти (до 10%), становить

теплота низькотемпературних вихідних газів. Її використання в традиційних теплообмінниках виявляється неекономічним унаслідок знижених температурних натисків і малих коефіцієнтів тепловіддачі з боку газу.

Помітні переваги має використання як утилізаторів абсорбційних теплонасосних установок, які дають змогу, в одному випадку, одержати вищу температуру робочого агента, в іншому, за наявності споживача – перетворити низькопотенційну теплоту на холод. Можливі й розщеплювальні схеми, коли одночасно однією гілкою виробляється високопотенційна теплота, а іншою — холод.

Абсорбційні теплонасосні установки характеризуються високою надійністю, широким діапазоном зміни навантаження, незначним споживанням електроенергії. Вони можуть застосовуватися як індивідуально, так і в комбінації з теплоутилізаторами, зокрема з передувімкненими скруберами під час утилізації запилених і сірчистих газів.

У процесі роботи на чистих газах подальше використання теплоти газів можливе також у парокомпресійних теплонасосних установках, де гази є джерелом низькопотенційної теплоти для випарника. Температура зворотної води в конденсаторі ТНУ досягає при цьому 70-80 °С, що відповідає рівню температур системи теплопостачання автономних споживачів. При цьому можливе підвищення енергетичної ефективності енергоустановок, наприклад, електростанцій не менше ніж на 10 % під час використання відпрацьованої або добірної водяної пари парових турбін як джерела енергії випарників.

Зарубіжний досвід свідчить, що застосування опалювальних систем із тепловими насосами – один з перспективних і досить ефективних способів енергозбереження. Проте в умовах тривалого розвитку вітчизняних систем централізованого теплопостачання їхнє переналаштування на низькотемпературне опалення, характерне для ТНУ, є складною справою. Водночас великим споживачам енергії система ТНУ + ТЕЦ дасть змогу збільшити вироблення електроенергії на тепловому споживанні, одержати в конденсаторах ТНУ теплоту для додаткових споживачів, знизити температуру зворотної води і тим самим зменшити теплові втрати під час транзиту мережевої води.

Теплові скиди ТЕЦ і промислових підприємств, що цілий рік мають температуру 20–40 °С, практично не можуть використовуватися безпосередньо й охолоджуються в градирнях або інших випарних охолоджувачах, віддаючи в атмосферу частину води разом з теплотою. Технічно можливою є заміна градирень випарниками ТНУ, при цьому ступінь охолодження води за збереження її витрати також у середньому буде близько 10 °С.

Така заміна вигідна енергетично з погляду економії капітальних і трудових витрат, а також завдяки тому, що система водопостачання стає замкнутою й різко скорочуються втрати води, що випаровується в градирнях. У процесі охолодження води не в градирні, а за допомогою холоду, виробленого ТНУ, економічний ефект суттєво зростає в разі, коли температура охолоджуваної води наближається до нижньої температурної межі можливостей градирень.

Найбільшого енергетичного й економічного виграшу від застосування ТНУ можна досягти у виробництві, де технологічний процес не обходиться без комплексних систем тепло- і холодопостачання. Такі системи мають місце на підприємствах хімічної, нафтопереробної та інших галузей промисловості, в сільському господарстві, житлово-побутовому секторі. Парокомпресійні чи абсорбційні теплові насоси можуть одночасно виконувати функції теплопостачання й охолодження води, що подається в технологічні апарати.

За попередніми оцінками, застосування ТНУ дасть змогу майже вдвічі знизити витрату палива на потреби теплопостачання, поліпшити експлуатаційні показники енергосистем за рахунок роботи ТНУ з акумуляцією теплоти в “провальні” години графіка електричного навантаження; зменшити теплове забруднення довкілля. Завдяки високій маневреності ТНУ вони можуть бути успішно використані як споживачі-регулятори електричного навантаження, що вирівнюють добову нерівномірність навантаження цих графіків. Окрім того, за скорочення питомої витрати палива з’являється можливість і далі експлуатувати морально застарілі ТЕС.

Зупинімося докладніше на деяких напрямах енергозбереження на основі використання теплових насосів для утилізації ВЕР [41, 68, 69].

Застосування теплових насосів для енергозбереження. У промисловості й у житлово-комунальному господарстві як джерело теплоти для роботи теплових насосів можуть бути використані такі види теплових ВЕР:

- теплота охолоджувальної води парових турбін теплових й атомних електростанцій, промислових печей, компресорних установок, апаратів хімічної технології. Часто ця вода використовується повторно і прямує на охолоджування до градирень і апаратів повітряного охолодження;
- теплота стічних вод різних промислових підприємств і підприємств житлово-комунального господарства (лазні, пральні, басейни);
- теплота продуктів згорання в котельних установках і промислових печах, а також у печах для спалювання твердих і рідких відходів;
- теплота продуктів згорання в газотурбінних установках і дизельних двигунах:
- теплота водяної пари низького тиску, що викидається в атмосферу (випар);
- теплота відпрацьованого сушильного аґента в сушильних установках;
- теплота гарячих розчинів у випарних і ректифікаційних установках;
- теплота мастила, використовуваного в турбінах електростанцій і в електричних трансформаторах;
- теплота повітря, що йде від систем вентиляції та кондиціювання повітря житлових, громадських і промислових будівель;
- теплота витяжного повітря станцій метрополітену та повітря каналів метро.

Низькопотенційну теплоту ВЕР можна використовувати безпосередньо за допомогою теплообмінних апаратів, наприклад, для підігрівання вентиляційного припливного повітря, попереднього підігріву повітря, що направляється в топкові пристрої, для підігрівання сушильного аґента в установках для сушіння матеріалів тощо, проте далеко не завжди це здійснене на практиці.

Теплота підвищеного потенціалу, одержувана в теплових насосах, має ширші сфери використання. Окрім зазначених галузей споживання вона може використовуватися також на опалення, гаряче водопостачання, підігрівання технологічних газів і рідин в апаратах хімічної технології, випарних, перегінних і ректифікаційних установках, у процесах варення, під час рекомпресії пара.

Найбільш доцільно застосовувати ТН, якщо є:

- стабільне в часі джерело теплоти з температурою 10.. .50 °С;
- споживач теплоти з температурою 60...120 °С; у багатьох випадках саме відсутність споживача теплоти утрудняє застосування теплових насосів;
- джерело недорогої електричної енергії при дефіциті тепла;
- невелика різниця між температурами джерела і споживача, в цьому випадку тепловий насос має значний коефіцієнт перетворення;
- джерело теплоти – гаряча вода, водяна пара, що конденсується, або парогазова суміш (ці теплоносії, на відміну від повітря, мають високий коефіцієнт тепловіддачі, що забезпечує малі габарити випарника теплового насоса);
- потреба одночасно виробити теплоту і холод; наприклад, охолодження молочних продуктів та опалення цеху;
- змога влітку використувати тепловий насос у системі кондиціювання, а в зимовий час – у системі опалення.

Розгляньмо деякі схеми, в яких можуть бути використані теплові насоси [68]:

- Використання теплового насоса для охолодження зворотної води, що охолоджує конденсатор парової турбіни теплової електростанції (рис 9.6.).

Як уже наголошувалося, для охолодження зворотної води зазвичай застосовують градирні. У цьому випадку температура води, що надходить із конденсатора до випарника теплового насоса, може становити залежно від сезону 20...35 °С, а це дає змогу одержувати високий коефіцієнт перетворення і короткий термін окупності. Застосування теплового насоса дає змогу скоротити витрати води, що надходить для підживлення системи водопостачання, поліпшити екологічну обстановку поблизу градирні.

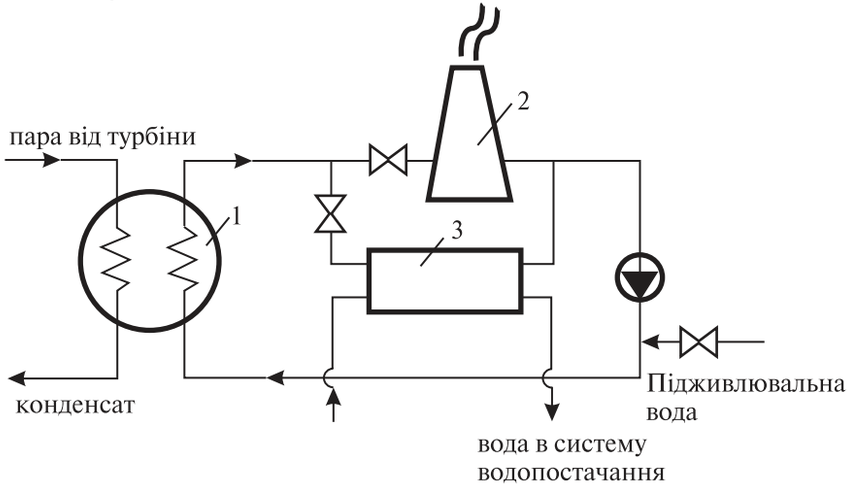


Рис.9.6. Застосування теплового насоса для утилізації тепла зворотної води теплової електростанції

Зниження температури води, що потрапляє в конденсатор за рахунок глибшого її охолодження, сприяє збільшенню ККД станції.

— Використання теплового насоса для утилізації тепла вентиляційних викидів промислового підприємства (рис 9.7.).

Наявність шкідливих речовин, пари рідин або твердих частинок у вентиляційних викидах унеможливлюють застосування рециркуляції витяжного повітря. Використання теплового насоса в такій схемі дає змогу відмовитися від традиційного для цих випадків застосування теплообмінників-утилізаторів. Виробленої насосом теплоти звичайно достатньо для підігрівання води, що забезпечує роботу калориферів, які нагрівають припливне повітря.

Часто за джерело для роботи теплового насоса правлять стічні води промислового підприємства. Звичайно ці води окрім розчинених або зважених домішок мають ще й високу температуру. Перед зливанням у промислову каналізацію ці води мають бути заздалегідь охолоджені, щоб не зашкодити системі біологічного очищення. Тепловий насос не тільки охолоджує стічні води, а й нагріває теплоносій для системи теплопостачання.

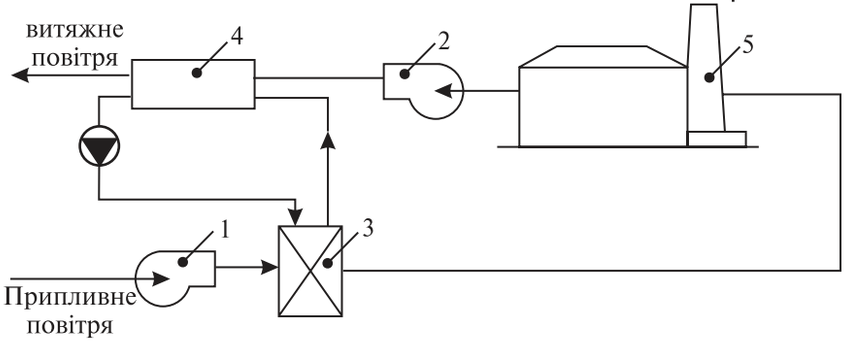


Рис.9.7. Застосування теплового насоса для підігрівання припливного повітря в системі вентиляції: *1,2* – вентилятори; *3* – підігрівач повітря; *4* – тепловий насос; *5* – промислова будівля

— Застосування газотурбінних установок для вироблення електроенергії (рис.9.8) дає змогу використовувати теплові насоси як для охолоджування вихідних продуктів згорання (при цьому частину теплоти доцільно використовувати в котлах-утилізаторах або рекуперативних теплообмінниках), так і для зниження температури теплоносія, що забезпечує проміжне охолодження ступенів компресора.

Проміжне охолодження ступенів компресора збільшує ККД газотурбінної установки та істотно зменшує викид в атмосферу оксидів азоту. Сама газотурбінна установка може прислужитися як джерело електричної або механічної енергії для теплового насоса. Газотурбінні установки широко застосовуються не тільки для вироблення електроенергії. Частіше їх використовують для перекачування газу магістральними газопроводами, проте застосування теплових насосів на газоперекачувальних аґреґатах утруднене, оскільки вони звичайно розташовуються далеко від споживачів теплоти.

Особливо слід розглянути випадки, коли застосування теплових насосів не виправдано.

— Як джерело теплоти для роботи недоцільно застосовувати теплоту палива, спеціально спалюваного для таких цілей, навіть якщо це паливо є надто дешевим. Температура ди-

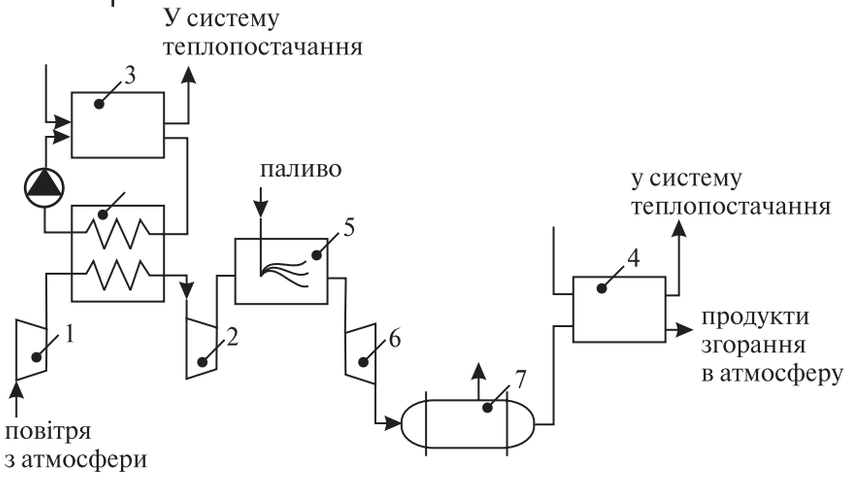


Рис.9.8. Застосування теплового насоса спільно з газотурбінною установкою: *1,2* – ступені стиснення повітря в компресорі; *3* – проміжний водоповітряний теплообмінник; *4* – теплові насоси; *5* – камера згорання; *6* – газова турбіна; *7* – котел-утилізатор

мових газів достатня для того, аби безпосередньо нагрівати теплоносій у котельній установці. Під час роботи теплового насоса одержана споживачем теплота (без урахування втрат) буде рівна сумі одержаної теплоти від продуктів згорання і роботи, що витрачається на привод компресора. У цьому випадку вона виробляється з ККД набагато нижчим за одиницю. Це не означає, що теплота продуктів згорання не може бути використана в теплових насосах, проте нею доцільно послуговуватися в тих випадках, коли основну частину тієї теплоти вже витрачено на безпосередній нагрів теплоносія, і продукти згорання істотно охолоджено.

- За джерело теплоти для теплового насоса не слід брати "зворотну" воду систем теплопостачання, що віддала теплоту в опалювальних приладах; адже вода із системи теплопостачання безпосередньо нагрівається за рахунок первинного палива і споживач теплоти несе подвійні витрати: оплачує вартість палива й вартість електричної енергії на привод компресора.
- Під час використання повітря як джерела теплоти слід мати на увазі, що існує поріг температури кипіння робочого

аґента і відповідної температури зовнішнього повітря, коли робота теплового насоса стає неможливою. Значення цієї температури визначає тип уживаного робочого аґента й тиск у випарнику теплового насоса. Таким чином, за низьких температур повітря робота таких теплових насосів стає спочатку неекономічною (унаслідок зменшення коефіцієнта перетворення), а потім фізично неможливою.

Достоїнства теплових насосів широко відомі: це змога істотно економити паливо, екологічна чистота (під час роботи теплових насосів не спалюється паливо), можливість працювати як у централізованих, так і в нецентралізованих системах теплопостачання та ін. Про недоліки теплових насосів згадують рідше, тому завважимо основні з них.

- Джерела вторинних енергоресурсів не завжди стабільні в часі; їх теплопродуктивність не завжди достатня для того, щоб забезпечити теплотою споживача в холодний період року. Тому для надійної роботи систем теплопостачання потрібен не лише насос, а й додаткове джерело теплоти.
- Шум від компресорів теплових насосів утрудняє їх застосування в житлових і громадських будівлях, особливо у випадках, коли застосовують теплові насоси великої потужності.
- Фреони, використовувані як робоче тіло, є досить коштовними. Під час розгерметизації контура теплового насоса та проведення ремонтних робіт їх доводиться міняти, і споживач зазнає додаткових витрат.
- На цей момент вартість теплових насосів висока і термін їх окупності за нинішніх цін на енергоносії може бути тривалим.

РОЗДІЛ 10

ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ

10.1. Загальні питання взаємодії традиційної енергетики з довкіллям

Загальні питання взаємодії традиційної енергетики з довкіллям

▪

Взаємодія ТЕС із довкіллям.

▪

Перспективи розвитку ядерної енергетики й екологічні проблеми

▪

ГЕС і їхній вплив на довкілля

▪

Екологічні аспекти нетрадиційної енергетики

Під традиційною енергетикою ми розуміємо енергогенерувальні потужності, які є тепер і залишаться, як мінімум на найближчі 20–50 років, підвалиною існування та розвитку цивілізації. Зупинімося на тій частині проблеми, яка пов'язана з енергогенерувальними установками: електростанціями (ТЕС, ГЕС, й АЕС), опалювальними та опалювально-виробничими котельними – головними джерелами енергопостачання.

Названі типи енергоустановок по-різному впливають на довкілля. Це наочно видно з табл.10.1 та рис.10.1, де зображено узагальнену схему чільних видів дії енергетики на природне середовище і його компоненти.

Узагальнюючи наведені в них впливи енергетичних об'єктів на біосферу, можна виділити кілька груп найважливіших взаємодій. Ось найголовніші з них:

- Водоспоживання і водовикористання, що зумовлює зміни в природному матеріальному балансі водного середовища (перенесення солей, живильних речовин тощо.)
- Осідання на поверхні води твердих викидів з атмосфери, викликаних продуктами згорання органічного палива; це змінює властивості води, її забарвлення, альбедо та ін.
- Випадання на поверхню продуктів викидів в атмосферу, зокрема кислот і кислотних залишків; металів і їхніх сполук, канцерогенних речовин у вигляді твердих частинок і рідких розчинів.
- Викидання безпосередньо на поверхню суші й води продуктів спалювання твердого палива (зола, шлаки), а також продуктів продувань, очищення поверхонь нагріву (сажа, зола тощо.).
- Викидання на поверхню води й суші рідкого і твердого палива під час транспортування, переробки, перевантаження.
- Викидання твердих і рідких радіоактивних відходів, що характеризуються умовами їхнього розповсюдження в гідро- й літосфері.
- Викидання теплоти, наслідком чого можуть бути: постійне локальне підвищення температури у водоймищі; тимчасове підвищення температури; змінення умов льодоставу, зимового гідрологічного режиму; паводків; зміна в розподілах опадів, випаровувань, туманів.
- Створення водосховищ у долинах річок або з використанням природного рельєфу поверхні, а також створення штучних ставків-охолоджувачів, що спричинює: зміну якісного й кількісного складу річкових стоків, змінення гідрології водного басейну; збільшення тиску на дно, проникнення вологи в розломи кори та зміну сейсмічності; змінення умов рибальства, розвиток планктону і водної рослинності; зміну мікроклімату, відпочинку, спортивних занять, бальнеологічних та інших чинників водного середовища.
- Зміна ландшафту внаслідок спорудження різнорідних енергетичних об'єктів, споживання ресурсів літосфери, зокрема: вирубка лісів; вилучення із сільськогосподарського обороту орних земель, лугів; взаємодія берегів з водосховищами.

Таблиця 10.1.

Основні чинники впливу енергетичних об'єктів на компоненти довкілля

Об'єкт			
ТЕС	**АЕС**	**ГЕС**	**Підстанції**
Атмосфера			
1. Витрата кисню	1. Викиди газоподібних відходів	1. Випаровування вологи з поверхні водоймищ	1. Електромагнітні поля
2. Викиди NO_x, SO_x, H_2O, твердих часток, аерозолів			
3. Теплове забруднення			
Гідросфера			
4. Витрата води	2. Витрата води	2. Зміна якісного і кількісного складу стоків річок	2. Утворення зон підвищеної напруги магнітного поля біля поверхні води
5. Викиди стічних вод	3. Злив радіоактивних відходів	3. Гідрогеологічні зміни водоймищ	
6. Теплове забруднення	4. Теплове забруднення		
Літосфера			
7. Вилучення територій	5. Зміна ландшафту	4. Вилучення територій	3. Вилучення територій
8. Забруднення відходами	6. Вилучення територій	5. Зміна ландшафту	4. Вирубка лісів
9. Зміна ландшафту	7. Захоронення радіоактивних відходів	6. Зміна сегтемічності	5. Утворення блукаючих струмів
		7. Вирубка лісів	6. Зміна ландшафту

- Вплив викидів, виносів і зміненого характеру взаємодії водних басейнів та суші на структуру і властивості континентальних шельфів.

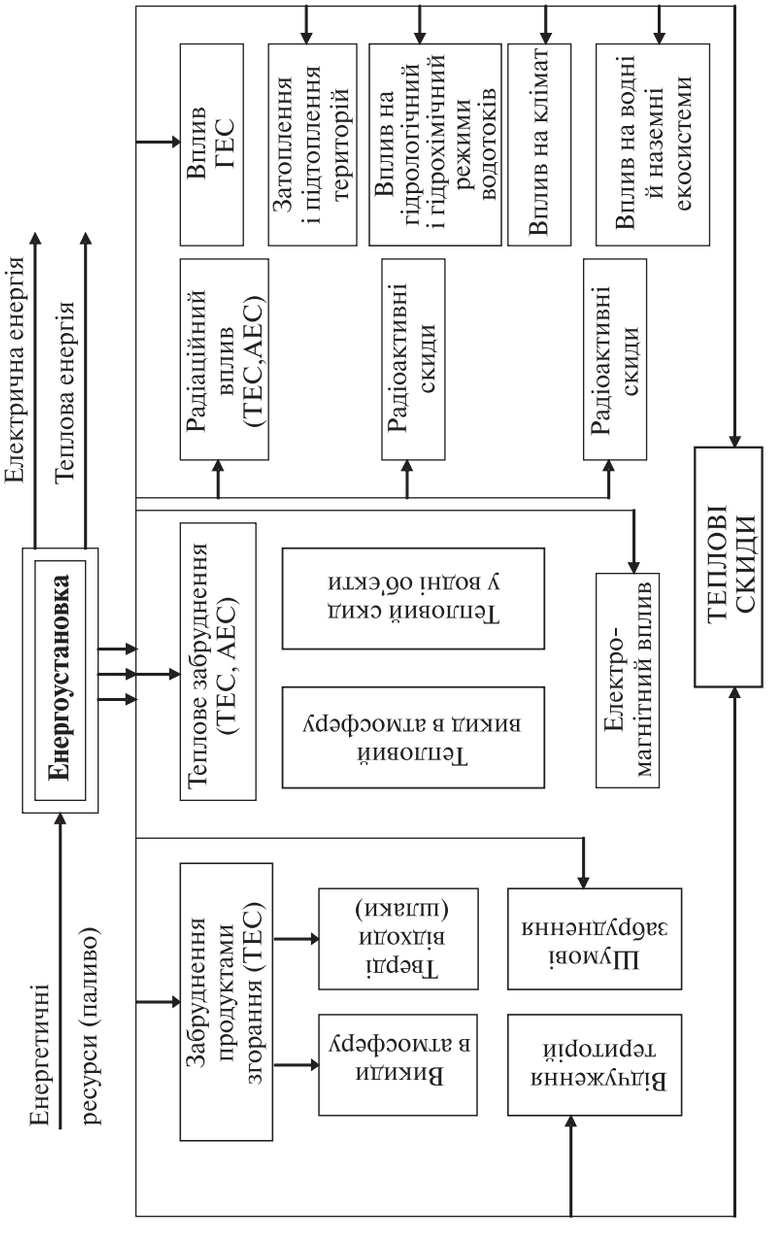


Рис 10.1. Основні види впливу енергетики на довкілля

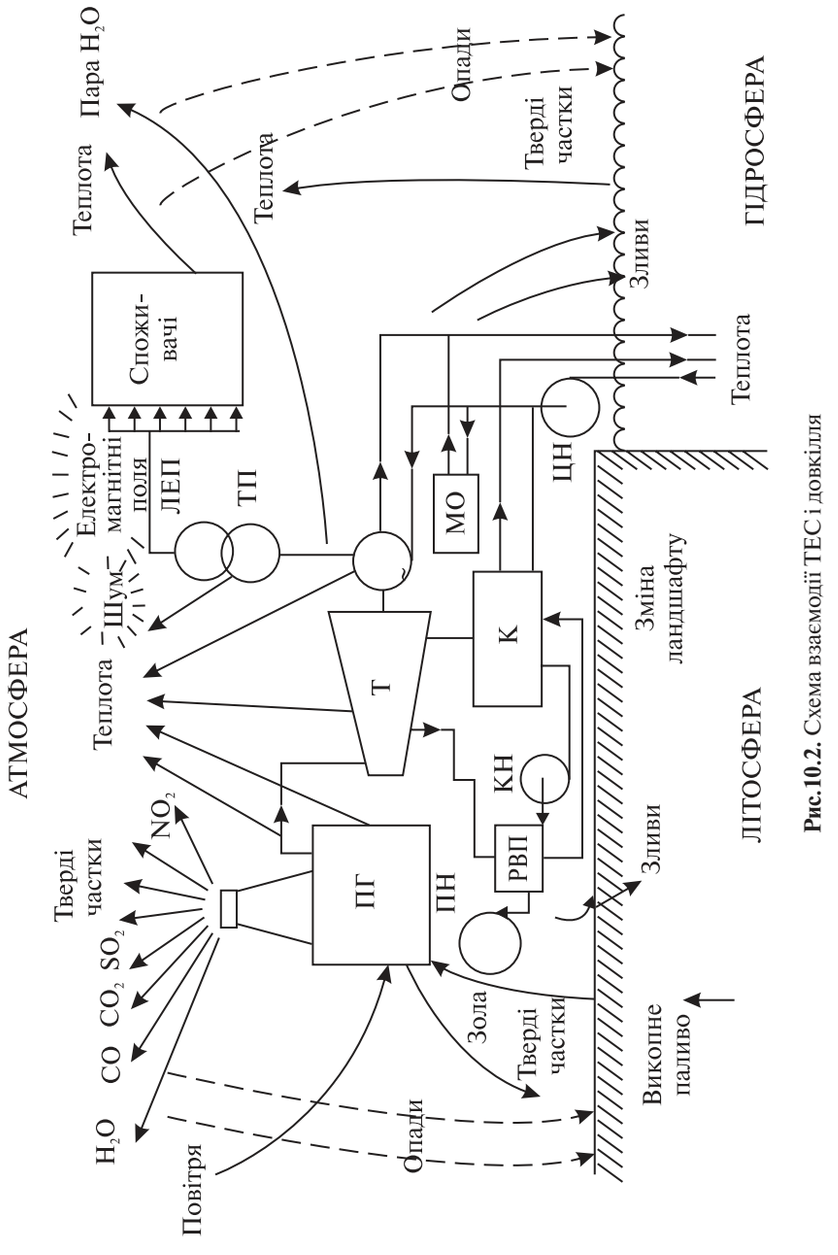


Рис.10.2. Схема взаємодії ТЕС і довкілля

Домішкові забруднення можуть сумарно впливати на природний кругообіг і матеріальні баланси тих або тих речовин між гідро-, літо- й атмосферою. Спільною для всіх джерел енергії, як традиційної, так і нетрадиційної, є проблема теплових викидів.

Усі названі взаємодії пов'язані між собою, і кожна з них не може розглядатися ізольовано. Крім того, механізм взаємодії в будь-якій з груп заснований на різнорідних фізичних і фізико-хімічних процесах та явищах.

Різноманітність таких чинників, їхній взаємозв'язок як з повітряним середовищем, так і з поверхнею й надрами планети зумовлює потребу в багатобічному аналізі, зі взяттям до уваги даних географії, метереології, кліматології та інших наукових дисциплін. А це потребує узагальненого системного підходу до проблеми впливу енергетики на екологію, заснованого на ретельному аналізі всіх складових цього процесу.

10.2. Взаємодія ТЕС із довкіллям

З-посеред усіх типів електростанцій найбільший неґативний вплив на довкілля чинять ТЕС. Це пов'язано,здебільшого, з екологічними аспектами спалювання органічного палива.

Ураховуючи комплексний характер проблеми, скористаймося методологією системного аналізу щодо взаємодії енергетики і довкілля. У цьому випадку можна побудувати характерну схему, що пов'язує всі взаємодії сучасних ТЕС із довкіллям, зважившись на дані про елементарні процеси, які відбуваються під час спалювання речовини і перетворення теплової енергії на механічну роботу, а потім на електричну енергію.

Така типова схема наведена на рис.10.2. Стрілками показано напрями основних характеристик взаємодій енергетичного устаткування ТЕС з атмо-, гідро- й літосферою. Викопне паливо видобувають із надр і після збагачення й переробки подають у топку парогенератора ПГ. Щоб забезпечити спалювання речовини, з атмосфери в топку подається повітря. Утворені при

Таблиця 10.2.

Основні забруднювачі атмосферного повітря

Забруднювач Мт/рік	Джерело		Середньорічна концентрація в повітрі, мг/м³	Вплив	
	природне	антропогенне		на людину	На довкілля
Частинки	3 760	240	0,04–0,4	Залежить від хімічного складу	Погіршення видимості, підвищення хмарності, зниження температури, руйнування матеріалів
Сірчистий ангідрид, CO_2	150	150	0,05–0,1	Дихальні шляхи	Кислотні дощі, корозія металів, знищення рослин і лісів, зниження врожайності
Оксид азоту, NO_x	770 (лісові пожежі)	55	0,05–0,2	Гемоглобін крові	Кислотні дощі, парниковий ефект, руйнування озонового шару, смог, зниження врожайності, знищення лісів
Оксид вуглецю, CO	32	350	1–50	Гемоглобін крові	Перехід CO-CO_2 в нижніх шарах (при концентраціях, менше 1 мг/м³, вплив відсутній)
Вуглеводи, CxHy	2 600	80	3	?	Руйнування озонового шару
ПАВ	–	100 %	до 0,01	Канцерогенна дія	Погіршення прозорості атмосфери (смог)

цьому продукти згорання, передають основну частину теплоти робочому тілу енергетичної установки, частина теплоти розсіюється в довкілля, а частина потрапляє з продуктами згорання в димар – і далі в атмосферу.

Залежно від початкового складу палива продукти згорання, що викидаються в атмосферу, містять оксиди азоту (NO_x), оксиди вуглецю (CO_x), оксиди сірки (SO_x), вуглеводні, водяну пару води та інші речовини в твердому, рідкому і газоподібному стані, які є головними забруднювачами довкілля (табл.10.2, 10.3).

Забруднення атмосфери дрібними твердими частинками золи пов'язане, головним чином, з використанням вугілля, що заздалегідь подрібнюється в спеціальних млинах, як палива. Утім, за правильної організації процесу спалювання і застосування сучасних фільтрів з ККД 95-99%, їхня кількість може бути зведена до потрібного мінімуму.

У процесі спалювання рідкого палива (мазуту) до атмосфери разом з викидами надходять: оксиди сірки й азоту, газоподібні та тверді продукти неповного згорання палива, сполуки ванадію.

Під час спалювання природного газу в атмосферу також потрапляють оксиди азоту, але їх утворюється значно менше, ніж під час спалювання мазуту. Це пояснюється не тільки властивостями самого палива, а й особливостями процесів спалювання. Очевидно, що природний газ сьогодні — найчистіший вид енергетичного палива.

Таблиця 10.3.

Усереднені показники забруднення атмосфери ТЕС

Забруднювач, г/кВт·г	Вид палива			
	кам'яне вугілля	буре вугілля	мазут	природний газ
Двоокис сірки	6,0	7,7	7,4	0,002
Тверді частинки	1,4	2,7	0,7	–
Оксиди азоту	21,0	3,45	2,45	1,9
Фтористі сполуки	0,05	0,11	0,004	–

Одним із чинників впливу вугільних ТЕС на довкіля є викиди систем складування, транспортування, пилеприготування

і золовидалення (пилове забруднення, виділення продуктів окиснення палива). По-різному впливають на довкілля системи видалення твердих компонент продуктів згорання — шлаків і золи, що видаляються з топки і створюють золошлаковідвали на поверхні літосфери.

У паропроводах від парогенератора до турбоагрегату *Т*, як і в корпусах та ресиверах турбогенератора, відбувається передача теплоти навколишньому повітрю. У конденсаторі *К*, а також у системі регенеративного підігріву живильної води, що включає регенеративні водопідігрівачі *РВП*, конденсатні *КН* і живильні насоси *ПН*, теплота конденсації й переохолодження конденсату сприймається охолоджувальною водою, яку подають циркуляційними насосами *ЦН*. Перетворення механічної роботи на електричну енергію в електрогенераторі *Г* також супроводжується втратами, які зрештою обернуться теплотою, передаваною атмосферному повітрю. Робота обертових механізмів, апаратів-змішувачів, трансформаторів пов'язана з розповсюдженням у довкіллі акустичних дій, а робота трансформаторних підстанцій *ТП*, ліній електропередач *ЛЕП*, як і всіх електричних машин, пов'язана зі впливом електромагнітних полів і тепловиділеннями в довкілля.

Особливу групу вод, використовуваних ТЕС, становлять охолоджувальні води, які забирають з водоймищ на охолодження поверхневих теплообмінних апаратів — конденсаторів парових турбін, водо-, мастило-, газо- і повітреохолоджувачів. Ці води можуть привносити у водоймище велику кількість тепла. Так, з конденсаторів турбін відводиться приблизно до двох третин усієї кількості тепла, одержуваного у процесі згорання палива. Це набагато перевершує суму тепла, що відводиться від інших охолоджуваних теплообмінників. Тому з охолодженням конденсаторів звичайно пов'язують так звані "теплові забруднення" водоймищ скидними водами ТЕС й АЕС.

Про кількість тепла, що відводиться з охолоджувальною водою окремих електростанцій, можна судити зі встановлених енергетичних потужностей. Середня витрата охолоджувальної води і кількість відведеного тепла, що припадає на 1 000 МВт потужності, становлять для ТЕС відповідно 30 м^3/с і 4 500 Гдж/г, а

для АЕС з турбінами насиченої пари середнього тиску – 50 м^3/с і 7 300 Гдж/г.

Окрім конденсаторів турбоагрегатів, споживачами охолоджувальної води є мастилоохолоджувачі *МО*, системи зливу на поверхню ґрунту або в гідросферу. Решта споживачів технічної води (системи золо- і шлаковидалення, хімводоочищення, охолодження і промивання устаткування) споживає близько 7% загальної витрати води. Водночас саме ці споживачі води вірогідно є основними джерелами домішкового забруднення. Під час промивання поверхонь нагріву котлоагрегатів у серійних блоках ТЕС потужністю 300 МВт утворюється до 10 000 м^3 розбавлених розчинів соляної кислоти, їдкого натру, аміаку, солей амонію, заліза й інших речовин.

Одним з компонентів, що забруднюють довкілля, постає шумова дія. Енергетичне устаткування, як правило, є джерелом значного шуму. Проте, основні джерела шуму (парові котли, турбіни, генератори, редукційно-охолоджувальні пристрої) розташовані всередині приміщення ТЕС. Тому вони, зазвичай, посутньо не впливають на прилеглу до ТЕС територію.

Від устаткування, розміщеного поза головним корпусом, шум може поширюватися за межі території станції. Ця обставина, характерна для всіх типів електростанцій, найбільше значення має для ТЕЦ, які розташовані звичайно в міському масиві. Їхній вплив на райони житлової забудови може виявитися істотним.

Джерелом постійного шуму, що неабияк діє на навколишній район, є тягодуттьові машини, газорозподільні пункти, трансформатори, градирні, місця забору повітря з атмосфери або на виході з димаря. Сильними тимчасовими джерелами шуму є скидання продувки пари в атмосферу.

10. 3. Перспективи розвитку ядерної енергетики й екологічні проблеми

10.3.1. Проблеми ядерної енергетики

Перспективи розвитку ядерної енергетики значною мірою залежать від доступності джерел енергії. Наявність конче необхідної енергетичної бази – основна передумова для розв'язання таких невідкладних проблем, як збільшення виробництва продовольства на основі зростання випуску добрив і підвищення рівня механізації, розширення видобутку важливих видів сировини й освоєння бідних або важкодоступних родовищ; виготовлення нових синтетичних речовин, зокрема для харчової промисловості та кормовиробництва, управління кліматом і запровадження інших вагомих змін природного середовища, які можуть виявитися доцільними для підвищення добробуту людей.

У XXI ст. основними первинними джерелами енергії неминуче стануть спочатку розщеплення ядерних матеріалів, а потім керований термоядерний синтез. Ядерна енергетика може бути базою для вироблення електроенергії, одержання промислового холоду і тепла, виробництва синтетичного рідкого й газового палива. Зі зростанням рівня життя неминуче збільшується кількість споживаної енергії. За розрахунками фахівців уже в цьому сторіччі традиційних ресурсів (гідроенергія, вугілля, нафта, газ) виявиться недосить. Тому постає завдання шукати й опановувати нові джерела енергії. Вихід, як це буває майже завжди, підказує наука.

Поняття "ядерна енергія" має асоціюватися не з військовою загрозою, а з енергетичним достатком. Досягнення науки надають для цього достатні підстави, причому управління реакцією синтезу – не єдина фізична можливість розв'язати енергетичну проблему. Надзвичайно поширеним є погляд, згідно з яким визначальна роль у розв'язанні цієї проблеми належить енергії ділення ядер урану. При цьому мають на увазі, що інші джерела (сонячні, геотермальні, термоядерні) не дають усеосяжного рішення.

Нині найперспективнішою видається гілка атомної енергетики, пов'язана з реактором на швидких нейтронах, де йде розподіл ізотопу урану-236, запаси якого є доволі великі. Проте і тут наявна низка труднощів, насамперед тому, що такі реактори працюють у режимі відтворення плутонію – основи ядерної зброї. Розвинена на цій засаді світова енергетика введе в міжнародний обіг багато сотень тонн плутонію. Можливість його витоку не сприяє зміцненню безпеки і запобіганню ядерній війні. За умови, що ці труднощі будуть подолані, уранова енергетика здатна відсунути кризові явища на 100 і більше років. Керований термоядерний синтез не тільки зніме небезпеку витоку плутонію, а й розв'яже проблему "вічного" енергетичного достатку.

До керування термоядерним синтезом учені різних країн прямують двома різними шляхами. Перший з них історично пов'язаний з методом "повільного" нагрівання плазми певної густини, утримуваної магнітним полем досить тривалий час. Провідне місце в цій сфері належить установкам "токамак". Інший шлях – імпульсні інерційні системи, в яких реакцію злиття ядер важких ізотопів водню викликають за допомогою оптичних квантових генераторів (лазерів). У цій галузі науковці зосередили свій пошук на шляхах одержання енергії термоядерного синтезу малими порціями. За одну мільярдну частку секунди тверда кулька розміром у кілька міліметрів і масою в кілька міліграмів – кулька, що складається із суміші дейтерію і тритію, спалахне та зникне, залишивши після себе мільярд джоулів енергії. Таку високу енергоємність (близько 100 млрд Дж/г) має реакція термоядерного синтезу. Приблизно така ж кількість енергії виділяється під час вибуху близько 250 кг вибухівки.

Ядра дейтерію і тритію не вступають у реакцію синтезу самі по собі, оскільки під час їхнього зближення починають діяти електричні сили відштовхування. Щоб подолати такий енергетичний бар'єр, потрібно розігнати ядра до достатньо великих швидкостей. Можливий шлях для здійснення умови, що дає змогу не деяким, а багатьом ядрам вступати в реакцію синтезу, – одержати нагрітий до надто високих температур (не менше 100 млн °С) газ, що складається з ядер дейтерію і тритію. Одержання такої плазми і лежить в основі керованого термоядерного синтезу.

Один з можливих шляхів вирішення цього завдання полягає у сферично-симетричному опромінюванні твердих кульок з дейтерієво-тритієвого льоду короткими (приблизно в 1 мільярдну частки секунди) і потужними імпульсами лазерного випромінювання. Утворенний внаслідок цього згусток термоядерної плазми встигає за мізерний час свого існування згоріти у "термоядерному вогні". Такий імпульсний процес вірогідно є термоядерним мікровибухом. Він і становить підґрунтя лазерного напряму в проблемі керованого синтезу –так званий лазерний термоядерний синтез, запропонований 1963 року у фізичному інституті ім. П.Н.Лебедева РАН.

Висока потужність лазерів забезпечує миттєвий нагрів і стиснення малих порцій термоядерної речовини. На цій засаді створюються умови для термоядерного мікровибуху. Виниклий під дією лазерного випромінювання тиск у згустку утворюваної термоядерної плазми досягає 10^{10} атм (це лише в 10 разів менше, ніж тиск у надрах Сонця). Густина гарячої плазми в момент, що передує термоядерному мікровибуху, може становити 100 г/см^3.

Для ефективного термоядерного спалаху необхідна енергія лазера 1-10 МДж при тривалості лазерного імпульсу 1 нсс. Сама по собі ця величина енергії невелика й відповідає згоранню 25-250 г бензину. Проте така енергія, зосереджена у вузькому промінні і виділяється протягом досить короткого часу, спроможна дати людству світло й тепло на практично необмежений термін.

У нашій країні і за рубежем (у США, Франції, Японії та ін.) уведено в дію та й далі будуються багатоканальні лазерні комплекси з енергією випромінювання 10^4-10^5 Дж. На цих установках уже зафіксовано густину термоядерної плазми 10-30 г/см^3, температуру в десятки мільйонів градусів, а рекордне число утворюваних нейтронів дорівнює 30 млрд. На нинішньому етапі справа полягає в тому, щоб досягти так званого фізичного порогу термоядерних реакцій, тобто одержати енергію, за своєю величиною рівну енергії випромінювання лазера.

Розв'язання цієї задачі уможливлює перехід з галузі фізичних досліджень у сферу інженерного конструювання. Щоб досягти цього порогу, вихід нейтронів необхідно підняти до величини 10^{16}-10^{17} част. /імп. Може здатися, що до мети ще досить далеко, однак фізика термоядерного синтезу така, що "дефіцит" у 6-7 порядків по нейтронному виходу можна ліквідувати, збільшивши масу, густину і температуру мішені лише в кілька разів. Для цього, як показують розрахунки, енергія падаючого випромінювання має бути збільшена в багато разів.

Лазерні установки з енергією 10^5 Дж – це величезні технічно насичені споруди, які важко порівняти з будь-чим. Проте, вони є лише інструментами для фізичних досліджень. На сьогодні основне завдання полягає у виборі типу лазера для демонстраційного експерименту й у розробці на цій підставі комерційної системи "лазер-термоядерний реактор". Серед перспективних варіантів – газові лазери на вуглекислому газі, так звані ексимерні лазери, наприклад криптон-фторовий, та ін. Паралельно розробляються проекти імпульсних термоядерних реакторів-пристроїв, що перетворюють енергію термоядерного мікровибуху на зручний вид енергії, скажімо, на електрику.

Лазерний термоядерний реактор — це своєрідна камера, стінки якої "збирають" енергію, одержану під час мікровибуху, і перетворюють її спочатку на тепло, а потім на електрику. Нині складно назвати терміни практичного використання результатів фундаментального дослідження. Проте існує спокуслива можливість наблизити цей час. Вона пов'язана з так званими гібридними реакторами, в яких одночасно використовують реакції синтезу і розподілу.

Ось як працює ця установка. Сфокусовані на мішені лазерні пучки викликають термоядерний спалах. Унаслідок цього виникає імпульсне точкове джерело нейтронів, потік яких стрімко падає на уранову оболонку камери. Під дією одного термоядерного нейтрона в природному урані відбувається один поділ і утворюються 3-4 атоми плутонію. Плутоній, нагромаджуючись із часом, підвищує розмножувальні властивості уранової оболонки так, що один нейтрон викликає вже 10-20 поділів за цілковитої ядерної безпеки. При цьому розміри вибухової камери можуть бути невеликі – десь близько метра. Весь цикл такого реактора – нагромадження плутонію, достатньо повне (до 50 %) випалювання урану – вдається провести приблизно за 30 років.

Унаслідок того, що плутоній спочатку накопичується, а потім витрачається, задовільні розмножувальні властивості підтримують протягом майже всього терміну, не добуваючи й не піддаючи хімічній переробці елементи, що виділяють тепло. Гібридні реактори втрачають головну перевагу суто термоядерних установок, проте вони набагато простіше розв'язують проблему енергетичного балансу. Цілком прийнятий вигляд мають габарити станції, а її будівництво можна істотно прискорити порівнянно із суто термоядерними. Гібридний реактор, що посідає проміжне місце між стаціонарними ядерними реакторами і термоядерними системами, буде, ймовірно, першим етапом практичного застосування керованого термоядерного синтезу.

Існують також інші ідеї, які можуть стати основою проектів імпульсних термоядерних реакторів. Наприклад, проекти реакторів, у яких напрацьовується ядерне пальне для атомних електростанцій або хімічне паливо, зокрема водень.

Перевагу термоядерної енергетики, заснованої на лазерному синтезі, можна продемонструвати наступним прикладом. Пересічна теплова електростанція потужністю 1 млн кВт споживає 2,1 млн т вугілля (або 10 млн барелей нафти) на рік, атомна електростанція такої самої потужності – 30 т уранової руди, а термоядерна електростанція – 600 кг термоядерного пального.

Інша її перевага полягає в надзвичайно низькій ціні дейтерієво-тритієвого палива і високій якості одержуваної енергії. Можливість створити термоядерний реактор, що працює в режимі одержання водню, у принципі означає революцію в системі виробництва і постачання енергії. Теплові електростанції працюватимуть на водневому паливі, транспорт замість дорогого бензину споживатиме дешевий водень. При цьому немає потреби зберігати водневе паливо в посудинах великої місткості, що пов'язане з небезпекою вибуху. Наявна тепер технологія виготовлення сферичних оболонок з діаметром близько 100 мкм і товщиною стінок у кілька мікрометрів (лазерних термоядерних мішеней) розв'язує проблему вибухобезпечності під час зберігання і розподілу водневої енергії. Міцність цих капсул є такою, що газовий водень можна зберігати в них і тоді, коли тиск сягає сотень і тисяч атмосфер.

Кінцевою метою термоядерних розробок є створення проекту джерела енергії, що буде технічно здійсненним, економічно рентабельним, безпечним для людей і довкілля. За оцінками фахівців, створення першої лазерної термоядерної електростанції коштуватиме 30–50 млрд дол, а кожної наступної – знизиться до 1-2 мдрд дол. Термоядерна енергетика стане рентабельною в разі, коли за своїми масштабами вона наблизиться до звичайної енергетики, тобто по тому, як у неї буде вкладено близько 10^4 мдрд дол.

Із цією величезною цифрою пов'язано декілька життєво важливих аспектів нашої цивілізації. По-перше, буде створене невичерпне джерело енергії. По-друге, величезний обсяг роботи (близько 500 млн людино-років), пов'язаний із зазначеними капіталовкладеннями на десятки років, забезпечить зайнятість багатьом мільйонам людей. По-третє, таке грандіозне перетворення світової енергетичної системи неможливо здійснювати без міжнародної кооперації вчених, інженерів, техніків, робітників. Тому вже сам процес розв'язання цього фізико-технічного завдання сприяє поліпшенню життя людей, об'єднує їх, веде до зміцнення миру на планеті Земля.

Принципово нова технологія виробництва енергії не тільки спричинить нову революцію в промисловому виробництві, а й дасть змогу різко підняти рівень повсякденного життя. Створення термоядерної енергетики ліквідує реальне підґрунтя сучасної боротьби за енергію, знецінить військово-політичні доктрини і концепції, що ставлять собі за основу мету оволодіння енергетичною сировиною. Це створить можливість значно пом'якшити політичний клімат на планеті і відтак послабити навислу над людством військову загрозу, створити сприятливіші умови для поступального розвитку людської цивілізації.

Таким чином, виготовлення контрольованого термоядерного джерела енергії стане найбільшим досягненням людства і його значення важко переоцінити.

Натомість застосування сучасного ядерного знаряддя для вирішення будь-яких конфліктів є не тільки жахливим злочином, а й безглуздям з погляду формальної логіки, позаяк воно означає кінець існування на Землі людського суспільства. Проте

не лише термоядерна війна, а й кожен військовий конфлікт незалежно від засобів, до яких удається напасник, за сучасних умов таїть у собі глобальну катастрофу. За іронією долі, така вразливість нинішньої цивілізації пов'язана з бурхливим розвитком атомної енергетики. Цілковита руйнація атомної промисловості (неможлива в мирний час) викличе радіоактивне зараження величезної території та спричинить, за висловом знаного радянського фізика-ядерника Л.П.Феоктістова, ситуацію, коли людині в буквальному сенсі слова нікуди буде подітися.

10.3.2. Аварії на АЕС

Аварії на АЕС відрізняються від аварій на звичайних ТЕС тим, що результатом їх може бути викид у довкілля значної кількості радіоактивних речовин. У процесі реакції поділу ядер утворюється велика частина радіоактивних продуктів, основна кількість яких (98%) залишається в активній зоні доти, доки працює реактор. Лише радіоактивні гази ксенон і криптон, що не вступають у хімічні реакції, можуть потрапляти в атмосферу. Вони є меншою загрозою для населення порівняно з іншими радіоактивними ізотопами. Усі викиди регламентовані відповідними рекомендаціями МАГАТЕ.

Інші радіоактивні продукти виділяються після видалення відпрацьованих твелів.

Для нерегламентованого викидання радіоактивних речовин за межі активної зони остання має бути сильно нагріта і значною мірою пошкоджена, а оболонки твелів –розгерметизовані.

Перегрів зони може відбутися у разі, коли інтенсивність тепловиділення в ній перевищує інтенсивність тепловідведення. Це буває за аварій з утратою теплоносія першого контуру або за перехідних процесів, наприклад, у випадку збільшення потужності реактора. Кожен перехідний процес може бути або очікуваним (імовірним), або неочікуваним. З очікуваними (проектними) аваріями система безпеки станції справляється, і це унеможливлює викид активності та, природно, екологічну катастрофу.

Проте, відбуваються, хоча й досить рідко, неочікувані перехідні процеси. У табл. 10.4 наведено кілька таких найвідоміших аварій.

Таблиця 10.4.

Деякі аварії на ядерних енергетичних установках

Рік	Станція	Причина	Результат
1957	Віндскейл-1, Англія	Помилка персоналу. Відсутність системи герметизації.	Пожежа впродовж 2-х днів в активній зоні (уран-графіт). Вихід продуктів. Площа забруднення –520 км^2.
1966	Фермі, США 60 МВт (ел)	Проектна помилка.	Пошкодження активної зони.
1969	Сен-Лоран, Франція, 500 МВт (ел)	Помилка персоналу	Пошкодження активної зони.
1974	Вюргассен, ФРН, 640 МВт (ел)	Помилка персоналу. Відмова устаткування. Проектна помилка.	Пошкодження захисної оболонки.
1975	Браунс-Феррі, I і II, США, 1 100 МВт (ел)	Помилка персоналу	Пошкодження основного устаткування.
1979	О.Три-Майл, США, 900 МВт (ел)	Помилка персоналу. Відмова устаткування. Проектна помилка.	Пошкодження активної зони.
1979	Ойстер-Крик, США, 650 МВт (ел)	Відмова устаткування. Проектна помилка.	Можливе осушення активної зони.
1986	Чорнобиль, Україна, 1 000 МВт (ел)	Проектні помилки. Помилки персоналу	Пожежа. Руйнація активної зони. Викидання назовні радіоактивних речовин

До Чорнобильської катастрофи найвідомішими були аварії у Віндскейлі (Англія) та на острові Три-Майл (США), що супроводжувалися несанкціонованими викидами радіоактивних речовин.

У Віндскейлі в активній зоні одного з уран-графітових реакторів, які використовували для одержання плутонію, виникла

пожежа, під час якої відбувся викид радіоактивних продуктів у довкілля. Пожежа тривала близько 2 діб. Найбільший рівень радіоактивності на відстані 1,5 км від реактора становив майже 4 мР/г. Радіоактивна хмара була виявлена навіть у Німеччині й Норвегії.

На острові Три-Майл помилки персоналу і несправності в роботі устаткування спричинили втрату теплоносія в реакторі, перегрів активної зони, пошкодження твелів і зумовили обмежений вихід радіоактивних газів та йоду за межі станції.

Перегрів зони обумовив виникнення водневого пузиря внаслідок взаємодії цирконію з водою. Саме таким є очікуваний результат розвитку аварії в разі перегріву активної зони. Оскільки в зоні бракувало кисню, небезпеки вибуху не було. Довкілля від аварії практично не постраждало. Невеликі дози (3-5 бер) дістали співробітники станції. Проте цей інцидент мав широкий резонанс у суспільстві та значною мірою підірвав довіру до ядерної енергетики в США.

Порівняно великі викиди радіоактивного йоду мали місце раніше на Генфордському ядерному комплексі (штат Вашинґтон, США), побудованому в 1943 р. для виробництва збройового плутонію. Сукупна активність викидів йоду-131 за три місяці 1944 року становила $5{,}44 \cdot 10^{-2}$ МКі, за 1945 рік – $3{,}44 \cdot 10^{-1}$ МКі, за 1946-1947 роки – $14 \cdot 10^{-1}$ МКі. 2 грудня 1949 року внаслідок порушення правил технологічного процесу стався викид радіоактивних речовин: йод-131 – $7{,}784 \cdot 10^{-3}$ МКі, ксенон-133 – $24 \cdot 10^{-2}$ МКі. Радіоактивне забруднення було зафіксоване в багатьох населених пунктах на відстані 112 км від Гендфордського комплексу. Понад 20 тис. дітей постраждали в результаті споживання молока, забрудненого радіонуклідами. Протягом перших 20 років діяльності атомного комплексу сильного забруднення зазнала річка Колумбія, в яку скидали радіоактивні відходи (наприклад, 1957 року щодоби в середньому скидалося до $54 \cdot 10^{-2}$ МКі). На перших трьох реакторах Гендфорда вироблявся плутоній, яким була начинена атомна бомба масою 4,08 т, що її 6 серпня 1945 року скинули на японське місто Нагасакі.

Як відомо, не буває безвідмовної складної техніки. 1957 року у Росії на Киштимському комплексі стався вибух, унаслідок

якого відбулося радіоактивне забруднення території площею 23 тис. км^2. Сумарна активність викиду дорівнювала близько 20 МКі.

Усе це, як з'ясувалося, було лише прелюдією до аварії на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС), яка сталася о 1 год 23 хв 40 сек 26 квітня 1986 року. Аварія на ЧАЕС – найбільша за всю історію людства екологічна катастрофа. У майбутньому ще не одне покоління людей, само не усвідомлюючи того, зіткнеться з наслідками цієї вселенської трагедії в багатьох країнах і куточках Земной кулі.

Окрім країн СНД, істотне радіоактивне забруднення спостерігалося і в державах Східної Європи, у Швеції, Італії, Ірландії, Норвегії, Фінляндії, Австрії, Греції, Туреччині, Ізраїлі, Сирії, Канаді, на Тайвані, в Японії. Загальний об'єм викиду близько 450 типів різних радіонуклідів оцінюють у десятки тисяч Хіросим. Сумарна активність аварійних викидів орієнтовно дорівнює 500 МКі.

За оцінкою академіка А. Сахарова, сумарна довготривала дія радіації адекватна вибуху десятимегатонної водневої бомби або 500 двадцятикілотонних атомних бомб. Японський учений М. Танока, директор Національного центру досліджень у сфері атомної енергетики, зазначив, що в результаті вибуху атомної бомби над Хіросимою сумарний викид радіоактивності становив 0,74 кг, а під час аварії на ЧАЕС – 63 кг.

Особливість цієї аварії полягає у тому, що викид радіонуклідів із четвертого блока тривав близько 2 тижнів. За даними академіка Д. Гродзінського, маса деяких радіонуклідів, викинутих з реактора аварійної ЧАЕС, становила: йоду-131 – 59 г (сумарна активність викиду – 7,3 МКі), стронцію-90 – 1,496 кг (сумарна активність викиду – 0,22 МКі), цезію-137 – 11,8 кг (1 МКі), плутонію-239 – 11,41 кг (0,74·10–3 МКі). Усього лише 59 г йоду-131 завдали непоправної шкоди десяткам тисяч людей. Невелика маса ізотопу має високу радіоактивність і відіграє вирішальну роль у його шкідливій дії.

Згідно з оцінками українських і зарубіжних фахівців, аварія на ЧАЕС завдала самій тільки Україні збитків на 200 млрд дол. Натомість шкоду, заподіяну Україні та всьому людству, оцінити

практично неможливо.А аварії на станціях не припиняються, і не лише на території країн СНД. Остання з відомих – пожежа на АЕС Чугоуку (Японія) 18 квітня 2001 року. Добре, що її вдалося загасити через 20 хв, але лихо в тому, що таке стало взагалі можливим. Станцію обслуговують люди, а ім властиво помилятися.

І останнє. Як зазначав академік В. Легасов, залишкова активність після аварії на АЕС із часом стає вищою, ніж забрудненість після атомного вибуху, за рахунок нагромадження довгоживучих елементів.

Аварія на четвертому блоці Чорнобильської АЕС. Аварія трапилася під час випробувань, які слід було проводити протягом нормально запланованої зупинки реактора. Випробування проводили з метою перевірити можливість електропостачання механізмів власних потреб за рахунок енергії механічного вибігу ротора турбоагрегату (коли частота і напрям струму генератора безперервно зменшуються) за умови цілковитої втрати зв'язку з енергосистемою та невімкнення автономних джерел електропостачання. За еквівалентне навантаження було вибрано по два головні циркуляційні насоси (ГЦН) на кожній половині контуру охолодження реактора.

У реальній ситуації втрата зв'язку з енергосистемою спричиняє зупинку блока і заглушення реактора. Енергія "вибігаючого" турбогенератора може бути використана для подальшої роботи механізмів власних потреб, що беруть участь в аварійному розхолоджуванні зупиненого реактора.

Живлення ГЦН від вибіглого турбогенератора не передбачено, оскільки після вимкнення струму насоси можуть упродовж 4-5 хв підтримувати циркуляцію води в контурі за рахунок механічної енергії своїх обертових частин, і спеціального маховика.

Потім аварійне відведення залишкових енерговиділень заглушеного реактора може провадитися завдяки природній циркуляції води в контурі охолодження реактора.

Розглянімо, які події відбулися напередодні аварії 25 квітня 1986 року.

О 1 год 00 хв 25 квітня 1986 року почалося планове зниження потужності реактора й підготовка до випробувань.

13 год 00 хв – 13 год 30 хв. Теплове навантаження дорівнювало 1600 МВт (50% від номінальної). Запас реактивності (кількість стрижнів-поглиначів, опущених в активну зону) становив близько 30 стрижнів. Відповідно до регламенту максимально припустима втрата реактивності в перехідному процесі має становити не менше ніж 15 стрижнів. Згідно з регламентом, який був чинним на той час, при зниженні запасу реактивності до 30 стрижнів можна було працювати з дозволу головного інженера станції, а при зниженні запасу до 15 стрижнів конче треба заглушити реактор. Далі від мережі був відключений і турбогенератор №7. Живлення власних потреб переведено на трансформатор власних потреб, що залишився в роботі турбогенератора № 8 цього ж таки блока.

14 год 00 хв. Відповідно до програми випробувань відключено систему аварійного охолодженя, щоб холодна вода не потрапила в реактор. На вимогу диспетчера Київенерго подальше зниження потужності було припинене через дефіцит потужності в системі об'єднаного диспетчерського управління Півдня. Блок працює з відключеною системою аварійного охолодження, що не дозволено технологічним регламентом.

23 год 10 хв. Одержано дозвіл на зупинення реактора, запас реактивності близько 26 стрижнів. Потужність зменшена до 700 МВт (теплових), унаслідок отруєння ксеноном почалося зниження запасу реактивності.

Зміна, що заступила з 00 год 26 квітня, прийняла реактор на потужності 700 МВт. На такій потужності, згідно з регламентом, потрібно було перемкнути систему з локального автоматичного регулятора (ЛАР) на загальний автоматичний регулятор (АР). При цьому через хибні дії оператора потужність реактора зменшилася, практично, до нуля (30 МВт (тепл.)).

1 год 00 хв. Персоналу нарешті вдалося підняти потужність реактора і стабілізувати її на рівні 200 МВт (теплових) замість 700...1000 МВт, передбачених програмою випробувань. Виведення реактора на потужність здійснювали завдяки ручному виведенню стрижнів-поглиначів з активної зони. Запас реактивності був аварійний, але робота тривала, порушуючи

вимоги регламенту. Через малий запас реактивності персоналу не пощастило підняти потужність до 700 МВт. Тривала робота реактора на потужності меншої від 700 МВт (теплових) регламентом не дозволяється, оскільки в цьому режимі невеликі зміни потужності спричиняють вагомі зміни в об'ємі пари. При цьому надто ускладнюється керування потужністю і витратою живильної води. Поєднання виведення великої кількості регулювальних стрижнів і роботи на низькому рівні потужності (200 МВт) створило умови, які збільшили нестабільність роботи реактора та знизили ефективність системи захисту. Чим менше запас реактивності, тим чутливішим стає реактор до змін у розподілі пари в активній зоні.

За потужності реактора нижче 20 % від номінальної, реактор потрапляє в режим, коли зростання потужності зумовлює підвищення реактивності і, як наслідок, подальше зростання потужності реактора. У номінальному режимі (за потужностей, що перевищують 20 % від номінальної) такий ефект відсутній.

Реактор і далі працював на рівні потужності 200 МВт, забороненому для тривалої експлуатації. Хоча це – серйозне порушення, самого лише його недосить, аби викликати аварію.

1 год 03 хв – 1 год 07 хв. До шести працюючих ГЦН підключили ще два. При цьому реактор працює в режимі низького пароутворення за низького гідравлічного опору в системі циркуляції. Насоси викликають збільшення втрат води до такої міри, що вони (втрати) перетнули межі, дозволені з огляду на закипання води в насосі.

Через посутні коливання тиску і рівня води в барабанах-сепараторах персонал вимкнув захист із тиску й рівня води.

1 год 20 хв. У результаті ксеонового отруєння стрижні автоматичного регулювання вийшли майже до положення верхніх кінцевих вимикачів. Аби не допустити відключення автоматичного регулятора й утримати його в зоні регулювання, оператору додатково довелося інтенсивно виймати стрижні-поглиначі, внаслідок чого запас реактивності зменшився ще помітніше.

Унаслідок підключення двох додаткових ГЦН рівень води в барабанах-сепараторах став падати, зменшився паровміст теплоносія в активній зоні реактора. Для його підтримки оператор

різко збільшив подачу живильної води в реактор (з 0,75 первинної витрати, якщо за одиницю взяти середнє значення витрати води на потужності 200 МВт, до три-, а потім і чотириразової). Через це технологічні канали заповнилися водою по всій висоті активної зони, тим часом як до збільшення підживлення парова фаза займала верхню частину каналу на ділянці 1,5 – 2 м від верху активної зони.

О 1 год 22 хв 30 сек в активній зоні було 6-8 стрижнів-поглиначів замість 30 потрібних.

Після досягнення номінального рівня води в барабанах-сепараторах оператор різко знизив витрату живильної води (практично до нуля). Реактор почав збільшувати потужність. Зниження витрати живильної води викликало підвищення температури води на вході циркуляційного насоса.

Діючий регулятор намагався зупинити зростання потужності. Відбувся автоматичний перехід на резервний регулятор, який також почав рухати стрижні в зону, і це було зафіксовано програмою швидкої діагностики й реєстрації параметрів. Але ефективність стрижнів-регуляторів (4 стрижні) не збільшувалася.

У цій ситуації завданням операторів було "допомагати" регулятору стримувати потужність, що збільшувалася, завдяки введенню стрижнів в активну зону. Утім, очевидно: вибір стрижнів для цього був невдалим. За вдалого вибору стрижнів їх швидке введення в зону (по чотири або по два) могло б зупинити зростання потужності й уникнути аварії навіть у цей момент.

1 год 23 хв. Після стабілізації тиску і рівня в барабанах-сепараторах почалося випробування на вибіг.

1 год 23 хв 04 сек. Закрито подачу пари в турбіну. Почався режим вибігу.

У такому випадку звичайно спрацьовує ще один захист – реактор зупиняється одноразу по тому, як вимкнено останній генератор. Але персонал ЧАЕС, знаючи це, заздалегідь відключив той захист, аби лишень мати нагоду повторити випробування, якщо перша спроба виявиться невдалою.

Оскільки з кожної сторони контуру охолодження реактора два насоси живилися від випробовуваного турбогенератора, то в процесі випробувань витрачання води через реактор стало

зменшуватися, збільшилося пароутворення, а це сприяло прискореному зростанню потужності.

1 год 23 хв 40 сек. На потужності приблизно 500 МВт (теплових) начальник зміни, зрозумівши небезпечність становища, дав команду заглушити реактор кнопкою аварійного захисту.

Стрижні управління і захисту пішли в активну зону, але дійшли лише до 3–3,5 м. Під час руху поглиначів униз (в активну зону) щільність нейтронів перерозподіляється по висоті реактора – збільшується в нижній частині та зменшується у верхній. Оскільки витискувач стрижнів управління конструктивно виконаний не по всій висоті активної зони, а канал у верхній і нижній частині зайнятий водою, то під час руху стрижня вниз ефект зменшення поглинання нейтронів нижнім стовпом води починає превалювати над ефектом поглинання нейтронів стрижнем. Особливо цей ефект стає вагомим тоді, коли з активної зони виведено велику кількість стрижнів. Усе це спричинило до збільшення реактивності й раптове зростання потужності (реактор потрапив у нерегульований режим роботи). Через чотири секунди потужність перевищила номінальну в 100 разів, стався вибух.

Конструктивними причинами аварії були:

- Позитивний паровий коефіцієнт реактивності – у процесі збільшення вмісту пари в активній зоні коефіцієнт розмноження реактора зростає (за абсолютним значеням стає тим більшим, чим нижчим є рівень потужності). У цьому режимі будь-яке збільшення потужності призводить до підвищення паровмісту, збільшується коефіцієнт розмноження і, як наслідок, потужність зростає далі. Реактор йде в розгін. На номінальній потужності реактора це явище не спостерігається.
- Унаслідок недоопрацювання конструкції органів регулювання на малому рівні потужності й низькому запасі реактивності (мізерна кількість поглиначів в активній зоні) аварійний захист виявився неефективним. На етапі введення поглиначів під час задіювання аварійного захисту коефіцієнт розмноження не зменшився, а став зростати.

У принципі, цього ефекту можна було уникнути, якби в конструкції реактора передбачалися стрижні-поглиначі, що їх уводять в активну зону від верху до низу.

Нині на всіх реакторах типу РБПК проведено відповідну реконструкцію з метою усунення описанних технічних прорахунків. Реактори ВВЕР позбавлені таких вад.

10.3.3. Стан і перспективи розвитку ядерної енергетики

За рубежем перші атомні електростанції з'явилися 1956 року Через 20 років експлуатувалося вже більш як 150 АЕС загальною встановленою потужністю понад 80 000 МВт (електричних), що дорівнювало ~7,5% потужності всіх електростанцій. Середньорічний приріст установленої потужності АЕС у період 1965–1975 рр. дорівнював ~35%. Особливого підйому ядерна енергетика зазнала на початку 70-х років, коли річне число замовлень на будівництво АЕС перевищило 50. 1978 року АЕС діяли в 18 країнах, а їх будували і планували ще в 26. Швидкий розвиток ядерної енергетики обумовив зростання її ролі в загальному виробництві електроенергії.

Стрімке зростання потреб в енергії ставить перед людством питання про обмеженість і вичерпність природних ресурсів палива. Як уже наголошувалося, структура наявних природних ресурсів нині абсолютно не відповідає структурі їхнього споживання. Якщо становище не зміниться, то всі розвідані запаси нафти можуть бути вичерпані протягом кількох десятиліть. Отже у найближчому майбутньому слід чекати на зміни в структурі енергоспоживання. Останнім часом за рубежем намітилися три основні енергетичні стратегії:

- *економія енергії*, тобто раціональніше її використання і підвищення ефективності її перетворення та передачі. Згідно з оцінками, економія енергії може знизити темпи зростання енергоспоживання до 3,2–3,6% на рік замість 4% очікуваних раніше.
- "*вугільна стратегія*", тобто інтенсивніша розробка досить великих запасів вугілля;
- "*ядерна стратегія*", тобто ширше використання ядерної енергії.

Значну увагу приділяють також пошуку альтернативних джерел енергії (сонячної, геотермальної) й термоядерному синтезу. Аналіз прогнозованого світового паливно-енергетичного балансу показує, що реалізація якої-небудь однієї стратегії не дасть змоги забезпечити конче потрібний рівень енергоспоживання. "Вугільна стратегія" викликає сумнів, оскільки, не згадуючи про досить серйозні екологічні проблеми, під питанням стоїть реальність видобутку і транспортування вугілля в необхідному обсязі (до 10 млрд т щорічно після 2000 р.). Розробка альтернативних джерел енергії поки що перебуває на початковій стадії, і, на думку більшості фахівців, ці джерела до 2010 р. зможуть внести в загальний енергобаланс не більш 10% енергії. Очікується, що перші дослідно-промислові термоядерні електростанції (ТЯЕС) будуть споруджені лише в середині XXI ст, а на їхнє промислове впровадження потрібно ще кілька десятиліть.

Роль ядерної енергетики у світовому паливно-енергетичному балансі оцінюють досить високо незалежно від реалізації окремих стратегій. Згідно з прогнозами, частка ядерної енергії в загальному енергоспоживанні (первинних видів енергії) під 2010 р. зросте до 12–17%; внесок АЕС у загальну встановлену потужність електростанцій збільшиться до 32–39%. Ядерна енергетика вже демонструє свою конкурентоспроможність: у 1978 р. вартість 1 кВт·г електроенергії, що її виробляли АЕС, ТЕС на вугіллі й ТЕС на нафті, в США дорівнювала 1,5; 2,3 і 4,0 центи відповідно. 1980 року в Європі ці показники становили 2,2; 2,7 і, залежно від ґатунку вугілля, 3,3-4,4 центи відповідно. Слід, однак, віднотувати, що, попре зросле значення і конкурентоспроможність ядерної енергетики, з 1975 р. спостерігається уповільнення темпів уведення нових АЕС і скорочення числа замовлень на них. Істотно змінилися і прогнози щодо розвитку світової ядерної енергетики. До основних причин, які стримують розвиток ядерної енергетики за кордоном, слід зарахувати:

1. Економічні чинники: а) економічний спад сприяв до зниженню і невизначеності майбутніх темпів приросту потреб в енергії й особливо в електроенергії. Так, у 1973–1975 рр. щорічні темпи приросту потреб в електроенергії знизилися у США з 7,5 до 0-2,5%, а в 1975–1978 рр. становили пересічно 4%; у ФРН

знизилися з 7 до 2%, у Японії – з 10 до 4,8%. Припускають, що в наступні 10 років темпи приросту потреб в електроенергії будуть приблизно на 2% нижчими; б) капіталоємність і тривалі терміни окупності ядерно-енергетичного комплексу утруднюють фінансування ядерної енергетики, надто ж у період економічної депресії та невизначеності прогнозів; в) вартість АЕС збільшилася не лише за рахунок інфляції, а й значною мірою тому, що подовжилися терміни їхнього будівництва (нині 9–10 років замість 5—6 років до 1974 р.). Останнє багато в чому пов'язане з ускладненням системи ліцензування, що, своєю чергою, зумовлено підвищенням вимог до захисту довкілля.

2. Організаційно-технологічні чинники: а) координація та управління ядерно-енергетичним комплексом ускладнюються через надзвичайну роз'єднаність окремих ланок цього комплексу (85% світових запасів урану зосереджені всього лише в чотирьох країнах, майже 90% потужностей з розділення ізотопів урану – в США); б) плановані виробничі потужності деяких ланок комплексу не відповідають майбутнім потребам; практично відсутня промислова база для переробки опроміненого (відпрацьованого) окисного палива; в) експлуатаційні характеристики АЕС ще недосить високі (середній коефіцієнт використання потужності АЕС в 1978 р. становив ~66% замість 75% запланованих).

3. Суспільно-політичні чинники: а) активна ядерна опозиція спричинює не тільки затримку з уведенням в експлуатацію деяких об'єктів, а й у ряді випадків, перегляд ядерно-енергетичних програм окремих країн; б) невирішеність низки актуальних питань (нерозповсюдження ядерної зброї, проблеми переробки відпрацьованого палива, радіаційної безпеки й остаточного видалення радіоактивних відходів тощо) потребує розгляду найрізноманітніших аспектів – технологічних, соціально-економічних, юридичних, екологічних – на міжнародному рівні.

Як наслідок маємо брак чіткого стратегічного напряму розвитку ядерної енергетики, невизначеність у виборі другого покоління реакторів. Це викликало, зокрема, затримку розвитку реакторів-розмножувачів на швидких нейтронах.

Тим часом, саме атомна енергетика з огляду на свою малу матеріаломісткість здатна, у принципі, знайти вихід із зачаровано-

го кола: підвищення рівня життя – зростання енергетики – деґрадація екології – деґрадація рівня життя. Доведення числа ядерних енергоблоків у світі з наявних сьогодні 400 до 2 500–3 000 здатне розв'язати проблему світових потреб в електроенергії.

Вирішення цього суперзавдання потребує концентрації інтелектуальних, моральних та інженерно-технічних зусиль людства з таких причин:

- проблема зміни структури виробництва і споживання електроенергії має бути розв'язана впродовж 40–50 років;
- після Чорнобильської катастрофи у світовій спільноті різко посилилися антиядерні настрої й людство морально не готове до того, щоб прийняти заропонований стрибок у нарощуванні потужностей атомних станцій. Рівень пропаґанди атомної енергетики в наш час (окрім Франції) є значно нижчим за рівень 50–60-х років.

Конче треба убезпечити роботу понад 400 АЕС, що нині діють у світі, особливо, роботу новостворюваних атомних електростанцій. На наявних АЕС безпеки досягають за допомогою енергозалежних (активних) систем, і вона залежить від кваліфікації обслуги. Нові АЕС використовують для убезпечення фундаментальні фізичні процеи, що відбуваються в устаткуванні без енергоприводу (пасивно) й не залежать від помилок персоналу.

Вирішення питань безпеки в проектах реакторів нового покоління, розроблених в організаціях Російської Федерації та США, пов'язане з:

- наявністю неґативних температурних потужнісних і парових коефіцієнтів реактивності, що забезпечують самообмеження й самогасіння потужності реактора;
- наявністю розвинених пасивних систем відведення тепла і розхолодження ядерного реактора й устаткування;
- інтеґральними компоновками першого контуру ядерного реактора, що локалізують увесь об'єм радіоактивного теплоносія в межах корпусу реактора;
- наявністю розвинених бар'єрів безпеки, які перешкоджають поширенню радіоактивності під час розгерметизації першого контуру (захисні оболонки, контайменти та ін.).

Перелічені заходи підвищують безпеку АЕС у 2-3 рази, що дає змогу говорити про нову якість створюваної техніки.

10.3.4. Взаємодія АЕС із довкіллям

Особливістю атомної енергетики є мізерна витрата ядерного палива, що забезпечує виділення величезної кількості енергії (тепла). Для АЕС потужністю 1 млн кВт на добу потрібно всього лише 3 кг U^{235} замість 7 100 т у.п., як для ТЕС такої самої потужності.

Головна відмінність між ТЕС і АЕС полягає в тому, що у схемі останньої замість котла, який працює на органічному паливі, є атомний реактор, а також специфічний парогенератор особливої конструкції. Решта устаткування, а отже, і вплив цієї частини АЕС на довкілля, не відрізняється від устаткування ТЕС: парова турбіна, електричний генератор, конденсатор, водяний насос та ін.

Розвиток ядерної енергетики переважно базується на АЕС із реакторами, охолоджуваними водою під тиском, а також з канальними реакторами, охолоджуваними киплячою водою (реактори більшої потужності канальні — РБПК). Реактори типу ВВЕР дістали у світовій енергетиці найширше застосування (близько 60%). За останні 25 років конструкція реакторів практично не зазнала істотних змін. Експлуатовані в Україні АЕС обладнані блоками потужністю 440 МВт з ВВЕР і 1 000 МВт з ВВЕР і РБПК. Саме реактор ВВЕР спричинив Чорнобильську катастрофу. Причиною аварії став надзвичайний збіг найнесприятливіших чинників і прикрих помилок експлуатаційного персоналу. Розроблено і вже вживаються заходи щодо підвищення безпеки водо-водяних реакторів. Концепція безпеки реакторів ВВЕР другого покоління практично виключає можливості серйозного пошкодження активної зони через плавлення ядерного палива або внаслідок неприпустимої швидкості виділення енергії. Таким чином, проблема взаємодії АЕС із довкіллям, що виникла разом з атомною енергетикою, посіла й посідає важливе місце в ПЕК.

На рис.10.3. подана узагальнена модель взаємодії АЕС із довкіллям. Виділення енергії в процесі реґульованої ланцюгової

реакції поділу атомів урану, торію і плутонію відбувається в ядерному реакторі (Р).

Перетворення кінетичної енергії уламків і продуктів поділу відбувається в активній зоні реактора, в якій майже вся енергія ядерної реакції передається теплоносію. Прямому виходу радіоактивних відходів (р. в.) ядерних реакцій у довкілля запобігає багатоступінчата система радіаційного захисту, що діє як в умовах нормальної експлуатації, так і в аварійних ситуаціях. За нормальної експлуатації АЕС радіоактивність контуру ядерного реактора обумовлена активізацією продуктів корозії та проникненням у теплоносій продуктів поділу. Наведеній активності піддають практично всі речовини, що взаємодіють із радіоактивним випромінюванням.

У схемах АЕС передбачено пристрої, потрібні для збору активних речовин і видалення їх у вигляді рідких, газоподібних або твердих відходів. Рідкі відходи містять радіоактивні ізотопи стронцію, цезію, водню та інших елементів.

Радіоактивність рідких і газоподібних викидів у різних АЕС відрізняється на кілька порядків, але в переважній більшості випадків сумарні викиди значно нижчі за гранично припустимі рівні (ГПР).

Систематичні спостереження за дією АЕС на водне середовище у процесі нормальної експлуатації не виявили істотних змін природного радіоактивного фону. За встановлених припустимих рівнів впливу ядерної енергетики на гідросферу й наявних методів контролю над викидами діючі типи ядерних енергетичних установок не загрожують локальним і глобальним рівноважним процесам у гідросфері та її взаємодії з іншими складовими географічної оболонки Землі.

Відповідно до «Правил ядерної безпеки АЕС» МАГАТЕ, проекти всіх систем і компонент АЕС, що впливають на ядерну безпеку, мають містити докладний аналіз усіх можливих відмов складових елементів, виокремлювати небезпечні відмови й оцінювати їхні наслідки. Урахувавши поширення викидів під час аварій на АЕС, установлюються санітарно-захисні зони.

Усі інші види дій АЕС на гідро- і літосферу, не пов'язані з радіоактивністю (вплив системи водопостачання, підвідних і відвідних каналів, фільтрів), якісно не відрізняються від аналогічних

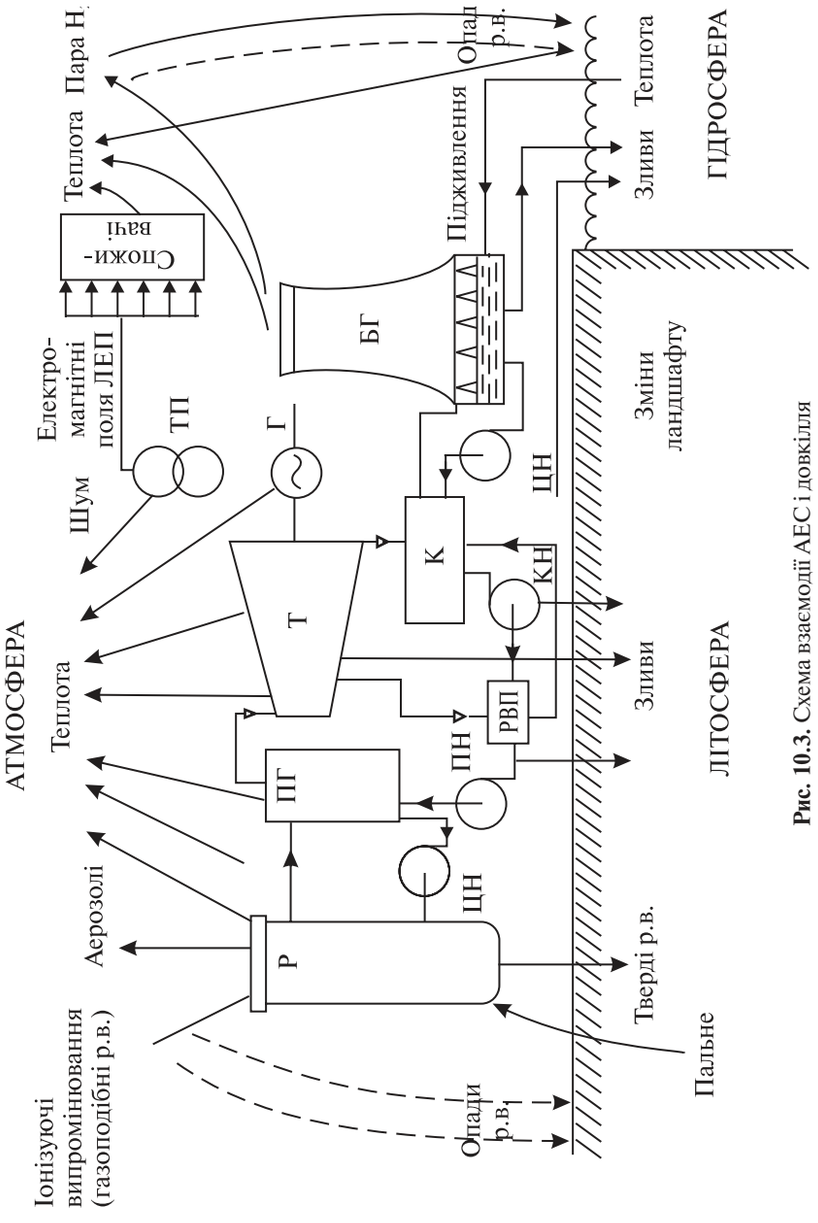


Рис. 10.3. Схема взаємодії АЕС і довкілля
*р.в. – радіоактивні відходи

дій ТЕС. Основне тепловиділення АЕС у довкілля, як і на ТЕС, відбувається в конденсаторах паротурбінних установок. Одначе питомі тепловиділення в охолоджувальну воду в АЕС є значнішими, ніж у ТЕС, унаслідок більшої питомої витрати пари. Це визначає істотні питомі витрати охолоджувальної води. У зв'язку з цим на більшості нових АЕС передбачено встановити градирні, в яких теплота відводиться безпосередньо в атмосферу. Потім охолоджувальна вода надходить до ставка-охолоджувача, призначеного для забезпечення замкнутої системи водопостачання АЕС.

Споживання повітря на АЕС визначається потребами в розбавленні забруднюючих викидів і в забезпеченні нормальних умов життєдіяльності персоналу. Витрату повітря на АЕС з тепловими реакторами різні автори оцінюють у межах $(15–20)\cdot10^6$ м^3/рік на 1МВт установленій потужності.

Найскладнішою екологічною проблемою у процесі експлуатації АЕС є поховання великотонажних радіоактивних відходів, що утворюються під час демонтажу елементів устаткування і є радіоактивними навіть після закінчення терміну служби або з інших причин, а також відпрацьованого ядерного палива. Передбачено кілька варіантів поховання: можна помістити всі забруднені радіоактивністю елементи в шахтні виробітки; поховати тільки найзабрудненіші наведеною радіоактивністю елементи з повторним використанням інших за призначенням; періодично дезактивувати устаткування на місці, ховаючи концентровані відходи і змиви.

10.4. ГЕС і їхній вплив на довкілля

До початку 70–х років. XX ст. у всьому світі було збудовано понад 315 великих водосховищ із площею дзеркала кожного більше 100 км^2. Сюди входять і два найбільші в Україні водосховища: Кременчуцької ГЕС – 2 500 км^2 і Каховської ГЕС – 2 150 км^2. За наявними оцінками, об'єм водосховищ світу до 2000 р. мав досягти 10 000 ...12 000 км^2.

Усього кілька десятиліть тому надзвичайно поширилася думка, за якою ГЕС не можуть негативно впливати на довкілля. Проте з часом стало ясно, що у процесі будівництва й експлуатації ГЕС природному середовищу завдається неабиякої шкоди (рис.10.4).

Найбільшим лихом є саме водосховища, велику частину яких становить мілководдя. Площі мілководдя є особливо великими при зареґулюванні рівнинних річок, коли загати ГЕС споруджують у рівнинній місцевості, наприклад ГЕС Дніпровського каскаду. Вода мілководдя інтенсивно прогрівається сонцем, а це створює сприятливі умови для розвитку синьо-зелених водоростей та інших евтрофікаційних процесів. Унаслідок створення водосховищ забруднюється територія, що дорівнює площі його дзеркала. Для акумуляції 1 км^3 води у водосховищах, споруджуваних на рівнинних річках, площа затоплення становить близько 300...320 км^2, на гірських річках – близько 80...120 км^2, а тому розвивати гідроенергетику краще в гірській місцевості. У результаті фільтрації води у водосховища навколо нього формується обширна зона підтоплення. Хвильові явища викликають перероблення берегів і їхнє обвалення, що збільшує площі мілководдя. Мілководдя і підтоплення сприяють заболочуванню територій, прилеглих до водосховища.

До найважливіших характеристик водосховища належать: розмір дзеркала водосховищ, наявність у них мілководдя, вплив на місцевий клімат, цінність земель, під них відведених, стан ґрунтів і рослинності, а також вплив на рибне господарство і водний (річковий) транспорт.

Найістотніші чинники впливу на локальні умови є такими: зміна ландшафту, рівня ґрунтових вод, переформовування берегів, а також зміна інших природних умов (ґрунту, рослинного і тваринного світу) як у районах водосховища, так і нижнього басейну ГЕС.

Зміна гідрогеологічного режиму річок під час спорудження ГЕС характеризується: зміною перерозподілу стоку; зміною рівневого режиму і його залежності від вітрів; зміною режимів течій, хвильового, термічного й льодового режимів. Швидкості течії можуть зменшуватися в десятки разів, а в окремих зонах

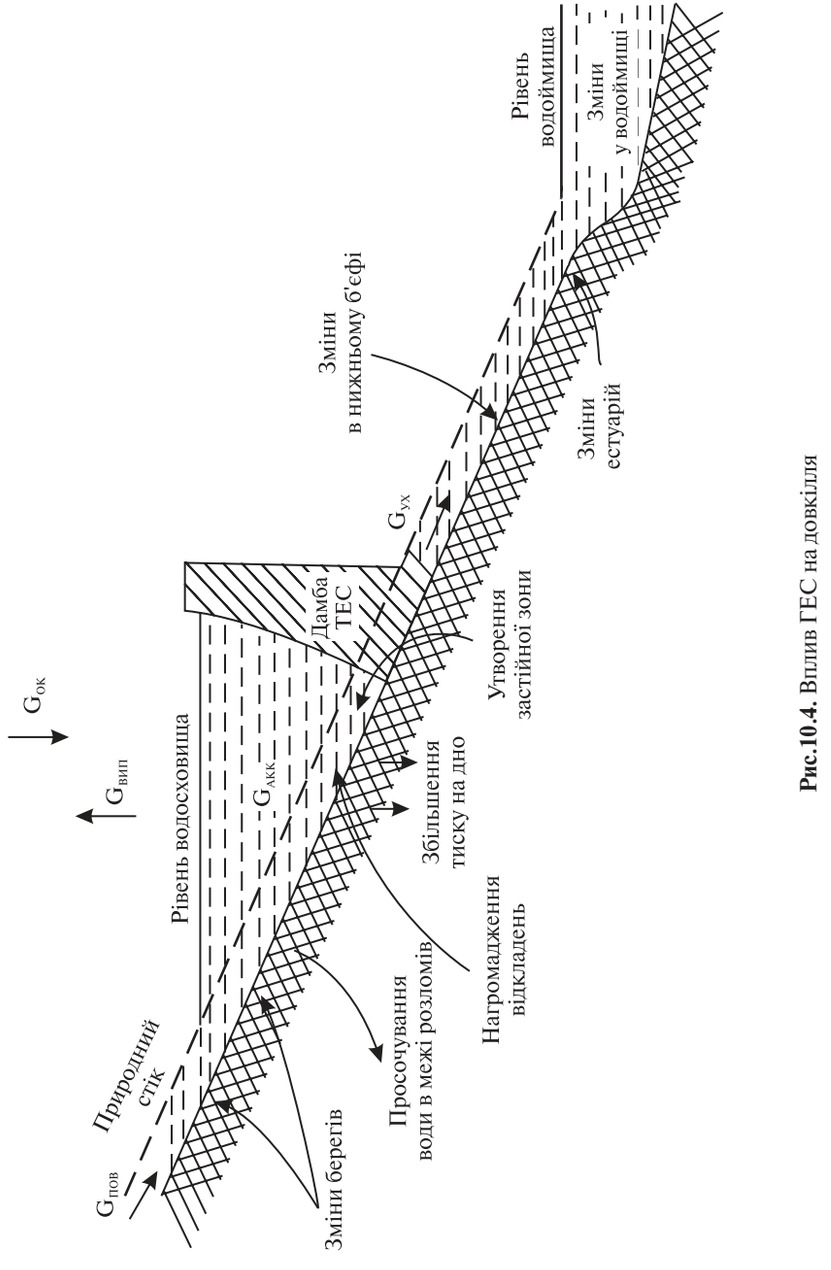


Рис.10.4. Вплив ГЕС на довкілля

водосховища виникають цілком застійні зони. У мілководних частинах можна спостерігати різкі коливання температури води залежно від зміни температури повітря. Звідси, нерівномірність температур по поверхні водосховища.

Змінюється тепловий режим у нижньому б'єфі водосховища: восени надходить тепліша вода, нагріта у водосховищі за літо, а весною – холодніша на 2-4 °С унаслідок охолодженя в зимові місяці. Ці відхилення від природних умов розповсюджуються на сотні кілометрів від греблі ГЕС.

Істотних змін зазнають гідрохімічний і гідробіологічний режими водних мас. У верхньому б'єфі маси води насичуються органічними речовинами, що надходять разом з річковим стоком і вимиваються із затоплених ґрунтів. У нижньому, навпаки, збіднюються, оскільки мінеральні речовини внаслідок малих швидкостей течії осідають на дно. Як у верхньому, так і в нижньому б'єфі змінюється газовий склад і газообмін води.

Під тиском величезних мас води, накопичених у водосховищах, нерідко відбувається просідання земної поверхні, зіставне із землетрусами силою до 2–3 балів. У результаті зміни руслових режимів у водосховищах осідають наноси. Зареґулювання річкового стоку відображається на стані морського середовища.

Ураховуючи розмаїті дії водосховищ на довкілля, уже нині фахівці доходять висновку про спорудження надалі переважно середніх і малих водосховищ. Об'єктивна відповідь на питання про вплив ГЕС на довкілля залежить, здебільшого, від характеристики майбутнього водосховища з урахуванням усіх названих чинників. Доцільність будівництва кожної конкретної ГЕС слід розглядати індивідуально.

10.5. Екологічні аспекти нетрадиційної енергетики

Оцінюючи перспективи розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії (НВДЖЕ), як правило, підкреслюють їхню екологічну чистоту. Це дійсно справедливо, але

тільки для певних видів НВДЖЕ, хоча взагалі вони впливають певним чином на довкілля. Утім, поза сумнівом, НВДЖЕ більш прийнятні з погляду впливу на екологію, ніж джерела традиційної енергетики (ТЕС, АЕС, ГЕС, ОПК, дизельні установки та ін.).

Ширше використання НВДЖЕ пов'язане з освоєнням нових технологій перетворення енергії сонця, вітру, біомаси, гідроенергії й геотермального тепла землі. Особливу роль в енергетичній структурі НВДЖЕ на тривалу перспективу відводять гідроенергетиці, яка нині є основним видом відновлюваних джерел енергії. Екологічні напрями застосування малих ГЕС лише в окремих аспектах збігаються з проблемами традиційної гідроенергетики і не піддаються жодному порівнянню з ними.

Загальні неґативні способи застосування НВДЖЕ пов'язані з проблемами землекористування, шуму, зміни ландшафту, використання нових матеріалів, виробництво яких в окремих випадках може неґативно вплинути на довкілля (наприклад, одержання кремнію для сонячної енергетики), тощо. Необхідно враховувати, що характер взаємодії цих установок з довкіллям є принципово іншим за неґативних дій, характерних для кожного виду НВДЖЕ. Тому аналіз можливих наслідків повинен проводиться ще на етапі їхньої розробки і проектування. Це дасть змогу уникнути помилок, допущених під час опанування традиційних енергоустановок, коли спочатку були створені технологічні принципи і лише потім, у процесі експлуатації, розпочалися пошуки шляхів подолання неґативних екологічних впливів.

У процесі використання НВДЖЕ найхарактернішими з погляду дії на довкілля є такі аспекти.

Сонячна енергія. Низькотемпературні сонячні системи тепло- й водопостачання є найпоширенішими на цей час як в індустріально розвинених, так і в країнах, що розвиваються. В екологічному аспекті для експлуатації низькотемпературних систем характерні наслідки циклу видобутку початкових матеріалів та їхньої переробки; зниження неґативних впливів на довкілля, що їх роблять викиди продуктів згорання заміщених традиційних котелень; зниження теплового забруднення.

Середньо- і високотемпературні сонячні установки досі залишаються на стадії інтенсивної розробки. У світі створено

декілька станцій (СЕС) з використанням розосереджених параболічних систем концентратів (загальною потужністю 400 МВт). Досвід їхньої експлуатації показав, що основним екологічним чинником для СЕС за термодинамічним циклом перетворення енергії є блокування устаткуванням значних земельних територій. Так, середню потенційну можливість СЕС такого циклу оцінюють у 30...40 МВт з 1км^2.

Вітроенергетика. Дотепер у світі нагромаджено величезний досвід щодо практичної експлуатації найрізноманітніших джерел енергії вітру. Як засвідчив досвід експлуатації, у наш час економічно доречнішими є ВЕС у діапазоні потужностей від 100 до 350 кВт. Більшість європейських країн підтримує створення ВЕС з урахуванням екологічних вимог до енергоустановок, а також проблем надійності й безпеки енергозабезпечення.

Дія вітроенергетики зумовлена такими найголовнішими екологічними чинниками, як: блокування земельних територій; шумові ефекти. що зростають із підвищенням потужності й числа вітродвигунів; висока металоємність вітроустановок, пов'язана з вимогами попереднього циклу видобутку і переробки металів; вібраційна дія на біоту; загибель великої кількості птахів під лопатями вібродвигунів.

Максимальна потужність, яку можна одержати з 1 км^2 площі, коливається в широких границях залежно від району використання, типу станції й технологічних особливостей конструкції (середнє значення ~10 МВт/км^2). Шумовий ефект у безпосередній близькості від ВЕС може досягати 50...80 дБ, тим часом як порогова витривалість людського вуха, прийнята на основі больових відчуттів, становить 180 дБ. Окрема екологічна проблема виникає від шумової дії установок значної потужності (понад 250 кВт), коли швидкості потоку повітря на кінцях лопаток вітроколіс великого діаметру є надзвуковими. При цьому з'являється інфразвуковий ефект, що неґативно впливає на людину та інші біологічні суб'єкти.

Важливу роль відіграє показник витрат металу на одиницю потужності, він визначає об'єми циклу сировинної підготовки для виробництва. Залежно від рівня потужності цей показник для ВЕС орієнтовно змінюється в діапазоні 50...70 кг/кВт, при-

чому потрібна значна кількість високоміцних матеріалів. У наш час існує тенденція замінювати елементи металевих конструкцій (насамперед, лопатей вітроколіс) на склопластикові. Отже, конче необхідний екологічний аналіз наслідків хімічного виробництва, пов'язаних зі створенням тих конструкційних матеріалів.

За оцінками Всесвітнього конґресу Міжнародного товариства з проблем сонячної енергії, що відбувся в Денвері (США), якщо брати до уваги екологічні чинники, то СЕС і ВЕС уже сьогодні більш економічні, ніж ТЕС й АЕС.

Геотермальна енергія. Екологічний вплив ГеоТЕС і геотермальних технологічних установок на довкілля зводиться: до дії мінералізованних геотермальних вод і пари; до опускання земної поверхні (іноді значному за розмірами), розташованої над геотермальним шаром, який розробляється; до підвищеної (порівняно з ТЕС однакової потужності) теплової дії ГеоТЕС на довкілля.

Таким чином, розвиток геотермальної енергетики пов'язаний з досить істотними неґативними екологічними наслідками. Перше – це надто висока вартість устаткування, що відбирає і перетворює геотермальне тепло, тобто висока вартість одержання енергії. Друге – значний неґативний вплив на довкілля – деґрадація лісів і екосистем навколо родовищ, значне просідання землі після відбору води й пари з глибин, виділення газів разом з парою, сильні забруднення ґрунтів, повітря і води в місцях відбору гідротерм, а це вимагає доволі серйозного контролю. Крім того, часто гідротермальні родовища розташовуються у важкодоступних місцях.

Використовують гідротермальну енергію двома способами: обігрівають будинки, теплиці, інші будівлі та виробляють електроенергію. Це залежить від того, в якому вигляді енергія надходить із надр землі: чистої сухої пари без домішок крапельок води (у такому разі пару можна подавати безпосередньо в турбоаґрегати, що виробляють електроенергію) або у вигляді суміші пари і гарячої води (водяних крапель), яку не можна прямо використовувати для виробництва електроенергії, оскільки удари крапель псують турбіну. Ба більше, геотермальна вода має підвищені корозійні властивості, а тому газо-водяну суміш, призначену

для одержання електроенергії, треба заздалегідь розділяти на відцентрових сепараторах на суху пару і воду. Гарячу воду, що залишається, і відконденсовану пару також необхідно або закачувати назад у землю, або використовувати як засіб обігріву. Утім, і тут зостається проблема мінералізації геотермальних вод: велика кількість солей, що містяться в них, забруднює будь-які водоймища, труби тощо.

У складі вод, що виводяться на поверхню, знаходяться нітріди, хлориди і сульфіди деяких металів, а також небезпечні хімічні елементи (бор, арсен); сірководень (нешкідливий – у невеликих кількостях, токсичний – зі зростанням концентрації). За відсутності зворотного закачування у пласт виникає небезпека засолу ґрунтів у районі використання і падіння пластового тиску. Зміна тиску в пласті у процесі тривалої експлуатації свердловин впливає на рівень ґрунтових вод у цьому районі й може неґативно позначитися на роботі артезіанських свердловин і водопостачання.

Енергія біомаси. Особливе значення джерела енергії цього типу мають для країн, що розвиваються. В енергобалансі африканських країн вони становлять пересічно до 60%, Латинської Америки – до 30%, азіатських держав – до 40%, деяких країн Європи, Близького Сходу й Північної Африки – до 10% від загального енергоспоживання. При цьому вагомого розвитку набула переробка біомаси, заснована на процесах газифікації, піролізу й одержанні рідкого палива.

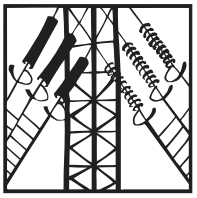
У результаті процесу ферментизації під час переробки біомаси в етанол утворюються побічні продукти, зокрема промивальні води і залишки перегонки. Останні є серйозним джерелом екологічного забруднення довкілля. Їхня маса в кілька разів (до 10) перевищує масу вироблюваного продукту, тобто етилового спирту. Становлять інтерес технології, які дають змогу у процесі очищення цих відходів одержувати мінеральні речовини, що їх використовують у хімічній промисловості, а також як мінеральні добрива.

Різноманітним напрямам утилізації органічних відходів властива, перш за все, гостра екологічна скерованість. Значною мірою вона зорієнтована на переробку відходів. Ліквідація

останніх і пов'язане з нею поліпшення екологічних та санітарно-епідеміологічних умов залюдненого середовища відіграють навіть більшу роль, аніж енергетичний ефект на основі використання цього виду сировинних ресурсів. Це особливо важливо для регіонів з вологим теплим кліматом і для великих міст. Саме тут надзвичайну роль відіграє технологія ліквідації відходів, яка дає змогу одночасно використовувати їхній енергетичний потенціал,.

Міні- і мікроГЕС. Як наголошено в огляді Світової Енергетичної Ради, на основі цих установок можливе економічно рентабельне виробництво електроенергії на рівні 6,5% від наявного потенціалу гідроресурсів. Найбільше для міні ГЕС важить удосконалення гідротурбін, що працюють на малих напорах. Такі установки мінімально впливають на довкілля, оскільки не потребують будівництва загат, водосховищ, берегових споруд.

Як бачимо, екологічні дії НВДЖЕ годі порівняти з наслідками негативного впливу на довкілля традиційних джерел енергії. Оцінювати їхні екологічні дії слід, виходячи із системних позицій. Треба враховувати весь комплекс різнорідних чинників, характерних для різних видів НВДЖЕ: блокування територій; вплив на екологічний процес зайнятих і прилеглих територій; вплив на флору і фауну; вивільнення хімічних та інших матеріалів; можливості використовувати ці речовини або продукти їх переробки як сировину для подальшого виробництва.



РОЗДІЛ 11

ЕНЕРГЕТИКА Й ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

11.1. Енергопостачання та екологічна ситуація в Україні

Енергопостачання та екологічна ситуація в Україні

▪

Енергетичні аспекти екологічної безпеки

В Україні склалися досить напружені екологічні обставини. З одного боку, вони пов'язані із загальним багаторічним нагромадженням великої кількості забруднюючих речовин, та надто небезпечних твердих відходів промислового виробництва. З другого боку, незважаючи на існуючу останніми роками тенденцію до скорочення загального техногенного навантаження на довкілля, сумарно в атмосферу, гідросферу і літосферу нині викидають не менше 60 млн т твердих речовин (табл.11.1–11.3). Практично на всій території України в атмосфері фіксуються десятикратні й більші перевищення ГПК окремих речовин. Техногенне навантаження на території України в 6—7 разів вище, ніж пересічно в розвинених країнах Європи.

За оцінками Міжнародного інституту менеджменту довкілля (Швейцарія), якщо до 1989 року розміри щорічних утрат України від погіршення залюдненого середовища становили 15-20 % валового національного доходу,

то під кінець XX ст., у зв'язку зі зниженням ВНД, перевищили 35 % і стали найбільшими у світі. Тільки на мінімізацію наслідків аварії на Чорнобильській АЕС Україна щорічно витрачає близько 1 млрд дол США.

Навіть без урахування наслідків Чорнобильської катастрофи питоме забруднення на одиницю території України є найбільшим в Європі. Зони "екологічного лиха" охоплюють понад 15 % усієї території України: це Чорнобильська зона, Донбас, Кривбас, Придніпров'я, Придністров'я, Північний Крим, узбережжя Чорного й Азовського морів.

Таблиця 11.1.

Надходження шкідливих викидів у довкілля

Показник	1985	1990	1995	1996	1997
Надходження забруднюючих речовин, тис. т:					
в атмосферу	18 777	15 549	7 484	6 342	5 966
у поверхневі водоймища*	8 956	9 706	12 282	11 895	9 541
у земельні ресурси**	...	...	100 784	75 677	970 273
Надходження забруднюючих речовин, з розрахунку на душу населення, кг:					
в атмосферу	371	302	147	126	118
у поверхневі водоймища	176	187	239	234	188
у земельні ресурси	...	...	1 963	1 487	19 139

* Забруднення поверхневих водоймищ шкідливими речовинами обчислено за сухим залишком.

** 1997 р. до 4 класу безпеки віднесено відходи гірничодобувної промисловості Південного гірничо-збагачувального комбінату м. Кривого Рогу.

На території України можна вирізнити три екологічні зони (Донецько-Придніпровську, Південну і Південно-Західну), що істотно розмежовуються за своїм антропогенним навантаженням на повітряний басейн. Максимальна кількість викидів на одиницю площі (~35 т/км^2 на рік) характерна для Донецько-Придніпровської (у Донецькій області – 110 т/км^2 на рік). Південна та Південно-Західна зони – відповідно, 7,1 і 7,8 т/км^2 на рік. Кількість викидів в атмосферу для Києва й Севастополя становлять, відповідно 139,9 і 11,3 т/км^2 на рік.

Таблиця 11.2.

Основні показники захисту атмосферного повітря

Показник	1985	1990	1995	1996	1997
Кількість стаціонарних джерел викидів шкідливих речовин, тис. одиниць	349,4	287,9	339,0	355,0	366,5
Кількість викидів шкідливих речовин від стаціонарних джерел забруднення, тис. т	46 867,9	40 203,7	25 196,5	21 063,6	19 839,1
Уловлено (7 483,5знешкоджено) шкідливих речовин, тис. т	34 705,0	30 764,6	19 509,5	16 299,8	15 306,0
Кількість шкідливих речовин, що надходять до стаціонарних джерел забруднення, %	74	77	77	77	77
Утилізовано шкідливих речовин, тис. т	15 099,9	16 081,9	5 317,6	4 177,2	3 548,5
Шкідливі викиди в атмосферу тис. т, зокрема:	18 776,9	15 549,4	7 483,5	6 342,3	5 966,2
стаціонарними джерелами	12 163,0	9 439,1	5 687,0	4 763,8	4 533,2
пересувними засобами	6 613,9	6 110,3	1 796,5	1 578,5	1 433,0

До початку XXI ст. стаціонарні джерела і транспортні засоби України викидали в атмосферу приблизно 6 млн т шкідливих забруднюючих речовин, з яких приблизно 75 % (4,5 млн т) потрапило в повітряний басейн саме від стаціонарних джерел забруднення. Найбільший вплив на атмосферне повітря у великих містах мали промисловість і комунально-побутове господарство (табл.11.3). У 17 містах країни викиди шкідливих речовин збільшилися.

Із загальної маси викидів в атмосферне повітря, яка дорівнює майже 20 млн т речовин на рік, на частку підприємств енергетики України припадає до 53 %. Усереднений хімічний склад є таким: сірчистий ангідрид – 19 % (30 %), окис вуглецю – 42 % (37 %), оксиди азоту – 8 % (10 %), вуглеводневі сполуки – 7 % (8 %), легкі органічні сполуки – 4 % (4 %), інші – 20 % (11 %). У дужках названо відсотковий склад викидів лише від стаціонарних джерел.

Таблиця 11.3.

Викиди шкідливих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел забруднення у різних галузях народного господарства України (1997 р.)

Галузь	Кількість викидів від стаціонарних джерел забруднення, тис. т	Викинуто шкідливих речовин в атмосферу, тис. т		Кількість уловлених і знешкоджених речовин, тис. т	
		Усього	Зокрема без очищення	Усього	Зокрема утилізованих
Електроенергетика	10 366,6	1 385,33	872,0	8 981,3	620,7
Вугільна промисловість	1 326,7	983,7	950,0	343,1	236,3
Металургійна промисловість	5 657,5	1 400,7	1 238,9	4 256,7	1 369,5
Хімічна і нафтохімічна промисловість	554,3	123,2	103,1	431,2	226,2
Машинобудування	94,1	39,6	33,7	54,5	6,4
Нафтовидобувна, нафтопереробна і газова промисловість	222,3	195,5	194,9	26,9	24,4
Житлово-комунальне господарство	80,3	57,1	51,0	23,2	9,2
Сільське господарство і харчова промисловість	306,4	131,0	125,3	175,4	135,8
Транспорт	81,1	45,6	43,2	35,5	20,6
Промисловість будівельних матеріалів	910,0	66,0	49,0	844,0	803,2
Міська промисловість	2,6	2,1	1,9	0,5	0,2
Інші	237,2	103,4	97,9	133,7	95,6
Разом	19 839,1	4 533,2	3 760,9	15 306,0	3 548,5

Брак необхідного устаткування та ефективних технологій очищення неґативно впливає на розв`язання проблем уловлювання й утилізації шкідливих речовин. Так, 1997 року на очисні споруди від стаціонарних джерел надійшло 16,1 млн т шкідливих речовин, з яких уловлено 15,3 млн т. Якщо 1990 року було утилізовано більше як половину всіх шкідливих речовин, то 1997 року – лише 23 % (3,5 млн т).

У структурі вловлених інґредієнтів основну частину складають тверді речовини (94 % або 14,3 млн т). Лише 20 % від загальної кількості утворених газоподібних речовин, було вловлене очисними спорудами, тимчасом як твердих – 95 %.

Підприємствам бракувало відповідного устаткування, а це спричинило те, що частина викидів потрапляла безпосередньо в атмосферу. Якщо в цілому по Україні без очищення було викинуто 3,8 млн т (19 % від загальної кількості), то в окремих регіонах цей показник є істотно вищим: Автономна Республіка Крим – 33 %, Херсонська область – 76 %, Закарпатська – 65 %, Волинська – 55 %, Одеська – 51 %, Тернопільська – 43 %, Житомирська – 41 %, Луганська й Полтавська – 33 %.

Надмірні викиди промислових підприємств і транспортних засобів завдали шкоди атмосфері таких великих індустріальних міст, як: Донецьк, Горлівка, Дзержинськ, Маріуполь, Макіївка, Слов'янськ, Єнакієво, Одеса, Дніпропетровськ, Харків, Запоріжжя, Луцьк, Луганськ. Високий рівень забруднення в цих містах переважно зумовлений підвищеним умістом у повітрі специфічних шкідливих речовин (бенз(а)пірену, формальдегіду, фенолу, аміаку) пилу і двоокису азоту.

Основними джерелами забруднення повітря є підприємства енергетичної, вугільної та металургійної галузей. Незважаючи на те, що кількість підприємств цих галузей становила лише 7,3 % від загального числа джерел забруднення атмосфери, від них у природне середовище надійшло 83 % (3,8 млн т) усіх шкідливих речовин. Якщо в середньому по Україні одне підприємство викидало 291 т шкідливих речовин, то в металургії – 7 334 т, а в енергетиці – 6 997 т.

Таким чином, на сьогодні в Україні найвагомішим стаціонарним джерелом забруднення атмосферного повітря є енергетика.

Це стосується як власне енергетики, що використовує до 40 % усього органічного палива, так і підприємств малої енергетики.

Згідно з розрахунками, збиток, заподіюваний шкідливими викидами в атмосферу, що надходять від дрібних теплових установок, на одиницю спалюваного палива є в 5 разів вищим, аніж від ТЕЦ і КЕС. Це пов'язано зі специфікою розміщення дрібних котелень, промислових і опалювальних печей у зонах з високою концентрацією населення та відсутністю технічних засобів, що забезпечують ефективне спалення шкідливих викидів. Вони становлять від 25 до 50 % усіх викидів. Як наслідок, рівень загазованості цілого ряду великих промислових центрів залишається високим (від 25 до 50 %), тим паче, що в умовах дефіциту ПЕР практично неможливо домогтися для теплопостачання пріоритетного виділення природного газу й заміщення рядового вугілля сортовими видами палива. Водночас, у процесі спалювання 1 т у. п. природного газу в дрібних котельнях та індивідуальних джерелах тепла в атмосферу потрапляє 2,5 кг шкідливих викидів, здебільшого, оксидів азоту, тимчасом як при спалюванні донецького вугілля в рядовому вигляді – 219 кг (під час шарового спалювання – трохи менше).

На пай традиційної енергетики припадає не менше 30 % всіх викидів в атмосферу, зокрема від загальної кількості: 30 % твердих речовин, 63 % сірчистого ангідриду та 57 % оксидів азоту. У Донецькій області – 30 % всіх викидів в атмосферу, у Дніпропетровській – 24 %, у Луганській – 18 %, у Запорізькій – 49 %, у Харківській – 58 %, в Івано-Франківській – 73 %, у Київській – 67 %, у Вінницькій – 71 %. ТЕЦ чорної металургії, хімічної промисловості та цукрових заводів поставляють також 49 % викидів у Донецькій області, до 70 % у Дніпропетровській і до 85 % у Криму.

У цих умовах надзвичайно важливою є інтеґрація енергетики й екології, взаємозв'язок екологічних аспектів енергетики та енергетичних аспектів екології. Їх необхідно правильно формулювати й неухильно відстежувати на всіх етапах енергопостачання і енергоспоживання. Лише в цьому разі можлива реалізація природоохоронної стратегії розвитку енергетики України відповідно до зобов'язань, прийнятих нею 1992 року у Ріо-де-Жанейро.

11.2. Енергетичні аспекти екологічної безпеки

Таким чином, одним із пріоритетних напрямів розвитку України, забезпечення її екологічної безпеки є охорона довкілля. Коріння екологічної кризи заглиблене в Чорнобильській катастрофі й непомірному техногенному навантаженні, що спричинило, зрештою, стрімке зниження асиміляційних і якісних характеристик природного довкілля.

Територія України є техногенно перенасиченою небезпечними об'єктами. Масштаби забруднення довкілля в низці регіонів України досягли критичного рівня. Головними забруднювачами повітря, як уже наголошувалося, є підприємства енергетики, металургії і транспорту. Досить важливим є питання, які джерела екологічної небезпеки найбільш істотні. У попередніх розділах ми дали на нього відповідь. Проте ще раз відзначмо внесок основних виробництв у погіршення екологічної ситуації.

Шкідливі викиди в усіх країнах СНД на початок XXI ст. розподілилися в середньому таким чином: ТЕС – 30,7 %, автотранспорт – 22,8 %, чорна металургія – 15,7 %, промисловість будівельних матеріалів – 30,3 %, кольорова металургія – 7,4 %, нафтова промисловість – 6,3 %, хімічна промисловість – 3,8 %.

Загалом у різних країнах на електроенергетику припадає від 25 % до 35 % загальних викидів CO_2, причому ця частина зростає зі збільшенням валового національного продукту. Усі ТЕС світу, виробляючи 80 % загальних обсягів енергії, поставляють в атмосферу 50 % промислових забруднюючих викидів. Тільки у процесі підземного видобутку вугілля на кожну тонну видобутого твердого палива в атмосферу викидається 0,42 кг пилу, 0,6 кг оксидів сірки, 0,11 оксидів азоту, 1 кг оксидів вуглецю та інших інґредієнтів. Під час переробки 1 т нафти – 3,44 кг вуглеводнів, 0,89 кг оксидів сірки, 0,4 оксидів вуглецю, 0,09 кг оксидів азоту, 0,03 кг сірководня. У зв'язку з тим, що використання природного газу в енергетиці скорочуватиметься, а споживання низькосортного високозольного та сірчистого вугілля буде зростати, можна чекати збільшення кількості викидів і погіршення екологічної обстановки. Слід також не забувати, що на кожен мільйон ви-

добутого вугілля руйнується 414 га землі. Терикони однієї лише Луганської області займають площу близько 3 200 га.

Нині ТЕС на території України викидають в атмосферу 76 % оксидів сірки, 53 % оксидів азоту і 26 % твердих частинок від загальних об'ємів викидів стаціонарних енергетичних установок. На 1 млн кВт електричної потужності АЕС у довкілля потрапляє не менше 2 млн кВт теплових потужностей, що в 1,5–2 рази більше, ніж для ТЕС. Для будівництва кожного блока – мільйонника АЕС потрібно 600 га земельних ресурсів, безповоротні втрати води під час експлуатації такого блока становлять 30 млн $м^3$/рік, а утворені рідкі відходи – до 100 тис. $м^3$/рік. Уважається, що для нормальної роботи АЕС необхідне водосховище, розміри якого забезпечують 8...12 $м^2$ поверхні на кожен кВт установленої потужності (для ТЕС – 5...8 $м^2$).

Усе сказане наочно підтверджується тим, що без розв'язання складних екологічних проблем і забезпечення конче необхідного рівня захисту атмосфери й водоймищ від забруднення димовими газами і рідинними стоками ТЕС у нинішніх умовах не може бути реалізована стратегія подальшого розвитку енергетики. Слід також відмітити, що нині треба активно підіймати культуру гідробудівництва. Вплив енергетики на природне середовище полягає не тільки у значних об'ємах викидів шкідливих речовин, а й у виведенні з природокористування значних територій, у дії на клімат, у складуванні величезних обсягів вторинної сировини.

Таким чином, досягти екологічної безпеки країни можна лише за умови підвищення безпеки енергетичної в усіх аспектах і складових ефективності виробництва, перетворення, передачі й використання ПЕР.

В Україні, як і в інших розвинених країнах, необхідна система екологічної безпеки, що враховує особливості вітчизняної економіки й ПЕК. Ця система має передбачати підтримку такого стану економіки і соціальних відносин у суспільстві, за яких діяльність держави й особи свідомо спрямовані на попередження та відвернення виниклих екологічних загроз (ризиків); на всебічний екологічний захист населення і природних умов його ефективного соціального й економічного розвитку.

Комплексна оцінка екологічної безпеки ґрунтується на оцінці ризику, який виникає внаслідок тієї чи іншої діяльності, зокрема, в паливно-енергетичному комплексі. У цьому разі під терміном "ризик" у його широкому значенні мають на увазі розмір можливих збитків від тих чи інших подій (дій, явищ). "Ризик" – це також небезпека від можливих подій.

Дослідження й аналіз ризику техногенних систем (промислових об'єктів) включають у себе широкий спектр навзаєм пов'язаних проблем різних етапів: ідентифікацію чинників та оцінку ризику, управління ризиком. Оцінка техногенного ризику – це процедура знаходження індивідуального ризику для конкретного виробництва (промислового підприємства).

Світовий досвід показує, що зменшення і регулювання техногенного навантаження доволі ефективно досягається за допомогою економічних механізмів: "бабл-принципу" – підтримки певних об'ємів викидів для додержання національних стандартів якості повітря; методу "торгівлі викидами", пов'язаного з угодами між підприємствами (в межах установлених норм на викиди); принципу "солідарної відповідальності", коли підприємства несуть загальну відповідальність за екологічний збиток, та ін.

Передові країни світу, керуючись концепцією "pollution prevention pays" ("витрати на попередження забруднення"), усе більше уваги приділяють природоохоронним заходам, випуску екологічно чистої продукції; упровадженню орієнтованої стратегії економічного зростання як єдиного перспективного напряму досягнення стійкого розвитку.

Істотно зросла роль державної фінансово-економічної політики стимулювання природоохоронної діяльності. Економіка розвинених країн дедалі більше стає ресурсоощадною, у них високими темпами розвивається екоіндустрія. Лише за п'ять років (1990–1994 рр.) щорічні темпи зростання світового екобізнесу піднялися до 9 %.

Протокол Конвенції ООН (Кіото, 1997 р.) щодо лімітації викидів парникових газів передбачає "торгівлю" ними в межах виділених квот. Так, якщо 1997 року в Україні було викинуто лише дві третини дозволеного рівня, то невикинуті тонни парникових газів могли бути предметом продажу. До країн, зацікавлених

у придбанні права на викиди, належать, зокрема, Сполучені Штати Америки. Право на викид 1 кг парникового газу коштує 100 дол США. Відтак, продаж права на викид 100 млн т парникових газів може дати Україні прибуток до 10 млрд дол США. Частину цих грошей можна використати на модернізацію об'єктів ПЕК, підвищення рівня екологічної й енергетичної безпеки України.

Важливість розглянутих вище проблем екологічної безпеки підтверджує той факт, що для комплексного наукового обґрунтування реалізації ядерної політики і заходів щодо екологічної безпеки в Україні створена Комісія з питань ядерної політики і екологічної безпеки при Президенті України (1997 р.). Основні завдання Комісії є такими:

- подавати Президенту, Раді з безпеки і оборони України пропозиції щодо формування та реалізації державної ядерної політики, забезпечення радіаційної й екологічної безпеки;
- брати участь у розробці проектів законів України, актів Президента України, загальнодержавних та інших програм з питань у межах своїх повноважень; вивчення й узагальнення вітчизняного і зарубіжного досвіду щодо розв'язання проблем, пов'язаних з ядерною, радіаційною та екологічною безпекою, використанням ядерної енергії; внесення пропозицій стосовно впровадження в Україні новітніх досягнень.

РОЗДІЛ 12

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ

12.1. Консалтингові схеми в енергетиці

Консалтингові схеми в енергетиці

■

Енергетичний аудит і методичні основи його проведення

■

Енергетичний менеджмент

■

Енергозбереження

Паливно-енергетичні кризи, яких зазнали країни Західної Європи на початку 70-х років XX ст., змусили суспільство переглянути своє ставлення до взаємодії процесів виробництва та використання енергії й довкілля. Було розроблено і вжито комплекс заходів, що мали за мету раціональніше використання енергії. Одним з основних державних заходів стало створення консалтингових схем.

Консалтингова схема – це система планомірних заходів, здійснюваних у якійсь спеціально обраній галузі. До таких заходів належать:

- створення консалтингових фірм, що надають споживачам енергії, розробникам, працівникам планово-економічного сек-

тора, експлуатаційному персоналові й керівникам підприємств послуги у сфері економії енергії;
- створення необхідного числа навчальних курсів і проведення занять зі слухачами різного рівня;
- розробка відповідних навчальних програм та ілюстративного матеріалу;
- проведення широкої інформаційної кампанії через засоби масової інформації, випуск друкованої продукції, що рекламує та пояснює саму ідею енергозбереження;
- висвітлення в пресі вдалих прикладів економії енергії, підготовка і публікація статей для фахівців у технічних журналах.

Створення і впровадження цілої низки консалтингових схем зумовили зміни на краще у сфері економії енергії країн Західної Європи. Так, загальне споживання енергії в Данії 1990 р. залишалося на рівні 1973 року, тимчасом як валовий національний продукт за цей самий час виріс на 40 %

Істинно такий підхід застосовують для побудови системи раціонального поєднання заходів щодо економії енергії та захисту довкілля. За основу беруть розважливе планування енергоспоживання, яке веде до того, що завдяки вдосконаленню технології та інфраструктури використовується прийнятна кількість енергії. Воно охоплює систему в цілому, включно з усіма етапами перетворення енергії – виробництвом, транспортуванням, розподілом і використанням її кінцевим споживачем.

В основі створення реалістичного плану дій для економії енергії лежить відповідне законодавство в галузі енергетики, а також наявність у суспільстві відповідних стандартів і норм. Щоб упровадити програму енергозбереження, треба провести попередній економічний аналіз, заснований на точних даних про дійсне споживання енергії, на прийнятній системі тарифів, інформації про окупність і т. ін.

Задля цього конче слід: скласти перелік і вибрати з нього першочергові заходи з оптимізації споживання енергії; ухвалити рішення щодо здійснення обраних заходів; оптимізувати роботу енергосистеми і вибрати енергетичний менеджмент; регулярно оцінювати результати й інформувати всіх зацікавлених про стан справ.

Мета цих дій – зберегти досягнутий рівень економії, оцінити результативність ужитих заходів і планувати подальшу економію. Інформацію потрібно систематично збирати з усіх частин енергосистеми, порівнювати з наявними базами даних, паралельно оновляючи їх. На всіх етапах має здійснюватися поточне інформування. Результатами оцінювання і зібраною інформацією мусить користуватися цілий розвій фахівців, зокрема у галузі енергетики, і кінцевих споживачів. Усе це сприяє накопиченню досвіду і поступовим змінам у ставленні різних соціальних груп до цієї проблеми. Процес є обопільним обміном думками з ключових питань: щодо методів економії енергії, удосконалення цінової політики, оцінки нової продукції, екологічних проблем енергетики та енергетичних аспектів екології.

Отже, консалтингові схеми – це практичний інструмент затвердження політики раціонального й екологічно чистого одержання і використання енергії, необхідна ланка між планом та отриманням результатів. Під раціональним використанням енергії мають на увазі вдосконалення технологій і цілий набір методів для їхнього оптимального впровадження та застосування.

Удосконалення енерготехнологій та енергозбереження в будь-якій країні залежить від ефективності такого енергетичного устаткування й систем, як-от:
- тепловиробні системи – ТЕС, ТЕЦ, опалювально-виробничі котельні, установки центрального опалення, котлоагрегати різного призначення, печі;
- системи розподілу тепла – підстанції, теплові мережі;
- теплоізоляція будівель, труб, резервуарів високотемпературного робочого тіла, теплообмінників;
- вентиляційне устаткування будівель різного призначення;
- обладнання для виробництва електроенергії – електростанції, турбомашини, вентиляційні агрегати;
- системи електропостачання;
- електроустановки, електроустаткування, прилади, що керують енергією та споживають її.

Взагалі ефективність використання енергії ґрунтується на заходах з удосконалення постачання енергії, її розподілу і споживання. Що ж до ресурсів, використаних на їхнє впроваджен-

ня, то важливо, аби схеми мали чітко окреслені межі. Роботу консалтингових схем треба координувати таким чином, щоб консультанти-фахівці з різних питань могли разом розв'язувати спільні проблеми, створюючи загальну базу знань, підвищуючи свою кваліфікацію та аналізуючи одержані результати.

Цікавим є вивчення досвіду й енергетичної політики держав Західної Європи, де велику увагу приділяють упровадженню нетрадиційних джерел енергії. Так, 2005 року приблизно 10 % від усієї виробленої енергії планується дістати за рахунок відновлюваних джерел енергії. Для того, щоб надати цій проблематиці економічної привабливості, уряди багатьох країн розробили спеціальну програму державних субсидій. Наприклад, держава покриває до 30 % ціни на вітрогенератор або сонячну нагрівальну установку. Створено спеціальну систему випробувань, апробації і тестування такого устаткування з видачею технічного паспорта. Чим нижча продуктивність установки, тим менше розмір субсидій. Таким чином, з ринку видаляють гірші зразки техніки, причому цей процес здійснюється за допомогою економічних важелів, якими управляє держава.

Країни ЄС ухвалили програму з поліпшення екологічної ситуації, пов'язану зі скороченням CO, CO_2, NO_x, наголосивши на посиленні норм щодо викидів цих речовин. Аби їх задовольнити, треба перейти до досконаліших технологій і зменшити споживання енергії. Цьому сприяють ефективні системи оподаткування, зокрема податок на викид CO_2, який робить украй невигідною експлуатацію енергетично неефективного устаткування.

Оскільки енергетична ефективність найтісніше пов'язана з екологією, то державі варто звести екологічну чистоту в ранг стратегічної мети, а енергетичну ефективність – у ранг засобу для досягнення цієї мети.

12.2. Енергетичний аудит і методичні основи його проведення

Кінцева мета підвищення енергетичної ефективності будь-якого виробництва (підприємства), – знизити рівень споживання енергії за умови зберігання обсягів виробництва з одночасним скороченням негативного впливу на довкілля. Для цього треба ухвалити відповідні рішення щодо стратегії використання різних ресурсів на підставі енергетичного аудиту й енергетичного менеджменту.

Проведення енергетичного аудиту – початкова фаза впровадження на підприємстві системи енергетичного менеджменту. Взагалі методика проведення аудиту не залежить ані від виду продукції, ні від застосовуваної технології, ні від форми організації досліджуваного виробництва (підприємства). В основу її покладено визначений стандартний (типовий) алгоритм, здатний забезпечити ефективну роботу аудитора, який має брати до уваги всі споживані види енергії з тим, щоб виробити пропозиції стосовно їхнього скорочення, а також щодо оптимізації структури енергоспоживання.

Загальні вимоги до генеральної стратегії енергетичного аудиту є такі:

- можливість її застосування для всіх типів виробництв і компаній;
- облік усіх видів енергії;
- сприяння зменшенню витрат часу на проведення аудиту завдяки максимальній стандартизації;
- можливість ідентифікації етапів для продовження роботи або її припинення;
- можливість її використання як бази для співпраці між аудиторами різних напрямів діяльності підприємства.

Структура генеральної стратегії проведення енергетичного аудиту (рис.12.1) включає чотири етапи.

Eman 1. Попередній контакт аудитора з керівництвом підприємства; ознайомлення з підприємством, основними вироб-

ничими процесами і технологічними лініями; укладання угоди з керівництвом підприємства про подальшу діяльність.

Етап 2. Упорядкування карти споживання енергії на підприємстві; ідентифікація можливості значної економії енергії. На цьому етапі збирають інформацію про енергоспоживання на окремих установках і процесах, виявляють можливості економії енергії. З цією метою ключові дані (наприклад, питомі енерговитрати) порівнюють із даними, відомими зі спеціальної літератури, інформацією про аналогічні виробництва. Усі виявлені можливості економії енергії вносять у перелік місць можливої економії, зазначаючи пріоритетність.

Рис.12.1. Схема проведення енергетичного аудиту

Етап 3. Оцінка економії енергії та економічних переваг від упровадження різних можливих заходів; вибір конкретної програми енергозбереження для першочергового впровадження; підготовка ключових технічних і економічних даних; надання керівництву підприємства звіту про енергетичний аудит; ухвалення рішення про проведення (непроведення) подальшої роботи з енергозбереження й укладання угоди про подальшу діяльність.

Етап 4. Упровадження програми енергозбереження; запуск системи енергетичного менеджменту; продовження діяльності щодо ефективності енергозбереження, вивчення досягнутих результатів і т.ін.

Таким чином, *енергетичний аудит* – це технічне інспектування підприємств (виробництв) з погляду їх енергоспоживання з метою визначити можливу економію енергії та допомогти підприємству (виробництву) в економії енергії на практиці завдяки механізмам енергетичної ефективності, а також з метою впровадити на підприємстві енергетичний менеджмент.

Як показує світовий досвід, здійснення економічно обґрунтованої енергоощадної політики у використанні паливно-енергетичних ресурсів є одним з найважливіших завдань підприємств у ринкових умовах. Це сприяло поширенню в країнах з розвиненою ринковою економікою практики проведення енергетичного аудиту і підвищенню ефективності використання енергоресурсів. У ряді країн енергетичний аудит слугує підставою для ухвалення рішень банків про надання кредитів підприємствам.

Нормативно-правові підстави енергетичних обстежень. В Україні поняття про енергетичні обстеження на нормативно-методичному рівні введено Указом Президента і відповідними наказами Державного комітету з енергозбереження ("Держком енергозбереження"). Якщо енергетичне інспектування треба здійснити в бюджетній сфері, то, відповідно до документів, його проводять спеціалізовані організації, що пройшли обов'язкову попередню атестацію у Державному комітеті з енергозбереження. Визначено порядок подання, оформлення, видачі й продовження терміну дії документів на право проводити енергетичні обстеження, єдину форму свідоцтва на право їх проведення, а також нормативні і правові вимоги щодо отримання такого права.

В Україні існує розлога мережа спеціалізованих організацій з проведення енергетичних обстежень, які розробили і вжили енергоощадні заходи на тисячах об'єктів бюджетної сфери. Установлено послідовність, правила організації та проведення енергетичних обстежень бюджетних установ, організацій і казенних підприємств з метою визначити ефективність використання енергоносіїв і доцільність ужитку енергоощадних заходів.

Для реалізації стратегії планування прийнято такий порядок проведення енергетичного обстеження:

1. *Збирання документальної інформації.* Його розділяють на два етапи. На першому етапі безпосередньо на підприємстві визначають основні характеристики: загальні відомості, організаційну структуру, перелік головних підрозділів; складають графіки щомісячних обсягів споживання енергоресурсів і баланс енергоспоживання у структурних підрозділах; ураховують ціни на енергоресурси; оцінюють фінансовий стан підприємства. На другому етапі проводять аналіз одержаних даних, готують узагальнену карту енергоспоживання щодо окремих підрозділів та основних енергоємних технологічних процесів. Заздалегідь оцінюють потенціал енергозбереження, визначають перелік даних, які необхідно дістати через інструментальне обстеження енерговикористовуваного устаткування.

2. *Інструментальне обстеження.* Його проводять з метою відтворення інформації, недостатньої для оцінки ефективності енерговикористання, або якщо виникли сумніви щодо достовірності наданої інформації. При цьому застосовують стаціонарні або переносні спеціалізовані прилади та максимально використовують наявні на підприємстві системи обліку енергоресурсів.

3. *Обробка й аналіз одержаної інформації.* Вся інформація, одержана із заздалегідь поданих інформаційних документів і в результаті інструментального обстеження, є вихідною для аналізу ефективності енерговикористання. Під час аналізу вирішують такі завдання:

- визначають склад об'єктів, заради яких оцінюють чинники, що впливають на споживання енергії та розробку енергоощадних заходів, а також чинники, що впливають на споживання енергії;

- обчислюють фактичне питоме енергоспоживання енергоносіїв з урахуванням обсягів випуску продукції і порівнюють його з нормативними значеннями, після чого роблять висновок про ефективність енергоспоживання;
- окреслюють прямі витрати енергоносіїв за рахунок витоків, недовантаження, втрат, простоїв, неправильної експлуатації, невідповідності потрібним технологічним параметрам;
- ухвалюють рішення про проведення (непроведення) подальшого аудиту і дають рекомендації стосовно енергозбереження.

Розробка рекомендацій щодо енергозбереження включає в себе:

- розрахунок потенційної річної економії енергоресурсів і визначення обсягів заощаджених засобів;
- визначення технічних засобів для реалізації пропонованих заходів щодо енергозбереження, а також потрібного оснащення, оцінка його вартості;
- обчислення фінансових витрат на реалізацію енергоощадних проектів і термінів їхньої окупності.

Оцінивши економічну ефективність, усі рекомендації класифікують за трьома критеріями:

1) безвитратні і маловитратні, що їх підприємства можуть виконувати самостійно у процесі поточної діяльності;

2) середньовитратні, що їх підприємства виконують, як правило, власним коштом;

3) високовитратні, що потребують додаткових інвестицій і виконуються з їх залученням.

По завершенню аналізу формують кінцевий перелік енергоощадних заходів, який для подальшої реалізації подається на розгляд керівництву підприємства.

4. *Оформлення звіту про проведення енергетичного обстеження.* Він має містити описову й аналітичну частини. В описовій частині надається інформація щодо енергоспоживання обстежуваного підприємства і його характеристика. В аналітичній частині проводиться аналіз технічних і фінансово-економічних аспектів ефективності енерговикористання; описуються пропоновані енергоощадні заходи й порядок їхнього вжитку; перелік необхідного устаткування, розрахунок економії та терміну окупності проектів.

Коли треба, звіт може містити додатки, в яких наведено детальні розрахунки, технічні характеристики оснащення й інші довідково-інформаційні матеріали.

Аналіз типових помилок під час проведення енергетичних обстежень грунтується на певних принципах:

- реалізація енергозберігаючих проектів не має на меті впровадити нове устаткування за будь-яку ціну. Головне правило: підприємство має облишити думку про інвестиції у високі технології, якщо вповні не реалізовано всі можливості щодо підвищення енергоефективності наявного устаткування.
- варто більше уваги приділяти аналізу загального стану підприємства, його фінансової стабільності, можливості впровадження енергоощадних проектів;
- споживання енергоносіїв необхідно аналізувати по всіх видах, зважити на їх вартість і на обсяги реалізації продукції, на стан розрахунків за енергоносії. Особливу увагу треба звертати на джерела енергопостачання і можливість їхньої верифікації.

Готуючись до енергоощадних заходів, потрібно: проводити їхній аналіз з урахуванням фактичного завантаження технологічного оснащення, реального фінансового стану підприємства й перспектив збільшення випуску продукції; підтверджувати пропозиції розрахунками щодо економії енергоресурсів і термінів окупності на підставі реально існуючих цін на енергоносії та впроваджуване устаткування.

Важливо також проаналізувати можливість скорочення негативної дії обстежуваного підприємства на довкілля за рахунок енергоощадних заходів.

12.3. Енергетичний менеджмент

Енергетичний менеджмент (ЕМ) вірогідно є інструмент, який створює можливість скоротити споживання енергії, підвищити ефективність її використання, а також знизити негативний вплив енергетики на довкілля. Він дає змогу

одержати докладну картину споживання енергії, дійсно оцінити проекти економії енергії та планованих заходів щодо енергозбереження на певному підприємстві (виробництві). Енергетичний менеджмент — це система керування енергоспоживанням на підприємстві, яка спирається на проведення типових вимірювань і перевірок та забезпечує таку роботу підприємства, коли споживається тільки цілком потрібна (теоретично) для виробництва кількість енергії.

Основні обов'язки енергоменеджера такі:

- участь у впорядкуванні карти споживання енергії на підприємстві;
- збір даних про споживання ПЕР з використанням лічильників і контрольно-вимірювальної апаратури;
- упорядкування плану установки додаткових лічильників і контрольно-вимірювальної апаратури;
- збір даних про потоки сировини, ПЕР і готову продукцію;
- розробка пропозицій щодо підвищення ефективності використання енергії загалом і на окремих виробництвах;
- локалізація і впровадження заходів для економії енергії, що не потребують інвестицій або які можна реалізувати завдяки мінімальним інвестиціям;
- локалізація, оцінка і визначення пріоритетності заходів з економії енергії, що потребують вагоміших інвестицій;
- упорядкування схеми аварійного зупинення устаткування і варіантів енергопостачання на випадок аварійного припинення зовнішньої подачі енергії тощо;
- інформування персоналу підприємства про діяльність щодо енергетичного менеджменту;
- упровадження нових технологій на існуючих і нових енергосистемах для підвищення енергоефективності виробництва;
- участь у підготовці виробничого плану і стратегії енергоспоживання на підприємстві.

Перелік обов'язків енергетичного менеджера досить широкий і потребує від нього різнобічних і глибоких знань. Він має володіти:

- інженерною освітою у галузі енергетики;
- досвідом керування виробництвом і робочими групами;

- досвідом керівництва проектами;
- організаційними здібностями;
- здатністю переконувати людей і розуміти мотивацію їхніх вчинків;
- розбиратися в політиці своєї країни стосовно енергетики;
- знати потреби і вимоги властей;
- знати рішення місцевої влади, що стосуються цього виробництва, екології, споживання енергії тощо;
- знати фірми і виробництва, торгові організації й поставників;
- добре розуміти концепцію енергетичного менеджменту та енергетичної ефективності;
- знати економічні принципи розробки бюджету підприємства і методи розробки бізнес-планів у галузі енергетичної ефективності.

Систему енергетичного менеджменту можна розглядати як сукупність таких етапів:

Перший етап – це запуск системи. Початок упровадження системи енергетичного менеджменту може покласти енергетичний аудит, який дасть уявлення про ситуацію в енергопостачанні підприємства.

Другий етап – аналіз і порівняння реальних рівнів споживання з ключовими цифрами з літератури, інших підприємств тощо.

Третій етап – визначення стану й обрання пріоритетів у виконанні проектів із заощадження енергії.

На *четвертому етапі* на підставі аналізу проробляють бюджет виконання обраних проектів. Цей бюджет будують на вже відомих цифрах питомого споживання енергії на підприємстві.

П'ятий етап – це контроль за споживанням енергоносіїв, рівень якого має не перевищувати того, що зазначений у бюджеті. На цьому етапі іноді вдається виявити додаткових несподіваних споживачів енергії і провести аналіз причин, з яких вони виникають.

На цьому перший цикл замикається. Наступний починають із тієї самої процедури – знов і знов. Такі системи енергетичного аудиту та енергетичного менеджменту працюють на більшості підприємств, які випускають конкурентоспроможну продукцію в країнах ЄС.

Отже, у процесі впровадження енергетичного менеджменту (рис.12.2) треба: визначити потоки матеріалів та енергії в різних виробничих процесах, а також створити карту споживання енергії в основних виробничих процесах підприємства й у різних допоміжних установках і системах.

Доцільно починати з найголовніших і найбільш енергоємних виробничих процесів підприємства. Потім можна перейти до виготовлення детальної карти всіх виробничих процесів і споживання енергії в них. Вимірюючи потоки енергії, створюючи карту споживання енергії, визначаючи можливості економії енергії на різних установках, а також розробляючи методики впровадження енергетичного менеджменту, можна скористатися допомогою внутрішнього енергетичного аудитора.

Рис.12.2. Циклічність енергетичного менеджменту

Найефективніше використання енергії пов'язане з такими основними показниками:

- високим рівнем використання загального виробництва (якщо обсяг виробництва, скажімо, 50 % від максимального (проектного) рівня, то досить складно домогтися високої ефективності використання енергії);
- раціональним добором типу енергоносіїв для основних енергоємних виробництв;
- вихідною якістю сировини;

- ефективністю роботи окремих установок і систем взагалі (котлів, агрегатів та ін.);
- низьким рівнем утрат у системах розподілу енергії (пари, стисненого повітря, електроенергії).

Головну увагу треба приділяти найенергоємнішим виробничим системам. До них передусім належать такі типові системи як ТЕС, котельні установки, сушильне устаткування, устаткування подачі тепла для виробничих потреб, системи опалення і водопостачання, системи вентиляції та кондиціювання повітря, холодильні установки, системи освітлення, системи подачі стисненого повітря, насоси та ін. Вони, як правило, характеризуються такими показниками: високими або низькими температурами (порівнянно з температурою навколишнього повітря); інтенсивністю виробництва; високим рівнем споживання робочого тепла (пари, води, газу, стисненого повітря).

Узагальнення елементів будь-якої виробничої системи, що її розглядають у процесі впровадження енергетичного менеджменту, представлено на рис.12.3. Методика визначення можливостей економії енергії, насамперед тих, які потребують мінімальних витрат чи взагалі не потребують їх, полягає в оцінці навантаження або його втрати з подальшою оцінкою мережі розподілу. Внесення технічних змін безпосередньо в саму систему часто потребує значних інвестицій. Рис.12.3. окреслює загальний підхід до будь-якої технічної системи, що розглядається з метою знизити споживання енергії. Дійсно, кожну систему можна поділити на три основні складові: власне система (турбіна, котел, компресор тощо); система передачі (транспорту) енергії або робочого тіла (мережі) й сама енергія (робоче тіло, навантаження).

Утрати енергії відбуваються у всіх компонентах системи, але вартість їхнього усунення різна. Тому, аналізуючи в процесі енергетичного менеджменту можливості енергозбереження, треба підходити до таких систем комплексно. Зазвичай, розгляд доцільно починати з кінця системи (процесу): саме тут (у навантаженні) найчастіше криються найдешевші і швидко реалізовані можливості енергозбереження.

Отже, енергетичний менеджмент – це інструмент управління виробництвом (підприємством), який забезпечує повсякчасне

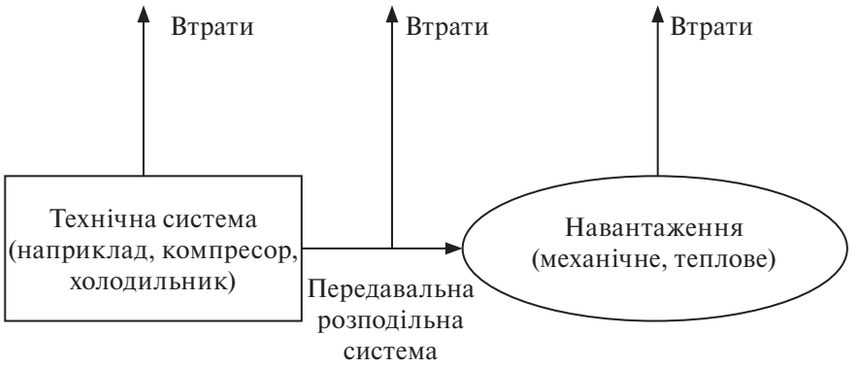


Рис.12.3. Елементи виробничої системи енергоспоживання

дослідження і, відтак, надає знання про розподіл і рівні споживання енергоресурсів, а також про їхнє оптимальне використання для виробничих, комунально-побутових та інших потреб.

12.4. Енергозбереження

Розглянуті вище заходи – енергетичний аудит і менеджмент – спрямовані на підвищення ефективності виробництва і споживання енергії, тісно пов'язані із загальними організаційними заходами щодо енергозбереження, які вживають багато розвинених держав світу. До них перш за все належать такі заходи: розробка законодавства і стандартів стосовно енергозбереження; упровадження обліку й контролю споживання енергоресурсів на всіх рівнях (від індивідуального споживача до регіону, галузі та держави взагалі); перегляд цін і тарифів на енергоресурси; застосування державного нагляду за їхнім споживанням; скасування дотацій на споживання енергії та палива; визначення і підтримка оптимальних параметрів технологічних процесів; штрафи й податки за викиди в довкілля шкідливих речовин, що утворюються в процесі згорання; пільги на податки і кредити за впровадження енерго- й ресурсоощад-

них технологій, техніки, матеріалів; дотації населенню і підприємствам, які застосовують енергоощадну техніку, технології, матеріали, та екологічно чисті енергоустановки та пристрої.

Як показує досвід передових країн, ці заходи дають змогу протягом 3—4 років без істотних фінансових витрат скоротити споживання ПЕР на 12—18 % від їхнього початкового споживання, а впродовж подальших 10 років – ще на 15—20 %. Утім, проблему енергозбереження не можна розв'язати одними лише організаційними заходами – потрібні також значні капіталовкладення, удосконалення енерготехнічних технологій.

Слід пам'ятати, що витрати на питомі капіталовкладення, пов'язані з економією 1 кВт енергії, є в 3—4 рази меншими, ніж витрати на виробництво 1 кВт установленої потужності. Цим визначається пріоритет розвитку енергозбереження порівняно з модернізацією енергетики.

Основний потенціал енергозбереження зосереджений в галузях економіки, де енергоресурсів споживають найбільше, – в енергетиці, металургії, хімічній і нафтохімічній промисловості, у виробництві будівельних матеріалів, машинобудуванні. Тож, основні заходи щодо енергозбереження треба вжити насамперед саме в цих галузях.

До найважливіших і першочергових заходів належать:

- удосконалення структури сталеплавильного виробництва за рахунок скорочення частини мартенівської виплавки сталі та збільшення киснево-конверторної (коефіцієнт корисного використання палива зростає в 2,5—3 рази);
- модернізація та оптимізація процесів регенерації металобрухту чорних металів і виплавки чавуну і сталі;
- упровадження безперервного розливання рідкої сталі в злитки на рівні, що його досягли розвинені країни (80—100 %);
- підвищення якості сталі за рахунок широкого впровадження процесів вакуумування;
- оптимізація споживання металошихти, включаючи металобрухт, у процесі виплавки первинних і вторинних сплавів (економія на 1 т сплавів – 300 кг коксу і 100 кг металу);
- збільшення частки виробництва й використання деталей з високоміцного чавуну і пластмас;

- оптимізація використання в машинобудуванні конструкційних і функціональних матеріалів із застосуванням систем автоматизованого проектування та вимог функціонально-вартісного аналізу (зменшення енерго- й металоємності устаткування);
- оптимізація технологічних процесів виробництва, упровадження систем автоматичного контролю і регулювання їхніх параметрів;
- широке застосування корозієтривкого покриття сталевого прокату, включно з аморфними металевими покриттями і сплавами для електротехнічних виробів (скорочення витрат електроенергії в 1,5—2 рази);
- випуск сучасних енергоекономічних люмінесцентних ламп (зменшення споживання електроенергії в 5 разів, зростання терміну експлуатації у 8 разів);
- створення стимулів для повторного використання неспрацьованих деталей у машинобудуванні (можливо на третину скоротити споживання литва і прокату);
- оснащення електродвигунів перетворювачами приводів для економного споживання електроенергії за умов зменшення навантаження (економія електроенергії – 20—30 %);
- оптимізація теплопостачання і гарячого водопостачання міст за рахунок використання теплових помп (насосів) для видобутку теплової енергії з вторинних енергоресурсів (теплових викидів промисловості й енергетики) і природного середовища (води озер, річок, морів; ґрунту; повітря).

Кожний із цих заходів може забезпечити річну економію ПЕР в обсягах, що дорівнюють 20...90 млрд кВт·г.

Особливо слід зупинитися на енергозбереженні в галузі стаціонарної енергетики. Сучасна структура енергетики, зокрема України, не є оптимальною. Середній ККД-брутто багатьох конденсаційних електричних станцій становить 34—38 %. З урахуванням витрат електроенергії на власні потреби (робота насосів, дроблення вугілля та ін.), ККД-нетто можна оцінити на рівні 30—34 %. Якщо ще додати втрати на трансформацію і передачу електроенергії (6...16 %), то для окремих віддалених споживачів КЕС працюють із ККД 22...26 %. Решта енергії первинних енергоносіїв розсіюється у довкіллі.

Інакше йдуть справи під час комбінованого вироблення електричної й теплової енергії – когенерацій енергії на ТЕЦ. У цьому випадку ККД-брутто становить 75–85 %. Оскільки ці енергооб'єкти (передовсім ТЕЦ), як правило, не передають вироблену ними електроенергію на далекі відстані, то їх ККД-нетто залишається на рівні 74–80 %, тобто в 3–3,5 раза вище, ніж для великих конденсаційних КЕС і ГРЕС.

Перевага ГРЕС над ТЕЦ полягає в тому, що ці електростанції є потужнішими, завдяки концентрації виробництва експлуатаційні витрати і, зрештою, тарифи на електроенергію нижчі. Проте, зі зростанням цін на паливо, ситуація змінюватиметься на користь ТЕЦ. Енергетики Західної Європи гадають, що частка електроенергії, виробленої ТЕЦ, у загальному балансі має становити близько 50 %. В Україні вона поки що не перевищує 7 %, тоді як у Фінляндії 1997 року дорівнювала 34 % від загальної встановленої потужності. У муніципальній енергетиці Фінляндії пай комбінованого виробництва енергії постає майже найбільшим у світі – 76 %.

Як бачимо, структура ПЕК України взагалі потребує змін з урахуванням умов, що склалися на енергетичному ринку, і світового досвіду. Очевидно, треба зупинити будівництво електростанцій великої потужності, збільшити число ТЕЦ, розвивати децентралізоване енергопостачання. Щоб реалізувати цей напрям структурної перебудови, енергокомплексу потрібна модернізація (реконструкція) невеликих ТЕС і ТЕЦ там, де це можливо, а також в енергоємних технологічних процесах різних підприємств, зокрема металургійних, хімічних, у виробництві будівельних матеріалів і конструкцій.

Переваги комунальної та децентралізованої енергетики полягають ще й у тому, що на будівництво енергооб'єктів потрібні менші капіталовкладення. Необхідно враховувати, що оптимальне співвідношення централізованої та децентралізованої енергетики, яке визначають на підставі докладного аналізу поточних техніко-економічних показників енергооб'єктів, із часом змінюється.

Вагомим потенціалом енергозбереження наділено комунально-побутовий і житловий сектор, на частку якого припадає

близько 30 % споживаної енергії. Відтак, на особливу увагу заслуговує питання про розміщення об'єктів комунальної та децентралізованої енергетики. Треба зважити на те, що найбільші втрати виробленої електроенергії мають регіони, віддалені від ТЕС й АЕС на значні відстані. Йдеться, зокрема і про села України, до яких прокладено ЛЕП невисокої напруги (6, 10 кВ). Як показують розрахунки американських фахівців, передача електроенергії напругою 11 кВ на відстань більше 5 км, виходячи із чинних тарифів, є збитковою через високі питомі й абсолютні втрати енергії. Тому для спорудження сільських енергооб'єктів можна рекомендувати малі (міні- й мікро-) ГЕС, вітроелектричні установки, малі ТЕЦ на базі газотурбінних і дизельних електростанцій з використанням місцевих видів палива (біомаси, біогазу, генераторного газу та ін.).

Взагалі, під енергопостачанням слід розуміти ефективне використання енергії на кожному етапі її виробництва і перетворення. У попередніх розділах зазначені питання ми розглянули в тісному взаємному зв'язку з кінцевою енергоефективністю і впливом на природне довкілля. Таке завдання, складне в науковому, технічному й соціальному плані, пов'язане із взаємозамінністю різних видів енергії, ефективністю і великою кількістю процесів перетворення, складністю їх фізичної реалізації й математичного моделювання і, нарешті, з різноманіттям і глобальним характером екологічних проблем, породжуваних енергетикою та енергопостачанням.

Дослідження у галузі ефективного перетворення енергії охоплюють широке коло проблем, можливо, навіть ширше, ніж сама наука енергетика. Базові теплоенергетичні процеси характеризуються поступовим зменшенням енергетичного потенціалу робочого тіла. Справа полягає не тільки в підвищенні цього потенціалу через збільшення кількості енергії, яку можна перетворити на роботу, а й у створенні процесів перетворення енергії з мінімальними тепловими втратами, можливістю подальшого корисного використання низькопотенційної теплової енергії в інших процесах і, зрештою, з максимальним зниженням негативного впливу енергетики на довкілля.

З урахуванням екологічної кризи, дефіциту ПЕР, насамперед газу, мазуту і ядерного палива, одним зі стратегічних напрямів створення незалежного, безпечного й надійного ПЕК будь-якої країни, зокрема й України, є прискорений розвиток екологічно чистої енергетики. Це передбачає широкомасштабне використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії. Аналіз стану економіки, географічних, геологічних, кліматологічних та інших даних свідчить, що в багатьох країнах можна широко використовувати ті чи інші нетрадиційні й відновлювані джерела енергії, включно з вторинними енергоресурсами.

РОЗДІЛ 13

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

13.1. Комунальні енергопідприємства ЖКГ – складова частина малої енергетики

Комунальні енергопідприємства ЖКГ – складова частина малої енергетики

▪

Концептуальні положення розвитку комунальної енергетики України

▪

Концептуальні положення і головні напрями енерго- та ресурсозбереження в ЖКГ

Комунальні підприємства теплових мереж містять у собі опалювальні й опалювально-виробничі котельні, побутові енергоустановки, призначені для обслуговування окремих (кількох) будинків і споруд, котеджів, приватних садиб тощо. Усі ці енергогенерувальні джерела мають ознаки окремої (єдиної) галузі зі своєю продукцією у вигляді теплової енергії, зі своїми потребами в паливі, устаткуванні, матеріалах, інвестиціях і належать до тієї частини паливно-енергетичного комплексу України, що її називають малою чи комунальною енергетикою.

Як відомо, мала енергетика є найбільш паливоємною галуззю в ПЕК країни, об'єкти якої (з урахуванням металургійного комплексу) витрачають понад 60 % річного палив-

ного фонду України. Тому, перш ніж переходити до питань подальшого розвитку й удосконалювання підприємств системи теплопостачання, що є невід'ємною складовою частиною малої енергетики України, необхідно зупинитися на їхній загальній характеристиці.

На сучасному етапі розвитку ПЕК України мала енергетика відрізняється такими основними показниками:

- значним споживанням дефіцитних для України видів палива: газу і мазуту (близько 60 % від загальної кількості палива, споживаного ПЕК України, зокрема твердого);
- низьким технічним рівнем і високим ступенем спрацювання устаткування (значна частина устаткування малої енергетики має ступінь спрацювання – 80 % і більш; ККД морально застарілого устаткування, особливо малих котелень, часто не перевищує 70 %, а це викликає перевитрату дефіцитного органічного палива);
- істотним екологічним навантаженням;
- відомчою роз'єднаністю об'єктів і систем, що перешкоджає проведенню єдиної технічної політики;
- відсутністю налагодженої системи нормального функціонування і розширеного відтворення основних фондів малої енергетики (наприклад, заводи України здатні забезпечити не більш 20 % від потреби галузі в устаткуванні; у середньому лише 20 % від загальної кількості котлоагрегатів обладнані пристроями, що вловлюють пил, ступінь уловлювання газоподібних викидів становить < 40 %);
- практичною відсутністю добре налагодженої системи обліку тепло- й енерго — споживання насамперед, індивідуальними споживачами;
- браком системи споживання енергії за багатоставочними тарифами;
- незадовільним станом теплових мереж (як наслідок – істотні втрати тепла і перевитрата палива; значна частина трубопроводів теплових мереж потребує заміни внаслідок корозії);
- прийняті для централізованого теплопостачання з великою довжиною теплових мереж високотемпературні графіки теплоносіїв (150 –70°С, 130 –70°С та навіть 115 –70°С, 95 –70°С)

з обліком недостатньої і неякісної ізоляції також сприяють великим тепловим утратам у трасах теплових мереж;
- відсутністю виробництва високоякісного устаткування, що вловлює пил із продуктів згорання різних видів палива котельних агрегатів.

Водночас слід зазначити, що заводи України освоїли виробництво водогрійних котлоагрегатів потужністю 0,25—3,15 МВт, які відповідають світовим стандартам як за ККД, так і за екологічними характеристиками. Розроблено й освоєно виробництво ефективного теплоутилізаційного устаткування, що дає змогу нагрівати воду і повітря за рахунок глибокого охолодження продуктів згорання газоподібного палива з використанням теплоти конденсації водяних пар у відхідних газах.

Мала енергетика України сформувалася в умовах монопольного розвитку централізованого теплопостачання з усіма його вадами. Ось деякі з них: незадовільний стан теплових мереж; затримка розвитку технологій теплофікації та когенерації; практична відсутність сучасних систем контролю, обліку і керування теплопостачанням; дефіцит органічного палива; потреба в максимальному використанні його теплоти; необхідність розв'язання екологічних проблем; високий ступінь зношеності енергетичних потужностей, основного й допоміжного теплоенергетичного устаткування.

В цих умовах потрібно переглянути концепцію централізованого теплопостачання як єдино слушного напрямку розвитку теплоенергетики, а відтак – створити спеціальну, державну програму, підкріплену серйозною матеріальною базою.

Основні узагальнені напрямки підвищення ефективності систем централізованого теплопостачання проілюстровані на рис.13.1. Наведена схема, що враховує історично сформовану в Україні інфраструктуру теплопостачання, спрямована на підвищення ефективності централізованого теплопостачання при комбінованому виробленні теплової й електричної енергії (теплофікації та когенерації)[46].

Не зупиняючись на детальній характеристиці наведених вище напрямків (рис.13.1), зазначмо лише головні складові їх реалізації, що мають безпосередній стосунок до комунальної

Рис.13.1. Основні напрямки підвищення ефективності систем теплопостачання

енергетики і випливають з її стану на певному етапі. До них належать:

- розробка технічних і технологічних рішень, що забезпечують підвищення ефективності, надійності й відповідності екологічним нормам устаткування, яке нині перебуває в експлуатації;
- перехід на переважне спалювання вугілля (у районах його видобутку), мазуту (у зонах, близьких до розміщення нафтопереробних заводів), з використанням комплексу ефективних споруд, що вловлюють пил;
- зниження енергоспоживання в різних сферах споживання з установкою приладів для обліку витрат тепла;
- розгляд питань оптимальної децентралізації теплопостачання;
- перехід на спалювання низькосортного, дешевого палива, сміття, соломи, деревних відходів (з відповідними інвестиціями в підготовку палива, ефективне спалювання, у пилой газоочищення тощо.);
- розробка децентралізованих систем тепло-і електропостачання, зокрема з використанням міні-ТЕЦ і принципів когенерації;
- максимальне використання теплоти відхідних газів, газоспоживаючих котлоагрегатів з використанням теплоти конденсації водяної пари (конденсаційних котлоагрегатів і конденсаційних приставок);
- використання низькотемпературного опалення в нових забудовах з утепленими обгороджувальними конструкціями;
- будівництво цілком автоматизованих котлоагрегатів;
- упровадження сучасних методів контролю й автоматизації теплових процесів.

13.2. Концептуальні положення розвитку комунальної енергетики України

Загальні питання. Концепція розвитку комунальної енергетики України не може розглядатися окремо від сформованої структури й тенденцій розвитку енергопостачання в цілому, а також від загального стану її паливно-енергетичних ресурсів і напрямків розвитку паливно-енергетичного комплексу [13, 33, 46].

Інтенсивне нарощування енергетичних ресурсів за низької ефективності використання спричинило кризове відставання паливно-енергетичних галузей та їхньої інфраструктури в країнах СНД узагалі і України зокрема. Результатом такої політики стала криза енергетики взагалі, її занепад, зменшення інвестицій в усі галузі енергетики і, як наслідок, різке скорочення видобутку первинних енергоресурсів, підвищення цін на них до світового рівня.

Якщо в перші роки існування СРСР Україна була цілком забезпечена власними ПЕР, то на початок перебудови доступність і ефективність їхнього видобутку зумовили їхній дефіцит. Окрім того, якісний склад ПЕР України не найкращий. Насамперед це стосується органічного палива. Так, Україна має достатні запаси вугілля, проте вони низької якості й глибокого залягання. Вугільна промисловість має застаріле устаткування для видобутку і переробки, запаси нафти й газу вкрай малі. Таким чином, Україна потерпає від дефіциту власних паливних ресурсів.

У зв'язку з цим енергетична програма України, з огляду на енергетичні потреби суспільства, спирається передовсім на енергозбереження. Останнє зумовлено тим, що на виробництво одиниці внутрішнього національного продукту Україна витрачає в 10 разів більше енергоресурсів, аніж високорозвинені країни "сімки", у 7 разів більше, ніж країни Західної Європи, і в 2—3 рази більше, ніж кожна з країн колишнього Радянського Союзу. Виходячи з цього, діяльність зі зниження витрат енергоресурсів держава включила до числа стратегічних заходів.

У таких умовах, з обліком нового соціально-політичного устрою, економічного становища країни і прийнятого курсу інтеґрації у світову економічну систему, необхідно відмовитися, як це зробили інші держави, від енергетичних концепцій і програм, що безпосередньо визначають тільки обсяги виробництва первинних та вторинних енергоресурсів, і ставати на шлях контрольованого енергетичного ринку.

Досвід проходження цього етапу іншими країнами показує, що всі вони йдуть своїм шляхом, але обов'язково враховують умови, що склалися в енергетиці на сучасному рівні. Разом з тим, існують і загальні тенденції вирішення виниклих завдань, які свідчать про те, що в умовах перехідного періоду до ринку жодна країна не покладалася тільки на ринкову енергетику. Реґулювання енергопостачання, енергоспоживання і, головне, енергозбереження завжди було однією з головних проблем державної політики.

Найважливішими тут є такі аспекти.

Нормативно-законодавча база. Аналіз закордонного досвіду дає змогу дійти висновку, що порушені питання має чітко реґулювати держава, спеціальні закони і нормативні акти. До ділянки муніципальної енергетики й енергопостачання потрібно зарахувати першочергові нормативні акти, як-от:

- створення Комітету з енергозбереження і Єдиної енергетичної інспекції;
- енергетичні стандарти й енергетичні нормативи;
- ціни на різні види енергії;
- незалежна енергетична експертиза;
- взаємна відповідальність виробників і споживачів паливно-енергетичних ресурсів і енергоощадного устаткування;
- податкові пільги і кредитна політика у процесі виробництва й експлуатації енергоощадного устаткування і технологій; позабюджетні фонди енергозбереження;
- податки на неефективне використання ТЕР та ін.

Уведення в дію таких законів і нормативних актів дасть змогу включити економічні, правові й адміністративні важелі, спрямовані на стимулювання економічного використання паливно-енергетичних ресурсів, і тим самим сприяти зниженню

енергоємності валового продукту України, забезпеченню безперебійного і якісного енергопостачання житлової, комунально-побутової та виробничої сфери.

Організаційні заходи. Необхідно вжити організаційних заходів, що не потребують значних інвестицій. Тільки оптимізація вибору виду палива для існуючих типів енергоустановок і їхнє використання можуть забезпечити близько 10 % економії палива. За рахунок ощадливого й обґрунтованого добору матеріалів для транспортних машин і механізмів, економії матеріальних ресурсів можна ще зберегти не менше 10 % палива.

Важливим чинником може стати реконструкція діючих виробництв за умови радикального підвищення їхньої енергетичної ефективності. На першому етапі потрібно якнайшвидше реалізувати резерви виробництва й економії енергетичних ресурсів, використовуючи нову вітчизняну і закордонну техніку. Це тісно пов'язано з оснащенням споживачів усіх рівнів приладами обліку та контролю за енергоресурсами, проведенням експертиз енергетичної ефективності підприємств.

Структурна перебудова. Головним резервом виробництва й економії енергії та палива, особливо в перспективі, є структурна перебудова економіки. В її основу покладено Національну енергетичну стратегію України, що дає змогу робити моніторинг енергетики. Політика структурної перебудови має, насамперед, бути спрямована на існуючі міжгалузеві і внутрішньогалузеві зміни в економіці шляхом згортання збиткових малоефективних енергоємних виробництв (у чорній металургії, електроенергетиці, вугільній, хімічній промисловості, будівельній індустрії та комунально-побутовій сфері) і заохоченні прискореного розвитку дефіцитних неенергоємних і наукомістких виробництв, створення високих технологій. У зв'язку з тим, що половиною потенціалу енергозбереження володіє промисловість, а третиною – комунальне господарство, їхня структурна перебудова має бути спрямована саме на звільнення цього потенціалу.

Енергозбереження і довкілля. Енергозбереження розглядають як загальну концептуальну лінію, що стримує зростання споживання енергоресурсів, забезпечує енергетичну незалежність країни. З іншого боку, саме енергозбереження лежить в основі

політики захисту природного середовища за рахунок зниження техногенного навантаження на біосферу не тільки споживачів енергії всіх рівнів, а й її виробників. Паливо, тепло й електроенергія, що заощаджуються, дають екологічний, економічний ефект на всіх енергетичних стадіях, пов'язаних з виробництвом, збагаченням, переробкою, транспортуванням палива, а також з виробництвом і передачею споживачеві теплової та електричної енергії. Визначення кількісних характеристик цього ефекту для України – одне із завдань, що потребують невідкладного вирішення, якщо враховувати неблагополучний стан природного середовища в регіонах країни.

Таким чином, сучасний стан енергетики в Україні свідчить, що енергозбереження тепер і в найближчому майбутньому залишиться одним з основних паливних ресурсів, що мають переваги над усіма іншими (такими, як мазут, газ, нафта, вугілля й ін.). І все це при витратах у 3 рази менших, аніж витрати на нарощування виробництва ресурсів за їхньої потенційної наявності, тим більше, коли цих ресурсів просто немає. Це положення вимагає від нашого суспільства нового розуміння і ставлення до енергозбереження як до економічної категорії в усіх державних ланках життя.

Основні тенденції розвитку енергетики міст характеризуються такими напрямками:

- підвищення питомої витрати енергоресурсів на нестатки міського господарства;
- випереджальні темпи зростання енергоспоживання стосовно темпів збільшення споживання ТЕР у цілому;
- скорочення частки безпосереднього використання палива за рахунок підвищення ролі перетворених видів енергії в задоволенні енергетичних потреб міст;
- поліпшення екологічних показників виробництва енергії та енерговикористання; підвищення рівня газифікації і збільшення частки природного газу в паливно-енергетичному балансі міста;
- зростання концентрації споживання енергії у великих містах; сполучення переважно централізованого енергопостачання з децентралізованим, передовсім з теплопостачанням; подаль-

ший розвиток газопостачання міст шляхом удосконалювання структури і схеми розподільних мереж, підвищення їхніх параметрів, модернізації роботи міського господарства.

Загальна концепція розвитку енергопостачання України. Структуру енергопостачання міст формують споживачі енергії і процеси енерговикористання. До споживачів енергії належать житлові будинки, підприємства й установи комунально-побутового обслуговування, господарства і підприємства громадського харчування, зв'язку, заклада освіти, охорони здоров'я, культури, мистецтва, спорту, адміністративно-господарські установи, навчальні, наукові й інші громадські організації.

У міському комунальному господарстві споживання енергії забезпечують силові й теплові процеси (високо-, середньо- і низькотемпературні). Практично в усіх містах України склалася система централізованого електро- й теплопостачання на базі міських комунальних і районних електростанцій та котлових установок різного типу.

Концепція забезпечення і стабільного енергопостачання народного господарства України електричною і тепловою енергією за значного зменшення шкідливого впливу на природне довкілля в перспективі до 2010 року включає такі головні моменти:

- технічне переозброєння і реконструкція діючих електростанцій, опалювальних й опалювально-виробничих котлових, електричних і теплових мереж;
- освоєння нових технологій спалювання вугілля шляхом створення відповідного устаткування парогазових установок, окремо від внутрішньої газифікації;
- орієнтація на забезпечення енергетичним устаткуванням вітчизняного виробництва;
- подальший розвиток теплофікації і комбінованого вироблення теплової й електричної енергії на ТЕЦ;
- створення необхідних умов для повного і своєчасного забезпечення ТЕС українським вугіллям;
- розширення обсягів використання нетрадиційних і поновлюваних джерел енергії;
- уведення в дію енергоблоків АЕС високої та середньої готовності;

- створення в Україні повного ядерного паливно-енергетичного циклу;
- подальший розвиток гідроенергетики через освоєння гідроресурсів Західної України і модернізації малих ГЕС, а також будівництва ГАЕС.

Особливу увагу варто приділити реалізації енергетичного й екологічного аудиту, а також разробці науково обґрунтованих схем теплопостачання (рис.13.1). Без проведення об'єктивного енергетичного аудиту неможливо визначитися з очікуваним об'ємом і концентрацією теплових навантажень та їхньою зміною; урахувати стан енергетичних об'єктів та теплотрас, можливість розміщення нових і реконструкції існуючих об'єктів тощо.

Обов'язкова умова – техніко-економічне обґрунтування щодо кожного конкретного варіанта, який дає змогу визначити: необхідну теплову потужність об'єктів малої і великої енергетики; доцільність реконструкції наявних енергетичних об'єктів або їхнє закриття; найефективніші напрями використання інвестицій; необхідні заходи, спрямовані на охорону довкілля, розвиток і реконструкцію теплових мереж та ін.

Роль і місце ТЕЦ у системі теплопостачання, що реформується. Особливістю великих систем централізованого теплопостачання є можливість використовувати найефективніше комбіноване виробництво теплової та електричної енергії на ТЕЦ. При цьому досягається істотне зниження витрати палива і зменшується забруднення довкілля.

У системі теплопостачання великих міст України провідна роль належить джерелам централізованого теплопостачання, в яких велика частина (близько 50 %) – ТЕЦ. Саме ТЕЦ визначають якість і вартість теплової енергії, що відпускається споживачу, на опалювання й гаряче водопостачання міста.

У зв'язку з цим істотну увагу слід звернути на питання максимального розкриття їх можливостей (потужностей) шляхом будівництва нових магістралей і реконструкції існуючих, підвищення температурного графіка за збереження кількості циркулюючого теплоносія, максимального використання можливостей ТЕЦ у системах гарячого водопостачання тощо. Досить актуальним видається питання про введення принципу форму-

вання тарифу на виробництво тепла ТЕЦ по 50 % щодо економії витрат на виробництво електричної та теплової енергії. Це відповідає п. 3.1. "Методики розподілу витрати палива на ТЕС на відпущену електричну і теплову енергію при комбінованому виробництві", але не завжди виконується.

Здавалося б, такий принцип не потребує додаткового обґрунтування, оскільки випливає з фундаментальних термодинамічних і технологічних основ теплофікації, неодноразово обґрунтованих теоретично і підтверджених практикою, відповідно до яких підвищення загальної термодинамічної ефективності ТЕЦ забезпечується саме за рахунок додаткового вироблення тепла. Проте останнім часом це положення стали піддавати ревізії. Щонайперше, це пов'язано з плачевним станом основних фондів централізованого теплопостачання і практичною відсутністю засобів на їхню реабілітацію.

Як альтернативу пропонують розширену децентралізацію комунальної теплоенергетики, орієнтованої на теплофікацію, комбіноване вироблення тепла й електроенергії на ТЕЦ. Причин існує кілька, зокрема високий рівень втрат і вартості теплової енергії.

Децентралізація планується за рахунок використання дахових котелень і індивідуальних нагрівачів. Не заперечуючи можливості й ефективності їхнього застосування в конкретних техніко-економічних умовах, уважаємо, що така стратегічна тенденція в умовах України є помилковою, ба навіть шкідливою з погляду реалізації завдань теплопостачання і енергозбереження. Відзначимо лише основні з кількох причин цього [13, 38, 46, 69].

По-перше, без централізованої системи теплопостачання практично неможливо використовувати високотемпературну складову теплоти згорання палива. Перехід на децентралізовану систему також потребує значних капітальних і експлуатаційних витрат, дорогого устаткування. При цьому економія засобів і палива буде меншою. З другого боку, вади централізованого теплопостачання можна усунути, якщо знизити втрати тепла під час його транспортування і використання для обігріву будівель. Реконструкція котелень, теплоцентралей, заміна труб теплових трас, теплова ізоляція будівель, установка теплообмінних

пунктів і сучасних приладів реґулювання і контролю дає змогу в 2—3 рази знизити оплату послуг теплопостачання. Так, тільки застосування труб з пінополіуретановою ізоляцією сприяє зменшенню втрати тепла у процесі його транспортування з 20—30 % до 1 %, при нормативних – 8 % [38, 40, 69].

Сучасні технології й нові теплоізоляційні матеріали дають змогу скоротити втрати тепла у процесі опалювання будівель на 50—70 % [38, 40, 46, 69]. Такі заходи створюють можливість використовувати до 70 % теплоти на вироблення електроенергії без зміни існуючих об'ємів споживання палива на опалення і гаряче водопостачання. За рахунок засобів, одержаних від реалізації додатково виробленої електроенергії, можна компенсувати витрати на паливо, використовуване для теплопостачання.

Нагадаємо, що крім додаткових переваг під час теплофікації значно скорочується витрата палива (~ на 50 %), оскільки з'являється можливість споживати тепло, яке практично не використовується на конденсаційних електростанціях. В Україні на опалення і гаряче водопостачання житлового фонду витрачають 70—75 млн т у. п., зокрема 34 млрд $м^3$ природного газу, і при цьому близько 30...50 % одержуваного тепла втрачається [38, 40, 46, 69]. Ефективне спалювання такої кількості палива з використанням принципів теплофікації і когенерації дасть змогу виробити близько 200 млрд кВт·г електроенергії, що перевищує її виробництво всіма електростанціями України. Усунення втрат, які нині мають місце у процесі транспортування і споживання тепла, зможе компенсувати втрати теплової енергії, необхідної для вироблення електроенергії на ТЕЦ.

Таким чином, повне теплоспоживання палива, яке сьогодні витрачають ТЕЦ України на опалення і гаряче водопостачання, а також ефективна теплоізоляція теплових мереж і будівель, створить можливість повністю забезпечити споживачів теплом та електроенергією.

По-друге, відповідна організація системи теплопостачання з комбінованим виробленням електроенергії й тепла, окрім економії засобів і палива, сприяє здійсненню маневрування потужностями при пікових навантаженнях і екстремальних ситуаціях, підвищує їхню екологічну привабливість тощо.

По-третє, децентралізація теплопостачання пов'язана з іще однією проблемою – передчасним руйнуванням централізованої системи. Справді, скорочення кількості споживачів від великих котелень і ТЕЦ, пов'язане з децентралізацією, неминуче викличе скорочення їхніх робочих потужностей, а отже, і ефективності, ККД, а також підвищення експлуатаційних витрат, розрегулювання гідравліки систем та ін.

Отже, перехід на цілковите децентралізоване теплопостачання в умовах централізованої інфраструктури, що склалася на базі ТЕЦ – інфраструктури, характерної для України (і не тільки), не прийнятний, більше того, згубний для комунальної теплоенергетики.

Окремі аспекти енергозбереження в стаціонарній енергетиці, пов'язані з теплофікацією і когенерацією, були відмічені вище (див. 12.4). На закінчення даного підрозділу зазначмо лише ще одну обставину.

Якщо звернутися до офіційної статистики (табл. 13.1), то щонайбільше палива в Україні витрачається саме на вироблення теплової енергії [13, 46].

Таблиця 13.1.

Вироблення теплової енергії і споживання палива в Україні (1997 р.) (за даними АТ "Укренергопром")

Найменування	Одиниці вимірювання	Об'єм
Вироблено об'єктами енергетики, усього: зокрема:	млн Гкал на рік	197,5
• на ТЕЦ		59,5
• у котельнях		128,3
• у теплоутилізаційних установках		9,1
• в інших агрегатах		0,74
Витрата палива в енергетиці	млн т у. п.	36,7
Вироблення тепла в промисловості	Гкал на рік	250...270
Витрата палива в промисловості	млн т у. п.	52...54

Порівняння техніко-економічної ефективності роздільної та комбінованої схеми виробництва теплової енергії (табл. 13.2) свідчить, що економія палива за комбінованого вироблення становить 18...22 %. При цьому річні витрати скорочуються на 20...25 %, а шкідливі викиди CO_2 – на 20 % [13, 46].

Таблиця 13.2.

Порівняння ефективності комбінованого і роздільного вироблення енергії

Показник	Одиниці вимірювання	Комбіноване вироблення	Роздільне вироблення	Різниця	%
Об'єм капіталовкладень	млн $ US	1 000	1 050	-50	95
Потужність електрична	МВт	1 000	1 000	0	100
Потужність теплова	МВт	1 000	1 000	0	100
Вироблення електроенергії	МВт·год у рік	6 707 657	6 706 117	1 540,22	100
Вироблення тепла	Гкал на рік	2 520 000	2 520 000	0	0
Витрата палива	тис. т у. п. на рік	1 787,182	2 191,614	-404,431	81,5
Витрати на паливо	млн $ US	125,1028	156,086	-30,9 832	80,1
Річні витрати на виробництво	млн $ US	205,3034	261,2	-55,8 966	78,6
Викиди CO2	тис. т	2,94	3,717	-0,777	79,09

13.3. Концептуальні положення і головні напрями енерго- та ресурсозбереження в ЖКГ

13.3.1. Загальна концепція та законодавча база

Як уже ми зазначали, Україна є енергодефіцитною державою і задовольняє свої потреби в різних видах енергоносіїв менш ніж на 50 %; інша частина енергоресурсів імпортується із-за кордону. При цьому загальний стан економіки держави, кризові явища в енергетичній галузі не сприяють поліпшенню цього становища.

Крім того, використання паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві, житлово-комунальній сфері є над-

звичайно мізерним. Нині енергоємність внутрішнього валового продукту в Україні більше ніж у 2 рази перевищує енергоємність розвинутих країн Західної Європи і далі збільшується. Вагома проблема підвищення енергоефективності суспільного виробництва виникає у процесі відродження економіки України. Попередня оцінка потенціалу енергозбереження показує, що його обсяг становить 42-48 % від загального обсягу споживання первинних енергоносіїв, а впровадження системи раціонального енерговикористання прямо пов'язане з вирішенням численних економічних і екологічних питань.

На державному рівні робота в цьому напрямку започаткована з прийняттям Закону України "Про енергозбереження", затвердженого Постановою Верховної Ради України від 1 липня 1994 року № 75/94-ВР. Далі були прийняті такі керівні документи:

- Указ Президента України "Про заходи щодо скорочення енергоспоживання бюджетними установами та казенними підприємствами" від 16.06.99 № 662/99
- Постанова КМУ № 911 від 15.11.95р."Про першочергові заходи щодо реалізації програми діяльності Кабінету Міністрів України на 1995-1996 роки";
- Постанова КМУ № 20 від 09. 09. 96р. "Про управління сферою енергозбереження";
- Постанова КМУ № 575 від 29.05.96р "Питання державної інспекції з енергозбереження";
- Постанова КМУ № 786 від 15. 07. 97р. "Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві";
- Постанова КМУ № 731 від 10.07.97р. "Про комплекс заходів щодо реалізації Національної енергетичної програми України до 2010 р.";
- Постанова КМУ № 2183 від 30.11.99р. "Про зменшення енергоспоживання бюджетними установами та державними підприємствами";

На підставі частини перерахованих вище документів Державним комітетом України з енергозбереження видано Наказ № 101 від 14.11.97р." Про проведення паспортизації енергоспоживаючих об'єктів", у якому зазначено, що обов'язковій

енергетичній паспортизації підлягають підприємства (організації) всіх форм власності з проектним рівнем річного споживання 1 000 і більш т у. п. чи 3 000 тис. та більше Гкал або рівнем установленої потужності 100 і більше кВт.

Відповідно до названих документів найважливішою ланкою подальшого розвитку житлово-комунального господарства має стати зниження витрат на виконання послуг. Економічною основою здійснення цього процесу є енерго- і ресурсозбереження. Кінцева мета енергоресурсоощадної політики в житлово-комунальному господарстві – скорочення витрат на утримання та експлуатацію житла і, відповідно, пом'якшення для населення процесу реформування системи оплати житла й комунальних послуг під час переходу галузі на режим беззбиткового функціонування.

Основними методами досягнення такої мети є: перехід до ефективних енергоощадних архітектурно-будівельних систем та інженерного устаткування в житлово-комунальному будівництві; впровадження облікових приладів й регулювання споживання теплової енергії, води і газу, організація взаєморозрахунків за споживання ресурсів згідно з показниками приладів; створення економічного механізму, що стимулює процес енерго- і ресурсозбереження; удосконалення систем тарифів, стандартизації, сертифікації та метрології, спрямованих на енерго- і ресурсозбереження.

Головне звдання всіх учасників процесу енергопостачання й енергоспоживання полягає в комплексному використанні всіх важелів керування попитом на ресурси і стимулювання енерго- і ресурсозбереження: технічних, економічних, нормативних, інституційних, інформаційних. Напрямки та концептуальні положення енергозбереження в ЖКГ наведено на рис 13.2.

Ефективність використання ресурсів у житлово-комунальному господарстві. Діяльність житлово-комунального господарства супроводжується досить великими втратами ресурсів як споживаних самими комунальними підприємствами, так і наданих споживачам (води, теплової й електричної енергії). Фактичне питоме споживання води в розрахунку на одного мешканця перевищує встановлені в регіонах і містах нормативи в 1,5-2 рази, а питоме теплоспоживання – у 2-3 рази.

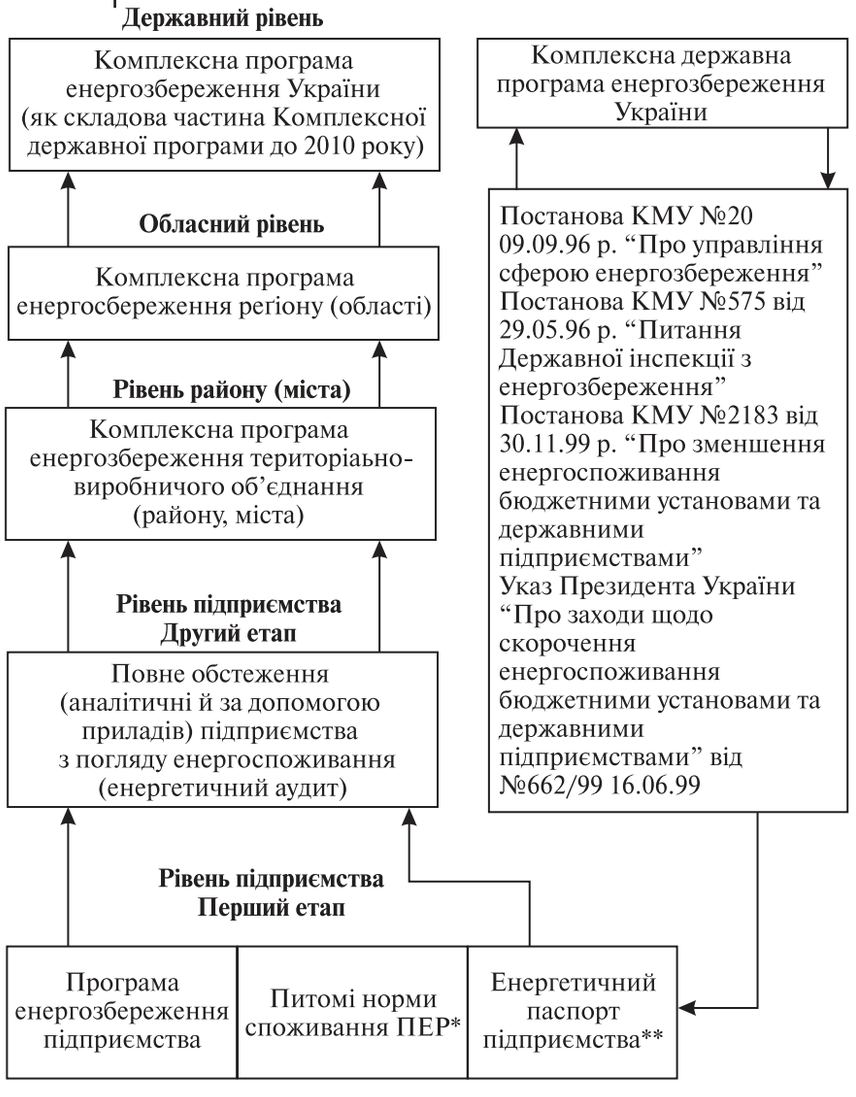


Рис. 13.2. Концепція енергозбереження і ресурсозбереження

* Постанова КМУ № 786 від 15. 07.97 р. "Про порядок нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів у суспільному виробництві";
** Наказ № 101 від 14.11.97 р. "Про проведення паспортизації енергоспоживаючих об'єктів";

Договори на постачання тепла і води фактично нав'язує споживачам постачальник ресурсів на основі розрахунків за нормативами, вони відбивають обсяги реалізації, що найчастіше істотно відрізняються від фактичного споживання. Господарський механізм у галузі, що діє, не стимулює зниження витрат. Тарифи, як правило, формуються за фактичною собівартістю. При цьому всі непродуктивні витрати, пов'язані з процесом виробництва послуг, а також з витратами води і тепла під час їхнього транспортування, перекладають на споживача. У підсумку завищуються тарифи й обсяги реалізації.

Разом з тим, підприємства не мають ані відчутних стимулів, ані фінансових можливостей для заміни в необхідних обсягах застарілого устаткування і зношених основних фондів. Замість потрібної щорічної заміни пошкоджених мереж ремонтують лише незначну їх частину, а це спричиняє збільшення кількості аварій та ушкоджень.

В наявному нині житловому фонді значну частку становлять будинки зі збірного залізобетону, фактичні тепловтрати в яких на 20-30 % вище проектних через низьку якість будівництва й експлуатації. Найбільш вагомі тепловтрати в будинках відбуваються через зовнішні стінові обгородження (42 і 49 % для п'яти — і дев'ятиповерхових будинків) і вікна (32 і 35 % відповідно). Додаткові тепловтрати викликає також промерзання зовнішніх обгороджувальних конструкцій будинків.

Істотні втрати тепла й ресурсів відбуваються і в процесі експлуатації інженерних систем та устаткування. Дрібні котельні (потужністю менш 5 Гкал/г) та індивідуальні опалювальні установки, які характеризуються застарілими конструкціями, браком автоматичного регулювання і засобів контролю, неекономічні щодо використання палива. Як правило, не проводиться водопідготовка, і це збільшує витрату палива до 12,5 % і більше. Теплові мережі мають теплоізоляцію невисокої якості, через яку тепловтрати становлять близько 15-20 %. Великими є трати води через свищі, що утворюються внаслідок зовнішньої і внутрішньої корозії теплових мереж. Додаткові втрати тепла, пов'язані з витоками, можна оцінити ще в 10-15 %.

Централізоване гаряче водопостачання здійснюється значною мірою через центральні теплові пункти, використання

яких для підігріву води в системах гарячого водопостачання обумовлює значну довжину зовнішніх трубопроводів від теплового пункту до житлового будинку. Термін їхньої служби внаслідок значної внутрішньої корозії в 2-4 рази нижче нормативного.

Таким чином, незважаючи на визнання енерго- і ресурсозбереження одним з головних напрямків розвитку ЖКГ, практичну реалізацію цього процесу стримує низка невирішених проблем: недосконаліть нормативно-правової бази, яка має стимулювати політику енерго- і ресурсозбереження і залучення у цю сферу вітчизняних та іноземних інвестицій; нерозвиненість ринку послуг з інвестування, установки й обслуговування енергоресурсоощадного обладнання і техніки, монополізація цієї діяльності енергопостачальними організаціями; недостатньо розвинуті маркетингові послуги в галузі виробництва енергоресурсоощадного устаткування; перекручування цінових співвідношень між вартістю енергоресурсозберігаючого устаткування і цінами (тарифами) на енергоносії, що спричиняє істотне зниження ефективності енергоощадних заходів; недосконаліть механізму стимулювання і фінансування інноваційних процесів у ЖКГ.

13.3.2. Основні напрямки енерго- і ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві

Економія витрати ресурсів і зниження тепловтрат. Вирішення цього завдання пов'язане зі здійсненням комплексу інженерно-технічних заходів, головні з яких є:

- *Теплова ізоляція, збільшення термічного опору обгороджувальних конструкцій будинків.*

Важливе значення під час будівництва нових об'єктів має використання теплоефективних стінових панелей, перехід на нові конструктивні рішення з урахуванням підвищених вимог у частині опору теплопередачі конструкцій, що їх обгороджують, у процесі будівництва будинків з цегли, блоків і монолітного залізобетону. Приймати такі ухвали конче потрібно, використовуючи розроблені нові технічні рішення з підвищення теплоефективності зовнішніх стін.

Поряд з утепленням стін новозбудованих споруд важлива роль належить теплоізоляційним роботам з реконструкції будинків старої забудови, пов'язаним з нанесенням на стіни будинків додаткових теплоізоляційних шарів. Не менше значення має підвищення теплозахисту вікон і балконних дверей за сучасними вимогами щодо теплозахисту.

- *Модернізація систем тепло- й водопостачання.*

До основних заходів цього напрямку можна зарахувати: поступову заміну центральних теплових пунктів на індивідуальні в блок-модульному виконанні; упровадження там, де це економічно доцільно, децентралізованих джерел теплопостачання; зниження тепловтрат в інженерних мережах шляхом поступового переходу на сучасні трубопроводи, зокрема й на теплові мережі з пінополіуретановою ізоляцією; оптимізацію режимів роботи мереж тепло- й водопостачання через упровадження систем автоматизованого керування і реґульованого приводу насосних аґреґатів, заміну насосів із завищеною встановленою потужністю; реконструкцію теплових пунктів із застосуванням ефективного тепломеханічного устаткування (наприклад, пластинчатих водонагрівачів); застосування в системах тепло- й водопостачання замість поверхневих теплообмінників (бойлерів) трансзвукових струминно-форсуночних апаратів, що поєднують у собі одночасно функції теплообмінника і насоса та не мають обертових і тертьових частин; широке використання апаратури контролю й діагностики стану внутрішньої поверхні устаткування і систем тепло- і водопостачання; застосування новітних методів і технологій для очищення від відкладень поверхні теплообмінного устаткування, котлів, систем водопостачання; заміну спрацьованої запірної арматури і санітарно-технічних пристроїв у квартирах та індивідуальних будинках; оптимізацію процесів горіння в топках котелень і впровадження оптимальних графіків реґулювання з використанням засобів автоматики і контролю, перерозподіл теплових навантажень шляхом кільцювання теплових мереж; забезпечення режимів водопідготовки, заміну і прочищення мереж; проведення ре-

жимно-наладних робіт у теплових мережах та системах опалення й гарячого водопостачання будинків.

- *Використання нетрадиційних джерел енергії.*

Застосування таких джерел можна розглядати як один з перспективних напрямків енерго- і ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві, що є водночас одним з аспектів розв'язання екологічних проблем. Їх можна використовувати для гарячого водопостачання побутових приміщень, літніх баз відпочинку, санаторіїв, плавальних басейнів, для нагрівання поливальної води в теплицях, житлових будинках, у котеджах та індивідуальних будинках, для підігріву мережної води в котельнях. Важлива роль у скороченні витрат енергоресурсів належить також теплонасосним установкам, що забезпечують ефективну утилізацію потенційного тепла довкілля, промислових і побутових стоків. Рентабельним джерелом електроенергії можуть слугувати вітроенергетичні установки. Один такий агрегат потужністю 5-10 кВт здатен забезпечити електроенергією середній котедж.

Облік і регулювання споживання енергоресурсів і води. Обов'язкове застосування приладів для обліку й регулювання споживання енергоресурсів предбачено Законом України "Про енергозбереження" і комплексною державною програмою енергозбереження.

Першорядне значення має вибір пріоритетних об'єктів і заходів щодо енерго- і ресурсозбереження, що дають найбільший ефект, вибір оптимальної тактики оснащення приладами обліку за категоріями споживачів енергоресурсів і води. Розробляючи підпрограми забезпечення приладами у складі обласних, муніципальних і місцевих програм енергозбереження, слід вирішувати такі питання як: вибір і оптимізація номенклатури технічних засобів (приладів обліку, регулювання, засобів метрологічного забезпечення, засобів оперативного збору й обробки інформації і диспетчеризації тощо); оцінка обсягів потреби в технічних засобах; визначення необхідності в зміні схем тепло- й водопостачання для здійснення облікування приладами обліку, особливо поквартирного; визначення оптимальної черговості виконання робіт з урахуванням техніко-економічних обласних (муніципальних) можливостей. Аналіз показує, що в більшості випадків

фактичне споживання тепла становить 30-60 % від розрахункових навантажень стосовно опалення і гарячого водопостачання. Як наслідок, скоротяться приписки в обсягах ресурсів, що їх поставляють тепло-, водопостачальні організації.

До числа першочергових завдань належить також оснащення приладами обліку вводів у будинки і приміщення, зайняті організаціями бюджетної сфери. Уживання таких заходів дає бюджетним організаціям і муніципальним підприємствам економію платежів за тепло і воду від 15 до 60 %. На вводах у суспільні будинки варто також установлювати регулятори тиску, що до мінімуму скорочують надлишкові напори, які є причиною нераціональних витрат води з кранів і витоків із санітарно-технічної арматури. Обираючи конкретні прилади, слід ураховувати, що істотною складовою витрат на експлуатацію приладів є витрати на їхню періодичну перевірку, обсяг яких визначається тривалістю між повірками інтервалів, установлених для кожного приладу, і доступністю засобів перевірки.

Важливим складником є вибір оптимальних схем організації обліку енергоресурсів і експлуатації приладів. Вирішенню цього завдання мають передувати заходи щодо аналізу схем тепло- й водопостачання, визначення причин і джерел найбільших утрат, а також обґрунтування норм енергоресурсоспоживання для розглянутого об'єкта. Схеми організації обліку мають розроблятися для всіх рівнів споживання – теплового району, житлового мікрорайону, товариства власників житла, житлового будинку, квартири. У всіх випадках варто прагнути до мінімізації парку приладів обліку і до скорочення (уніфікації) їхньої номенклатури. Доцільно використовувати всі технічні й економічні можливості для створення автоматизованих систем оперативно-диспетчерського керування обліком і споживанням енергоресурсів і води з використанням сучасних засобів комунікації, телеметрії та комп'ютеризації.

13.3.3. Створення економічного механізму енерго- і ресурсозбереження в ЖКГ

Аби створити об'єктивні передумови практичної реалізації проектів енерго- і ресурсозбереження в ЖКГ, необхідно виробити ефективний економічний механізм, що включає в себе стійкі джерела фінансування і чіткі заходи для стимулювання енерго- і ресурсозбереження.

Визначення джерел фінансування програм енерго- і ресурсозбереження:

Засоби місцевого бюджету. По- перше, на цілі енерго- і ресурсозбереження можна направляти частину засобів (5-10 %), передбачених у місцевому бюджеті на фінансування розвитку й поточної діяльності житлово-комунального господарства. Ці засоби, слід використовувати на установку приладів обліку в організаціях бюджетної сфери. Крім того, їх доцільно направляти на забезпечення обліку енергоресурсів у житловому господарстві (пункті обліку тепла на границях розподілу сфер відповідальності на будинкових вводах). По- друге, засоби, спрямовані на реалізацію технічних рішень у період підготовки до сезонної експлуатації, сприяють ресурсозбереженню (утеплення будинків, теплоізоляція трубопроводів та ін.). По-третє, засоби організацій ЖКГ, що формуються за рахунок платежів населення та інших споживачів за реалізацію послуг.

Із загальної суми доходів організацій на цілі енерго- і ресурсозбереження можуть направлятися засоби фонду розвитку, які формуються за рахунок частини прибутку, що залишається в розпорядженні підприємств (фонду нагромадження), ремонтного фонду й амортизації.

Позабюджетні джерела кредитного фінансування. Засоби приватних інвесторів, зокрема банків, можуть бути використані на умовах безперечного повернення вкладених коштів завдяки щомісячному відрахуванню частини економії, одержуваної кожним споживачем комунальних послуг, наприклад, за рахунок зниження платежів завдяки установці приладів обліку. Важливим інструментом мінімізації ризику приватних інвесторів є укладання між адміністрацією міста, банком та організацією ЖКГ тристоронньої угоди, відповідно до якої місто дозволяє банку у випадку невиконання зобов'язань по виплаті боргу використовувати еквівалентну суму платежів населення за житло і комунальні послуги. Велику перспективу як джерела кредитного фінансування має використання лізингових механізмів за умови облаштованості об'єктів приладами обліку й регулювання споживання води, тепла і газу. Залучення засобів приватних інвесторів потребує розробки бізнес-планів щодо реалізації конкретних питань.

Використання засобів населення можливо лише в результаті проведення активної рекламної кампанії, у ході якої населенню будуть наочно продемонстровані економічні вигоди, наприклад у вигляді зменшення платежів за комунальні послуги, або інші переваги, що воно дістане, скажимо, від установки приладів обліку. На практиці можливе використання змішаних схем фінансування, коли всі перераховані джерела задіюють у різних поєднаннях.

Стимулювання енерго- і ресурсозбереження. До основних заходів цього напрямку варто віднести: залишання в розпорядженні організацій ЖКГ економії, здобутої внаслідок реалізації заходів щодо ресурсозбереження (можливо з відсотком, що знижується за періодами, при цьому можна рекомендувати підприємствам направляти ці засоби у фонд розвитку й використовувати їх для вдосконалювання і проведення подальших робіт з енерго- і ресурсозбереження, а також погашення кредитів, узятих на ті цілі); уживання додаткових заходів щодо соціального захисту малозабезпечених громадян через установку приладів обліку в їхніх квартирах за рахунок бюджетних засобів, що, своєю чергою, буде стимулювати установку приладів обліку в квартирах інших громадян; розробку соціально обґрунтованих норм споживання населенням тепло- й електроенергії, води, природного газу і впровадження на цій підставі диференційованих тарифів на комунальні послуги залежно від обсягів їхнього споживання, що дають змогу стягувати підвищену плату за наднормативне споживання комунальних послуг за періодами доби.

Економічні важелі енергозбереження мають діяти на різних рівнях: суб'єктів області, міста та органів місцевого самовряду-

вання – тарифи, податки, кредити, страхування, дотації тощо; організацій ЖКГ – залишання в їхньому розпорядженні економії, одержаної від заходів щодо енерго- і ресурсозбереження, і її використання для стимулювання цієї роботи; організацій бюджетної сфери – збереження для них обсягів бюджетного фінансування на термін окупності заходів з енерго- і ресурсозбереження; товариств власників житла – підтримка місцевими органами самоврядування і стимулювання їхньої діяльності з установки приладів обліку, ремонту інженерних мереж і будинків.

Як стимул для підприємств ЖКГ упроваджувати енергоресурсоощадні технології можливими є введення практики конкурсної передачі інвесторам комунальних підприємств у довгострокову оренду або концесію. Критерієм може слугувати запропонований конкурсантом найнижчий тариф. При цьому з боку муніципальних установ потрібен контроль за якістю наданих послуг.

13.3.4. Правові й організаційно-економічні заходи для забезпечення енерго- і ресурсозбереження в ЖКГ

Удосконалення нормативно-правової бази. Відмітною рисою "енергоощадного" нормативу в Україні є недостатня скоординованість нормативних, економічних, інформаційних, а також інституційних положень, що забезпечують утілення в життя заходів, викладених вище пропозицій.

Щоб виправити таку ситуацію, необхідно ініціювати ухвалення на законодавчому рівні деяких рішень, зокрема, заходів з митної підтримки енерго- і ресурсозбереження; прийняття ухвал, які передбачають, що засоби, отримані завдяки тому, що підприємство ЖКГ упровадило ресурсоощадні технології, мусять надходити в їхнє розпорядження і використовуватися за цільовим призначенням на розвиток виробничої бази ЖКГ; прийняття рішення щодо скорочення термінів амортизації для енергоощадного устаткування (уведення прискореної амортизації); розробки неодмінних нормативно-методичних документів: типових ТЕО і бізнес-планів інвестицій для реалізації заходів з ресурсозбереження; методичних рекомендацій з організації керування і фінансування служби енергосервісу, білінгової компанії і т.ін., інструкцій стосовно проведення енергоаудиту в ЖКГ; щодо порядку комерційного розрахунку за спожиту теплову енергію, гарячу і холодну воду; інструкцій (положеннь) про заявленей порядок оформлення й установки приладів обліку тепла і води в споживачів; методик виявлення, обліку і використання економії ресурсів у ЖКГ; методичних рекомендацій з установки приладів обліку та регулювання споживання енергії та води в житловому секторі, на об'єктах бюджетної сфери.

Крім того, потребують розробки: нормативи споживання житлово-комунальних послуг; правила оцінювання фізичного зносу житлових будинків; вимоги до проектно-кошторисної документації на ремонт і реконструкцію (з обліком енерго- і ресурсозбереження); положення з технічного обстеження житлових будинків (перед реконструкцією, капітальним ремонтом і в процесі експлуатації); положення про організацію і проведення перевірки технічного обслуговування і ремонту житлових будинків.

Удосконалення тарифної політики. Вирішуючи це завдання з метою стимулювати енерго- і ресурсозбереження, необхідно керуватися такими принципами: система тарифів на енергію і ресурси має бути зрозумілою і доступною кожному споживачеві; система тарифів має стимулювати облік енергії та ресурсів на всіх рівнях, для чого потрібна диференціація тарифних ставок (згідно з обсягами споживання енергії і ресурсів; за способами визначення кількості споживаної енергії і ресурсів (у випадку їхнього приладового визначення рівень тарифів має бути нижчим, ніж у випадку нормативного визначення); за часом (періодам доби) споживання).

Доцільно ввести блокові побутові тарифи (БПТ), основною метою яких є заощадження електроенергії і потужності насамперед за рахунок скорочення масового нераціонального використання дорогої електроенергії для побутових нестатків і виробничого (комерційного) споживання в житловому секторі. Для впровадження і розвитку системи БПТ необхідно встановити

соціально-мінімальні нормативи споживання енергоресурсів. За умови споживання понад ці нормативи варто вводити підвищені тарифи.

Удосконалення стандартизації, метрології та сертифікації. Важливим чинником енерго- і ресурсозбереження в ЖКГ має стати стандартизація енергоспоживаючого устаткування будь-якого призначення, теплоізоляційних матеріалів, приладів і засобів обліку витрати енергоресурсів. За різними оцінками, з допомогою стандартизації та сертифікації можна на 5-10 % підвищити ефективність енергоощадних заходів. Основними завданнями в сфері стандартизації під час проведення енергоощадної політики є: розробка і включення у встановленому порядку показників ефективного використання енергетичних ресурсів до нормативно-технічної документації всіх рівнів на устаткування, застосовуване у процесі виробництва й передачі енергії; розробка пропозицій з удосконалення системи державної статистичної і галузевої звітності для здійснення державного статистичного спостереження за ефективністю використання енергетичних ресурсів; розробка необхідних нормативних документів для проведення обов'язкових енергетичних обстежень.

Інформаційне забезпечення. Для успішного впровадження енерго- і ресурсозбереження необхідна активна пропаганда й роз'яснення населенню технічних і економічних аспектів реалізації цих заходів. Конче слід використовувати такі традиційні методи, як виступи і публікації в засобах масової інформації, проведення семінарів, конференцій, робочих зустрічей. Надзвичайно важливо розгорнути широку кампанію з інформування населення, включаючи використання наочної агітації (реклами) для ефективного впровадження систем обліку ресурсів з ініціативи споживачів. Необхідно організувати систему безперешкодного збору заявок від організацій і населення щодо установки засобів обліку тепла і води колективного й особистого користування (неподалік від служби замовника). Пропаганда енергозбереження сама по собі не може розв'язати проблем підвищення ефективності використання енергоресурсів, але її брак істотно знизить ефективність реалізації програм з енергозбереження. Тепер інформація щодо різних аспектів проблеми енерго- і ресурсозбереження розосереджена по організаціях і носить розрізнений характер. Потрібна її подальша систематизація, аналіз, оперативне та ефективне використання, службами й інформаційними центрами енерго- і ресурсозбереження. Необхідно створити систему цілеспрямованого навчання кадрів працівників ЖКГ (аж до кожного робочого місця) тому, як вирішувати питання енерго- і ресурсозбереження.

Головні напрямки розвитку енергозбереження, наведені вище в концептуальному вигляді, мають загальний характер і охоплюють практично всі основні сфери життєдіяльності України в цілому. Базовані на узагальненні існуючого стану енерго- і ресурсозбереження, а також на законодавчо-нормативній базі, вони потребують подальшого розвитку й диференціації для кожної області, району, міста, селища.

СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ І РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. *Алабовский А. И., Константинов С. М., Недужий И. А.* Теплотехника. – К.: Вища шк., 1986. – 255 с.

2. *Александров В. Г.* Паровые котлы средней и малой мощности. – Л.: Энергия, 1972. – 196 с.

3. *Афанасьев А. А.* Состояние исследований и разработок процессов производства синтетических топлив. – М.: Госкомиздат, 1984. – 133 с.

4. *Ахтырский А. А.* Научно-технический прогресс в теплоэнергетике жилищно-коммунального хозяйства. – М.: Стройиздат, 1986. – 248 с.

5. *Бабаев Н. С., Демин В. Ф., Ильин Л. А.* Ядерная энергетика, человек и окружающая среда. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.

6. Базовые энергоустановки и технологии производства энергии с учетом экологических аспектов. Ч. 1: Энергогенерирующие установки на органическом топливе /В. А. Маляренко, Г. Б. Варламов, Г. Н. Любчик и др. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 210 с.

7. Базовые энергоустановки и технологии производства энергии с учетом экологических аспектов. Ч. 2: Атомные энергетические установки / В. А. Маляренко, Г. Б. Варламов, Е. Н. Письменный и др. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 103 с.

8. Базовые энергоустановки и технологии производства энергии с учетом экологических аспектов. Ч. 3: Альтернативная энергетика /В. А. Маляренко, Г. А. Белявский, Ю. А. Ландау и др. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 116 с.

9. *Бакалін Ю.І.* Енергозбереження та енергетичний менеджмент. – Х.: ХІУ, 2002. –200 с.

10. *Бертокс П., Радд Д.* Стратегия защиты окружающей среды от загрязнений. – М.: Мир, 1980. – 606 с.

11. *Бузников Е. Ф., Роддатис К. Ф., Берзиньш Э. Я.* Производственные и отопительные котельные. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 248 с.

12. *Варламов Г. Б.* Оцінка негативного впливу та концепція енерго-екологічного моніторінгу паливоспалювальних енергооб'єктів /Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2001. – № 4. – С. 53–57.

13. *Варламов Г. Б., Любчик Г. М. , Маляренко В. А.* . Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії. – К.: ІВЦ Вид-во «Політехніка», 2003. – 232 с.

14. *Воробьев И. Е., Тодорович Е. Г.* Реабилитация ТЭС и ТЭЦ: пути, эффективность. – К., Энергетика и электрификация, 2000. – Вып.1 – 256 с.

15. *Воропай М.І., Славін Г. Б., Чельцов М. Б.* Електроенергетика та екологічні аспекти національної безпеки //Енергетика: економіка, технологія, екологія. – 2000. – № 3.– С. 4–9.

16. *Гелиженко А. М., Гливенко С. В.* Эколого-экономическая оценка перехода ТЭС Украины на угольную стратегию развития //Енергетика: економіка, технологія, екологія. – 2000. – № 3. – С. 28–33.

17. *Делягин Г. Н., Лебедев В. И., Пермяков Б. А.* Теплогенерирующие установки. – М.: Стройиздат, 1986. – 560 с.

18. *Дикий Н. А.* Комбинированное производство энергии для преодоления кризиса в энергетике //Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 1. –С.13-17

19. *Дикий Н. А.* Энергоустановки геотермальных электростанций. – К.: Вища шк., 1989. – 198с.

20. *Ефимов А. П.* Энергобалансы промышленных предприятий: Уч. пособие. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 84с.

21. Защита атмосферы от промышленных загрязнений: Справочник: В 2 ч. / Под ред. С. Калверта и Г. М. Инглунда. – М.: Металлургия, 1988. –Ч.1. – 758 с.

22. *Карп И. Н., Мхитарян Н. М.* Децентрализованное теплоснабжение зданий и сооружений //Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 1. – С.5-17.

23. *Кириллин В. А.* Энергетика сегодня и завтра. – М.: Педагогика, 1983. – 128 с.

24. *Кириллин В. А.* Энергетика. Главные проблемы. – М.: Знание, 1990. – 128 с.

25. *Фафнер К.* Существующие ТЭЦ – невостребованный потенциал энергетики Украины//Энергетика и электрификация. – 2001. – № 1. – С.18-20.

26. *Колобков П. С.* Використовування теплових вторинних енергоресурсів в теплопостачанні.– Х.: 1991.–224с.

27. Комплексна державна програма енергозбереження України. – К.: Держком України з енергозбереження, 1996. – 218 с.

28. *Любчик Г. М.* Проблеми екології ТЕС. Метод. рек. до вивч. курсу "Основи екології". – К.: КПІ, 1995. – 24 с.

29. *Майстренко А. Ю., Дудник А. Н., Яцкевич С. В.* Технологии газификации углей для парогазовых установок. – К.: Знание, 1998. – 67 с.

30. *Малахов Ю. В., Шевченко Н. Е. , Воробьев И. Е. .* О стратегии развития электроэнергетики Украины //Энергетика и электрификация. – 2001. – № 7. – С.8—14.

31. *Маляренко В. А.* Энергетика и окружающая среда Украины //Труды международного экологического конгресса "Новое в экологии и БЖД" – СПб., 2000. – Т.1. – Балт. гос. техн. ун-т. С.–Петербург. – С. 97-100.

32. *Маляренко В. А.* Концептуальные положения развития муниципальной энергетики Украины. //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техника, 2000. – Вып. 25. – С. 208-216.

33. *Маляренко В. А.* Энергетика и экологическая ситуация в Украине. //ІТЕ: Інтегровані технології та енергозбереження. – 2001– № 2. – С. 7–13.

34. *Маляренко В. А., Охрименко В. В.* Альтернативная энергетика и окружающая среда //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2001. – Вып. 27. – С. 263-269.

35. *Маляренко В. А. Дмитриев И. Б.* Эколого-энергетические факторы градостроительных решений //Труды 4-ой НПК "Новое в экологии и БЖД" 16-18 июня 1999, Санкт-Петербург, Россия. Балт. гос. техн. ун-т. – С-Петербург, 1999.– Т.1. – С. 85-88.

36. *Маляренко В. А.* Енергозбереження як діючий важіль реформування житлово-комунального господарства. //Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 2003. – Вып. 53. – С.7-14.

37. *Маляренко В. А., Лысак Л. В.* Реабилитация и развитие коммунальной теплоэнергетики на современном этапе //ІТЕ: Інтегровані технології та енергозбереження, 2004.– № 2. – С.48-57.

38. *Маляренко В. А.* Введение в инженерную экологию энергетики. – Х.: ХГАГХ, 2001. – 166 с.

39. *Маляренко В. А., Редько А. Ф., Чайка Ю. И.* Техническая теплофизика ограждающих конструкций зданий и сооружений. – Х.: Рубикон, 2001. – 280 с.

40. Методика определения валовых и удельных выбросов вредных веществ в атмосферу от котлов тепловых электростанций //РД 34.02.305-90. – М.: ВТИ, 1992. – 34 с.

41. Мировая энергетика. Прогнозы развития до 2020 г. /Пер с анг.; Под ред. Ю. Н. Старшинова. – М.: Энергия, 1980. – 255 с.

42. *Мхитарян Н. М.* Энергосберегающие технологии в жилищном и государственном строительстве. – К: Наук. думка, 2000. – 416 с.

43. Основы энерготехнологии промышленности / Л. Л. Товажнянский, О. Б. Анипко, В. А. Маляренко и др. – Х.: НТУ "ХПІ", 2002 – 436 с.

44. Организация и управление коммунальным теплоэнергетическим хозяйством / С. И. Иванов, М. Б. Ахтырский, Э. Б. Хиж. – М.: Стройиздат, 1986. – 238 с.

45. Охрана окружающей среды / А. М. Владимиров, Ю. И. Ляхин, Л. Т. Матвеев, В. Т. Орлов. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 423 с.

46. Оценка воздействия объектов энергетики на окружающую среду /Г. А. Белявский, Г. Б. Варламов, В. В. Гетьман и др. – Х.: ХГАГХ, 2002. – 369 с.

47. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття /Під заг. ред. А. К. Шидловського , М. П. Ковалка – К.: Українські енциклопедичні знання. – 2001. – 400 с.

48. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 586 с.

49. *Рихтер Л. А.* Тепловые электрические станции и защита атмосферы. – М.: Энергия, 1975. – 131 с.

50. *Рихтер Л. А.* Охрана водного и воздушного бассейна от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. – 296 с.

51. *Семиноженко В. П., Канило П. М., Ровенский А. И.* Энергия и жизнь. Экология и будущее. – Х.: Фолио, 1997. – 176 с.

52. *Сигал И. Я.* Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 310 с.

53. *Скалин Ф. В., Канаев А. А., Кооп Л. З.* Энергетика и окружающая среда. – Л.: Энергоиздат, 1981. – 280 с.

54. *Стерман Л. С., Шарков А. Т., Тевлин С. А.* Тепловые и атомные электростанции. – М.: Атомиздат, 1975. – 495 с.

55. *Суходоля О. М.* Методічні основи проведення енергетичного обстеження (аудиту) підприємств //Електропанорама. – 2003. – № 3. – С. 45—46

56. *Таги-заде Ф. Г.* Энергоснабжение городов. – М.: Стройиздат, 1992. – 320 с.

57. Тепловые и атомные электрические станции: Справочник /Под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 601 с.

58. Теплотехника /Под общ. ред В. И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 426 с.

59. *Тищенко Н. Ф.* Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределения в воздухе: Справочник. – М.: Химия, 1991. – 362 с.

60. *Трошенькин Б. А.* Возобновляемая энергия. Ч.1: Термодинамика атмосферы и океана. Океанические электростанции. – Х.: Форт, 2003 – 104 с.

61. *Тупов В. Б.* Охрана окружающей среды от шума в энергетике. – М.: МЭИ, 1999. – 192 с.

62. Управління енеговикористанням: Зб. доп. / Під загальн. ред. д-ра. техн. наук, проф. А. В. Праховника. – К.: Альянс за збереження енергії, 2001 – 568. с.

63. *Христич В. А., Тумановский А. Г.* Газотурбинные двигатели и защита окружающей среды. – К.: Техніка, 1983. – 142 с.

64. Экология города / Ф. В. Стольберг, В. Н. Ладыженский, В. А. Маляренко и др. – К.: Либра, 2000. – 464 с.

65. Электроэнергетика и природа. Экологические проблемы развития электроэнергетики / Под. ред. Г. Н. Лялина и А. Ж. Резниковского. – М.: Энергоатомиздат, 1995 – 352 с.

66. Энергетика и охрана окружающей среды /Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа и Ю. М. Кострикина. М.: Энергия, 1979. – 351 с.

67. Энергетические установки и окружающая среда /В. А. Маляренко, Г. Б. Варламов, Г. А. Любчик и др. – Х.: ХГАГХ, 2002. – 398 с.

68. Энергетический менеджмент / А. В. Праховник, А. И. Соловей, В. В. Прокопенко и др. – К.: ІЕЕ НТУ "КПІ", 2001. – 472 с.

69. Энергосбережение в энергетике и технологиях. Энергосбережение в низкотемпературных процессах и технологиях. / А. Б. Гаряев, О. П. Данилов, А. П. Ефремов, и др. – М.: Изд-во МЭИ, 2002. – 48 с.

ЗМІСТ

ВСТУП 3

1

ЕНЕРГЕТИКА І МАЙБУТНЄ ЗЕМЛІ 7

1.1. Основні поняття і визначення 7
1.2. Енергія і життя 14
1.3. Енергетика і цивілізація 16
1.4. Енергія – головна проблема сучасності 20

2

ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ Й ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ЕНЕРГЕТИКИ 22

2.1 Загальні питання 22
2.2. Енергоспоживання і його показники як критерії добробуту суспільства 24
2.3. Енергетика й екологія 30

3

СТРУКТУРА І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ЕНЕРГЕТИКИ 44

3.1. Ключові поняття й дефініції 44
3.2. Ланцюг перетворення енергії 46
3.3. Паливно-енергетичний комплекс (ПЕК) 50
3.4. Структура і тенденції розвитку ПЕК та енергоспоживання 61
3.5. Енергетика і довкілля — системний підхід 68
3.6. Комплексний вплив енергетики на економіку 77

4 **ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ** 91

4.1. Природні ресурси 91
4.2. Викопне органічне паливо 92
4.3. Склад і характеристики органічного палива 97
4.4. Нетрадиційні і відновлювані енергоресурси 103

5 **ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА В ЕНЕРГЕТИЦІ** 107

5.1. Роль органічного палива й основи теорії горіння 107
5.2. Закономірності утворення екологічно шкідливих речовин під час горіння палива 110
5.3. Характеристика шкідливих речовин у продуктах згорання палива та їхній вплив на довкілля 117
5.4. Нормування вмісту шкідливих речовин у продуктах згорання органічного палива 122

6 **ТРАДИЦІЙНА ЕНЕРГЕТИКА** 127

6.1. Основні типи 127
електричних станцій 127
6.2.Енергогенерувальні потужності 130
6.3. Джерела енергії малої енергетики 142

7 **АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА** 144

7.1. Відновлювані джерела енергії 144
7.2. Геліоенергетика 152
7.3. Вітроенергетика і мала гідроенергетика 166
7.4. Біоенергетика 178
7.5. Інші нетрадиційні природні джерела енергії 190

8 **ВТОРИННІ ЕНЕРГЕТИЧНІ РЕСУРСИ** 207

8.1. Класифікація вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) 207
8.2. Стан використання вторинних енергетичних ресурсів 211
8.3. Ефективність застосування ВЕР 219

9 **ТЕПЛОВІ НАСОСИ – АЛЬТЕРНАТИВНІ ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ** 222

9.1. Стан, потенціал і перспективи розвитку теплонасосної техніки 222
9.2. Термодинамічні основи роботи і характеристики теплових насосів 226
9.3. Напрями використання і класифікація 233
9.4. Головні типи теплових насосів 239
9.5. Використання низькопотенційних ВЕР на основі ТНУ 243

10 **ВПЛИВ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ НА ДОВКІЛЛЯ** 252

10.1. Загальні питання взаємодії традиційної енергетики з довкіллям 252
10.2. Взаємодія ТЕС із довкіллям 257
10. 3. Перспективи розвитку ядерної енергетики й екологічні проблеми 262
10.4. ГЕС і їхній вплив на довкілля 284
10.5. Екологічні аспекти нетрадиційної енергетики 287

11 **ЕНЕРГЕТИКА Й ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА** 293

11.1. Енергопостачання та екологічна ситуація в Україні 293
11.2. Енергетичні аспекти екологічної безпеки 299

12 **ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА І СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ** 303

12.1. Консалтингові схеми в енергетиці 303
12.2. Енергетичний аудит і методичні основи його проведення 307
12.3. Енергетичний менеджмент 312
12.4. Енергозбереження 317

13 **ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В ЖИТЛОВО-КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ** 323

13.1. Комунальні енергопідприємства ЖКГ – складова частина малої енергетики 323
13.2. Концептуальні положення розвитку комунальної енергетики України 328
13.3. Концептуальні положення і головні напрями енерго- та ресурсозбереження в ЖКГ ... 337

СПИСОК ВИКОРИСТАННОЇ І РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ ... 352

В.А. Маляренко, Л.В. Лисак

М 21 Енергетика, довкілля, енергозбереження. /Під заг. ред. проф. В. А. Маляренка, Х.: Рубікон, 2004. – 368 с.
ISBN 966-7152-52-9.

У книзі викладено загальні відомості про енергетику та її місце в житті людства, про стан та перспективи розвитку паливно-енергетичного комплексу, про традиційні та альтернативні джерела енергії. Розглянуто головні аспекти взаємодії об'єктів енергетики, базових енергоустановок і довкілля, а також напрямки зменщення негативного впливу енергетики на екологію, в першу чергу такі, як енергозбереження, енергетичний аудит та менеджмент.

Особливу увагу приділено концептуальним питанням розвитку сучасної муніципальної енергетики та енерго- і ресурсозбереження в житлово-комунальному господарстві України як діючим важілям підвищення його ефективності.

Для студентів, аспірантів, викладачів, наукових та інженерно-технічних працівників, а також широкого кола читачів, які цікавляться питаннями енергетики, екології, охорони навколишнього середовища та енергозбереження.

ББК 31.38
УДК 621.311:502.5

Наукове видання

МАЛЯРЕНКО
Віталій Андрійович

ЛИСАК
Леонід Володимирович

ЕНЕРГЕТИКА ДОВКІЛЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Українською мовою

Художнє оформлення В. А. ГРИГОРЕНКО
Перекладач Н. В. БОРДУКОВА
Редактор А. Х. БАЛАБУХА
Коректор В. В. БОРДУКОВ
Технічний редактор О. С. ГОЛОТА
Оператор набору І. А. ІВАНЦОВА
Комп'ютерна верстка О. С. ГОЛОТА
Відповідальний за випуск С.А. ГОЛОТА

Підписано до друку 00.06.2004. Формат 60×90 1/16.
Папір офсетний. Друк офсетний. Гарнітура Ньютон. Ум. друк.
арк. . Обл.-вид. арк. . Наклад 500 прим. Зам. № .

Видавництво "Рубікон" ТОВ
61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 11
тел./факс (0572) 19-52-88
E-mail: rubikon@vl.kharkov.ua

Віддруковано у ТОВ "Навчальний друк"

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК