

Практична робота №7

ЕНЕРГЕТИЧНА ОСНОВА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ

Видатний фізик, лауреат Нобелівської премії П. Л. Капіца підкреслював, що основним фактором, який визначає розвиток матеріальної культури людей, є створення і використання джерел енергії. Водночас існують також і негативні аспекти оволодіння тими чи іншими джерелами енергії, починаючи від сили згоряння порошу до енергії розщеплення атомного ядра. Тому досягнення сутнісних вимірів розвитку енергетики, зіставлення гуманістичних та антилюдських її застосувань і є одним із актуальних аспектів дослідження екологічної культури людства.

Виробництво і споживання енергії демонструє декілька парадоксів. Насамперед це несумірність прямих енергетичних можливостей Сонця (як головного джерела енергії на Землі) та можливостей людини як користувача цієї енергії. Водночас користувач активно впливає на перерозподіл сонячної енергії, з тим щоб наблизитися в цьому плані до масштабів не тільки геологічних, а й космічних. Інший парадокс стосується цілком реальної можливості енергетичної кризи для людства, з одного боку, і наявності "океану" вільної енергії, з іншого. В основі обох парадоксів лежить проблема ефективного та цілеспрямованого використання цієї енергії.

Існує також і декілька менш об'ємних суперечностей. Чому, наприклад, виробляючи на душу кожного із землян величезну кількість енергії, людство не змогло позбутися таких лих, як голод і холод для значної кількості людей? Чому, маючи надзвичайно ефективні засоби і джерела видобування енергії, люди часто споживають ресурси, використання яких для цієї потреби є злочином (ліс)? Ці та інші приклади свідчать про те, що проблема енергетичної основи життєдіяльності людини є проблемою не лише науки та техніки, а й соціальних наук, культури загалом.

1. Енергетика біосфери

Головним джерелом енергії в біосфері є **сонячна енергія**. Певна кількість енергетичних ресурсів міститься в геофізичних та геохімічних структурах. Скажімо, йдеться про енергію атомного розпаду чи енергію хімічних реакцій. В кінцевому підсумку, звичайно, ці джерела енергії також детерміновані космогенними чинниками, однак їхні формотворення та прояви дають змогу розглядати їх як відносно незалежні від сонячної енергії. Особливо це стосується енергії хімічних реакцій, на використанні яких спеціалізується велика група організмів — хемотрофи. Однак, по суті, на Землі не існує інших джерел енергії, окрім сонячної. *Функції живої речовини та біосфери в цілому полягають у засвоєнні, накопиченні, трансформації та перерозподілі цієї вільної енергії. Загалом, біосфера виконує, таким чином, і фундаментальну космічну функцію, посилюючи негентропійні тенденції і протистоячи тенденціям ентропійним.* Інакше кажучи, вона вносить в універсум більшу організованість, порядок, на противагу дезорганізаційним процесам, хаосу. Людина також включена у цей кругообіг, використовуючи акумульовану енергію та речовину для розбудови свого власного світу — світу культури.

Сонячна енергія, здолавши відстань від світила до Землі, падає на поверхню планети. Одна частина її відразу відбивається атмосферою у міжпланетний простір, друга — відбивається від земної кори, нагріваючи, таким чином, і її поверхню, і атмосферу. Від оптичної щільності атмосфери залежить, скільки сонячної енергії вона поглине: прозоріше повітря завжди холодніше, оскільки погано затримує сонячне проміння, і навпаки. У свою чергу, частина затриманої енергії використовується при фотосинтезі.

Співвідношення відповідних показників визначається такими величинами: якщо взяти всю падаючу на Землю енергію за 100 % (3×10^{24} Дж.), то у процесі фотосинтезу акумулюється 0,1 % цієї енергії (3×10^{21} Дж.), для приготування їжі використовується взагалі 0,001% ($1,5 \times 10^{19}$ Дж.). Слід зазначити, що до річного показника фотосинтезу нині майже сягають сукупні енергетичні витрати людства, але це відбувається і за рахунок енергетичних ресурсів, накопичених автотрофами у минулі геологічні епохи (вугілля, нафта, газ).

Здатність біосфери акумулювати енергію досягається завдяки обставинам двоякого характеру. З одного боку, у процесі еволюції виникли специфічні макромолекули та їхні комплекси (передовсім, хлорофіл, мітохондрії тощо), які роблять можливим хімічне протікання процесів перетворення та накопичення енергії з її наступним використанням для забезпечення життєвих процесів. З іншого боку, множинність та різноманітність ієрархічно організованих біосистем біосфери, включаючи її саму, уможлиблюють енергетичні потоки між дискретними утвореннями в масштабах всієї планети, сприяючи, таким чином, глобальним *енергетичним змінам*. Причому останню функцію біосфера як самоорганізована система може виконати тим краще, чим складнішим та різноманітнішим буде якісний склад екосистем, чим складнішим структурно та функціонально будуть біосфера та її блоки. Виявляється, що рух у такому напрямку — енергетично вигідний та конкурентоспроможний. А тому урізноманітнення видового складу біосфери — вагома підстава до винайдення засобів досягти й утримати енергетичні та інші переваги.

Загалом, як влучно відзначив відомий фізик Ервін Шрьодінгер, автор одного з наукових бетселерів XX ст. "Що таке життя з погляду фізики?", "жити — означає всмоктувати в себе порядок з природного навколишнього середовища".

Енергетичні ресурси в біосфері не лише створюються нині існуючими організмами, а й нагромаджувалися у минулі геологічні часи. Тому реальна енергетика біосфери, а особливо енергетичні підвалини життєдіяльності людини, визначаються сукупним потенціалом вуглецю та вуглецевих сполук. Баланс різних компонентів добре простежується за даними таблиці 11.

Слід зазначити, що нинішня цивілізація живе значною мірою саме "за рахунок" енергетичного потенціалу, нагромадженого до її виникнення. Спалюючи кам'яне вугілля, нафту, природний газ, люди вводять у нинішній енергетичний баланс фотосинтетичну продукцію минулих геологічних епох. Тому інколи кажуть, що люди вже "спалили", тобто витратили, майже 200 млн років еволюції — нагромаджених за цей час розвитку органічного світу вуглецевих ресурсів.

Таблиця 11. Ресурси і запаси горючих копалин, продуктів біомаси та баланс CO₂

Ресурси	Вугільний еквівалент, т	Вуглець, т	Органічна речовина, т	Енергія, дж
Розвідані запаси:	8×10^{11}	-	-	3×10^{22}
вугілля	5×10^{11}	-	-	-
нафта	2×10^{11}	-	-	-
газ	1×10^{11}	-	-	-
Ймовірні ресурси:	113×10^{11}		-	3×10^{23}
вугілля	85×10^{11}	-	-	-
нафта	5×10^{11}	-	-	-
газ	3×10^{11}	-	-	-
нетрадиційні джерела нафти та газу	20×10^{11}	-	-	-
Щорічний фотосинтез	-	8×10^{10}	2×10^{11}	3×10^{21}
Нагромаджена біомаса	-	8×10^{11}	-	2×10^{22}
Щорічне світлове споживання енергії	-	5×10^9 (без викопного палива)	-	3×10^{20}
CO₂ в атмосфері	-	7×10^{11}	-	-
CO₂ у поверхневому шарі океану	-	6×10^{11}	-	-

2. Ланцюги харчування

Енергетичні потреби задовольняються в ланцюгах харчування. *Ланцюги харчування визначаються як переміщення речовини та енергії від одних організмів до інших.* Кожна

попередня ланка ланцюга слугує джерелом їжі для наступної. У межах ланцюгів харчування можуть реалізовуватися різні форми відносин між організмами. Найпоширеніша з них — поїдання, причому розрізняється травоядність та плотоядність. Вельми поширений і паразитизм — здатність жити одним істотам за рахунок життєвих сил інших. Нерідко зустрічається також симбіоз — взаємодіюче співжиття двох чи більше видів. Багато ланцюгів харчування вінчає собою людина. Вона ж постає, особливо для паразитичних та симбіотичних видів, важливим складником життєвого циклу багатьох істот. Так, наприклад, патогенні мікроорганізми саме в людині знаходять середовище власного існування, а так звані синантропні види, тобто види, життєдіяльність яких пов'язана із людським світом, пристосувалися виживати за рахунок того, що створює чи вивільняє людина.

Ланцюги харчування можуть мати різну довжину. Одні з найкоротших — дво- і тричленні. Так, сонячна енергія стимулює розвиток злаків (пшениці), а хліб споживає людина. Трохи довші ланцюги типу морква-засць-вовк чи зерно-миша-кіт. Бувають ланцюги харчування, що включають більше трофічних рівнів, інколи понад десять. Прикладом подібних зв'язків можуть слугувати переміщення енергії та речовини у морській екосистемі, яке здійснюється в одному з напрямків типу: світло — фітопланктон — бактеріопланктон — коловертки — хижий зоопланктон — личинки риб — риби планктофаги — хижі риби-I — хижі риби-II — хижі морські ссавці — людина. Таким чином, названий трофічний ланцюг складається з десяти ланок.

У міру проходження їжі по харчовому ланцюгу втрачається значна кількість енергії: майже 80-90% її розсіюється у вигляді тепла, а зберігається, отже, близько 10% енергії. Таким чином, довжину трофічних ланцюгів лімітує другий закон термодинаміки, і тому вона рідко сягає понад 6-7 компонентів, включаючи в середньому 3-4 ланки. Так, у ланцюгу "конюшина — луговий коник — зелена жаба — вуж — сокіл", хижий птах, тобто остання ланка здобуває лише 0,0004% сонячного проміння, яке потрапило на луки. Існує також зв'язок між фізичними обсягами представників різних трофічних рівнів: як правило, має місце лінійна залежність — у ряді паразитів вони зменшуються, у ряді хижаків — збільшуються.

Стосунки між організмами в ланцюгах харчування зручно подавати також у вигляді різноманітних **екологічних пірамід**: чисел, біомаси, енергії та ін.

Піраміда чисел вперше була запропонована у 1927 р. Ч. Елтоном. Вона відображає кількісне співвідношення особин на різних рівнях ланцюга харчування. Так, на злаковому луці кількість особин у ланцюзі "рослини — безхребетні травоядні — безхребетні плотоядні — хребетні" невпинно зменшуються. Поряд з цим піраміда чисел не дає повної уяви про потоки речовини та енергії, оскільки не враховує розмірність та продуктивність особин різного рівня.

Піраміда біомаси відображає співвідношення між трофічними рівнями, виражене у їхній масі. У міру проходження ресурсів у ланцюгу харчування: "продуценти — травоядні консументи — плотоядні консументи" біомаса зменшується. Вимірювати біомасу можна у грамах сухої речовини на м². Загалом, піраміда біомаси наочно показує, що у міру зміни трофічних рівнів має місце прогресуюче зменшення загальної біомаси.

Піраміда енергії — одна з екологічних пірамід, що дає змогу оцінити кількість енергії, яка притаманна кожному з трофічних рівнів ланцюга харчування або проходить крізь нього. Піраміда енергій графічно також являє собою прогресуючу картину падіння енергетичного потенціалу кожного з наступних рівнів. Звичайно енергію рівня вимірюють у певних енергетичних еквівалентах за одиницю часу (наприклад, калоріях чи джоулях). Безпосереднє включення людини в глибинні трофічні ланки, оминаючи проміжні рівні, різко підвищує ефективність їх використання. Піраміда енергії чи не найточніше відображає функціональні зв'язки в екосистемах, спираючись на врахування реальних швидкостей проходження кількості ресурсу (їжі) у ланцюгу харчування.

Крім згаданих, існують й **інші види екологічних пірамід** — і вікові, розмірності особин,

виживання тощо, які дають можливість повніше осмислити динаміку живої речовини в біосфері.

3. Інтенсифікація енергетики екосистем: природна та антропогенна

Загальновідомою є теза про те, що людина кардинально змінює своє довкілля і являє собою найпотужнішу силу біосфери. Сьогодні вона наповнюється численними конкретними показниками та вимірами. Чи не найпоказовішим щодо цього є вплив людини на енергетику екосистем — як природних, так і трансформованих внаслідок її життєдіяльності.

Зрозуміло, що повнота енергетичного базису визначає ступінь вивільнення людини від безпосередньої залежності від природного довкілля. Тому людина завжди прагнула розширити енергетичну основу свого життя. Відбувається це, як правило, двома шляхами: перший пов'язаний з використанням дедалі значніших запасів біопродукції (як нинішньої, так і акумульованої в минулому у вигляді вугілля та ін.); другий реалізується через інтенсифікацію тих екосистем, в котрих протікає людське життя. З певними застереженнями ці шляхи можна назвати, відповідно, екстенсивним та інтенсивним, хоча різниця між ними нерідко вельми умовна.

З **екстенсивним розширенням** енергетичної бази життєдіяльності ми зустрічаємося повсякчас і на всіх рівнях організації людських спільнот. Так чинить, скажімо, держава, розробляючи дедалі нові горизонти та глибини корисних копалин чи закуповуючи паливе за кордоном. Але так само, по суті, чинить і житель Сахеля чи Амазонії, щоранку відправляючись на пошук хмизу та дров для свого багаття. Спалені ліси, спустошені буші — тому свідчення.

Інтенсивний шлях — інший, він пов'язаний з оптимізацією використання певних ресурсів чи такою трансформацією довкілля, за якої воно дає найбільшу енергетичну віддачу. Саме в цьому контексті слід розглядати, наприклад, первісне землеробство, коли гіпотетичний аграрій винищував на ділянці дикої пшениці — полби, інші рослини, створивши таким чином сприятливіші умови для проростання бажаного злака. Але подібна ж логіка лежить і в сучасній технології, скажімо, виробництва біогазу, коли органіка від домашньої худоби знову використовується для задоволення потреб в опаленні.

Порівняння обох шляхів свідчить про неоднакову їхню цінність та потенції: хоча переважає поки що перший шлях — екстенсивного розширення енергетичної основи людського життя. Динаміка їх є неоднозначною і залежить від багатьох чинників: рівня економічного розвитку та природного довкілля спільноти, досягнення нових технологій, культурних традицій, чисельності людських популяцій та ін. Водночас можна вести мову про деяку магістральну лінію розвитку енергетичної основи людства, як це видно з наступної таблиці (тут, субсидовані — котрі мають додаткове енергетичне джерело, а несубсидовані — відносно замкнені екосистеми) (Дж. Сіммонс, 1979; Е. П. Одум, 1975).

Таблиця 12. Типи екосистем залежно від енергетичного стану

Тип екосистем	Річний потік енергії, ккал/м кв рік	
	Діапазон	Середнє значення (оцінка)
I Несубсидовані природні сонячно-енергетичні екосистеми, наприклад, відкриті поверхні океанів, гірські ліси. Діяльність людини: полювання — збирання, примітивне землеробство.	1000-10000	2000

II Природно субсидовані сонячно-енергетичні екосистеми, наприклад приливні естуарії, рівнинні ліси, коралові рифи. Природні процеси сприяють притоку сонячної енергії: наприклад, припливи, хвилі приносять органічну речовину чи здійснюють повторний обіг поживних речовин, так що більша частина сонячної енергії витрачається на утворення органічної речовини. Діяльність людини: рибальство, полювання — збирання.	10000-50000	20000
III Субсидовані людиною сонячно-енергетичні екосистеми. Екосистеми, що виробляють їжу і рослинні волокна, субсидовані енергією людини як в простих землеробських системах чи на основі енергії викопного палива, так і в розвинених механізованих землеробських системах. Завдяки зеленій революції культури вирощуються шляхом використання не лише сонячної, а й викопної енергії у формі добрив, пестицидів і частенько відкачаної води. Застосовуються також у деяких формах аквакультури.	10000-50000	20000
IV Субсидовані паливом міські промислові системи. Паливо замінило сонце як найважливіше джерело безпосередньої енергії. Ці системи породжують багатство, а також є генераторами забруднення середовища в містах, передмістях і промислових районах. Вони паразитують на типах I-III для підтримання існування (наприклад, постачання кисню) і для забезпечення їжею, а можливо, і паливом, хоча останнє, більш ймовірно, надходить з підземних джерел за винятком економічно менш розвинутих країн, де деревина все ще застосовується в побуті як паливо.	10000-30000000	2000000

Найпродуктивніші природні екосистеми і найпродуктивніше сільське господарство, мабуть мають, зауважує К. Грегорі, верхні межі рівня 5000 ккал/м кв-рік.

Неважко помітити, що в екосистемах усіх типів можлива енергетична діяльність як екстенсивна, так і інтенсивна. Так, в екосистемах типу I етноси шляхом "спроб і помилок" відшукують оптимальні варіанти природокористування, завдяки чому аборигенні етноси на своїй автохтонній території знаходяться, як правило, в стійких відносинах з довкіллям. І навпаки, прийшли етноси руйнують екосистеми не в останню чергу через непередумане екстенсивне їх використання. Блискучі приклади інтенсифікації енергетики екосистем людина здобула в типі III, особливо внаслідок зрушень у "зеленій революції". В екосистемах типу IV нині спостерігаємо тенденції: з одного боку, поширення витратних енергомістких технологій, з іншого — економних енергозберігаючих. Від того, яка тенденція переважатиме, багато в чому залежить добробут суспільства і збереження довкілля.

Необхідно зазначити також, що відомі ситуації, коли через екосистему протікають значно більші потоки енергії, в тому числі й індуковані людиною. Однак їх слід розглядати окремо, оскільки тут мають місце катастрофічні для самих екосистем наслідки: втрата ними власної ідентичності, тобто руйнування. У випадках I-IV зберігається відносна сталість екосистем, хоча нерідко мають місце кризові явища.

Йдеться, зокрема, про природні (стихійні) явища, які супроводжуються виділенням величезної кількості енергії або пов'язані з використанням людиною надпотужних джерел чи величезної кількості енергії. Інакше кажучи, такі явища, як землетруси, удари метеоритів, виверження вулканів, тайфуни, а також вибухи потужних пристроїв, у тому числі й заснованих на силах між- та внутрішньоядерної взаємодії, привносять в екосистеми величезні потоки енергії, що призводить до жахливих наслідків.

Можна порівняти енергетичну потенцію згаданих явищ з іншими, добре відомими. Так, наприклад, Земля одержує сонячної енергії $5,2 \times 10^{24}$ Дж./рік, а сейсмічна енергія становить у середньому $1,0 \times 10^{19}$ Дж./рік, тобто відрізняється на п'ять порядків. Водночас вибух атомної бомби в 5 Мт призводить до виділення енергії в $5,7 \times 10^{16}$ Дж., тоді як енергія вибуху вулкану Кракатау у 1883 р. становила $1,81 \times 10^{22}$ Дж., тобто сумірна з потоком сонячної енергії на планету в цілому.

Наразі ситуація принципово змінюється, коли ввести в розрахунок просторово-часові координати. Перелічені вище явища — суть короткочасні, тобто імпульсні, вони відбуваються на відносно невеликій площі, внаслідок чого навантаження на неї за одиницю часу перевищує будь-які аналогії з біопродуктивністю. Так, при утворенні метеоритного кратера діаметром близько одного кілометра (а це досить звична для геологічної історії Землі подія) земна кора отримує 10^{18} Дж. енергії, при діаметрі в 28 км. — 10^{22} Дж., при діаметрі в 72 км. — 10^{24} Дж. (А. П. Хряніна, 1987). Причому вся енергія виділяється за частки секунди. Так само відбувається і вибух атомної чи термоядерної бомби, а тому про збереження екосистем зрозуміло, і мови йти не може.

З певними застереженнями, однак, такий тип можна позначити як **V тип екосистеми**: це такі екосистеми, котрі субсидовані надвисокими кількостями енергії (природного чи антропогенного походження) і які внаслідок цього знищуються. У таких випадках проблема прийнятної для життя людини довкілля постає надзвичайно гостро, особливо якщо врахувати дедалі зростаючу кількість антропогенних впливів.

4. Історична еволюція енергоспоживання

Переваги набутої людьми адаптивної стратегії чи не найповніше розкриваються в особливостях історичної еволюції енергоспоживання. Дві найхарактерніші тенденції визначають її суть: з одного боку — **кількісне розширення енергетичної основи життєдіяльності**, з іншого — **якісне наростання її природи, тобто залучення до використання дедалі нових джерел енергії**.

У ході антропогенезу тривалий час людина покладалася лише на енергію власних рук. Однак відомо, що за м'язовою силою перші гомініди (окрім деяких форм) значно поступалися своїм безпосереднім конкурентам у боротьбі за сприятливе довкілля. Вихід з цієї ситуації було знайдено шляхом залучення до користування як сторонніх предметів (знарядь праці), так і додаткових джерел енергії.

Вже удар каменем фокусував енергію рук в одній точці, чим значно посилював їхню силу, кинутий спис різко збільшував швидкість "пересування" давніх людей, а викопана яма на здобич позбавляла необхідності концентрувати енергію на безпосередній сутичці зі звіром, а накопичувати її поступово. Вагомими кроками стали також і оволодіння зовнішніми енергетичними джерелами — використання вогню, а також укрить та одягу. Крім поліпшення якості їжі за допомогою вогню, що забезпечувало додаткові енергетичні можливості організму, ці речі давали змогу також мінімізувати використання та втрати енергії у несприятливих погодних чи кліматичних умовах (вночі, взимку тощо).

Зробимо тут деякі пояснення. Людина споживає їжу, кисень, які й забезпечують її життєдіяльність. Отримана таким чином енергія витрачається на підтримання функціонування організму (так званий основний обмін), а також на виконання певної роботи — перенесення вантажів, копання землі, читання книги тощо. Вимірюється така енергія в кілокалоріях за годину (чи добу). Відомо також, що енергетична ємність різних продуктів неоднакова: споживання 100 г жирів дає близько 900 ккал., 100 г білків та вуглеводів — по 400 ккал. тощо.

Слід також мати на увазі, що використовувану енергію поділяють на: **первинну** — ту, що міститься в первинних природних джерелах (падаючій воді, добутому вугіллі, нафті, газів тощо), **вторинну** — перетворену форму попередньої (електричний струм, пальне), **кінетичну** — таку, що забезпечує енергетичні потреби споживача (енергія двигуна чи світильника), **корисну** — ту, що переходить у виробу чи використовується в обслуговуванні.

Одній пересічній людині на добу потрібно від 2 до 3 тис ккал., а середній сім'ї з чотирьох-п'яти чоловік — від 9 до 12 тис. ккал.

Нові можливості в галузі енергетики відкрилися з того часу, коли людина почала освоювати сторонні джерела енергії. Досить довго головними з них була **енергія домашніх тварин** (коня, віслюка, вола, верблюда, лами), причому як у вигляді продуктів харчування, так і у вигляді енергії первинної.

Згодом люди почали використовувати **енергію води та вітру**, спочатку у мореплавстві чи іригаційних роботах, а потім — практично в усіх сферах господарювання. З часом така енергія стала чи не основним джерелом її: в Російській імперії, наприклад, на початку ХХ ст. налічувалося понад 150 тис. млинів (водяних). Старі земські звіти зафіксували також і кількість вітряків: їх було близько 200 тис, загальною потужністю до 2 млн кінських сил, і на них у 1914 р. було змолото понад 2 млрд пудів збіжжя, при загальному врожаї хлібів у той рік у 4,4 млрд пудів.

Поступово людям стає підвладною й **енергія фізико-хімічних процесів**. Йдеться передовсім про енергію згорання вугілля, нафти та газу — сконденсованої сонячної енергії минулих епох. Нафту використовували ще в Єгипті при муміфікації небіжчиків, у Греції — під час виготовлення бойової запальнової суміші ("грецький вогонь"), з лікувальною метою, для освітлення приміщень. Вугілля видобували ще римляни, а ще раніше його називали "фракійським каменем", який, за словами Арістотеля, виділяє при згоранні такий неприємний запах, "що жодна рептилія не в змозі залишатися на місці". Згадки про використання вугілля у ковальській справі залишив Теофраст. Проте широкого промислового використання нафта й вугілля набули лише з часів Середньовіччя, а особливо — в Нові та Новітні часи.

Так, **вугілля** видобували й використовували для опалення житла в Китаї, Німеччині, Франції, Англії. Про розмах цієї справи свідчить хоча б той факт, що англійський король Едуард I у 1257 р. заборонив спалювати вугілля в Лондоні під загрозою смертної кари — настільки воно забруднювало повітря. У 1315 р. використовувати вугілля було заборонено і лондонським ремісникам через великий сморід від чадного газу. Так було покладено початок боротьбі за чистоту повітря на туманному Альбіоні.

Інтенсивна промислова експлуатація вугілля припадає на XVII-XVIII і подальші століття, коли великого обсягу набуло ливарне виробництво, було винайдено парові двигуни тощо. У XIX ст. промислового значення набуває **нафта**, особливо після відкриття в Оклахомі та на Каспії значних її покладів, і коли почали широко впроваджувати двигуни внутрішнього згорання. Згодом до зазначених джерел енергії долучився і природний газ, сфера застосування якого дедалі ширшає.

У ХХ ст, людство приступає до освоєння двох інших джерел енергетики: енергії **ядерного** поділу та енергії термоядерного синтезу. І та, й інша спочатку, на жаль, була використана у військовій справі — у вигляді атомної та водневої бомб. Що ж до мирного їх використання, то атомна енергія вивершилась лихом Чорнобиля, а термоядерна — до сих пір не покорена.

1942 р. в США, а 1946 р. в СРСР були запущені перші ядерні реактори, щоправда, невеликої потужності (до десяти ватт), які працювали виключно на військових. А в червні 1954 р. розпочалася регулярна експлуатація першої в світі АЕС промислового типу (Обнінськ), потужністю 5 тис. кВт. До речі, потужність такої, станції цілком порівнювана з потенціями вітроелектричного агрегату (вітряка) марки ВД-3,5, який давав струм, наприклад, у тій же Московській області. Проте атомна ейфорія надовго перепинила шлях розвитку таким екологічно чистим джерелам енергії.

Тут варто нагадати слова одного з апологетів "атомізації" енергетики — акад. О. П. Александрова, творця реактора чорнобильського типу:

"Значення введення в експлуатацію ресурсів ядерної енергетики не вичерпується тим, що

практично назавжди буде знята загроза паливної недостатності. Ядерна енергетика буде мати й важливе соціальне значення. Пом'якшення гостроти паливної проблеми, безперечно, приведе і до зниження значення цієї проблеми як фактора політичної напруги. Введення ядерної енергетики створить можливості більш різноманітного розвитку країн, що користуються в наш час дорогим імпортом паливом. Завдяки надзвичайно високій енергоємності ядерного пального вартість транспортування його в будь-які місця земної кулі відносно низька. Тому райони й країни, обділені природою, що не мають традиційних паливних ресурсів, зможуть одержувати відносно недорогі ядерні енергоресурси".

Ця трохи задовга цитата керівника тодішньої радянської атомної енергетики, а пізніше — і президента Академії наук СРСР знаменна тим, що стратегія нелюдського використання атомної енергії була сформована задовго до чорнобильської трагедії, оскільки нині відомо, як лукавив Александров, впроваджуючи власний реактор, знаючи його недосконалість та потенційну загрозу довкіллю. Тим часом і політичні аргументи, висловлені в цій цитаті, обернулися для України суперексплуатацією її природних ресурсів, однобічним розвитком економіки, залежністю від зовнішніх чинників.

Втім, атомна енергетика розвивається поряд з іншими методами видобування енергії. У структурі сучасного енергобалансу багатьох країн дедалі помітнішою стає і частка таких джерел енергії, як океанічна, геотермальна, біотехнологічна, хвильова, сонячна тощо. В цілому ж як незаперечний факт сприймаємо тенденцію *примноження використовуваних джерел енергії та збільшення можливостей людини щодо вивільнення їх потенцій*. Наступна таблиця дає уявлення про те, як у ході історії змінювалося енергоспоживання пряме та опосередковане, в яких "прірвах" зникає дедалі більша частка енергії, яка добувається (В. Сассин, 1981).

Таблиця 13. Динаміка енергоспоживання в історії людства, ккал/добу

Споживач	Харчування	Побут і обслуговування	Промисловість і сільське господарство	Транспорт	Всього
Первісна людина	2				2
Мисливець	3	2			5
Первісний землероб	4	4	4		12
Культурний землероб	6	12	7	1	26
Людина "індустріальна"	7	32	24	14	77
Людина "технологічна"	10	66	91	63	230

Як свідчать дані таблиці, з плином часу розширюються сфери життєдіяльності людини, котрі потребують додаткової енергії. Водночас різко збільшуються енерговитрати людини, причому постійно посилюється диспропорція відносно харчової компоненти. Інакше кажучи, процес соціалізації змушує людину витратити левову частку енергії на специфічно людські цілі; частка ж енергії, інваріантна з іншими видами організмів (зокрема, основний обмін), залишаючись за абсолютним значенням практично стабільною, відносно до загального енергоспоживання постійно зменшується.

Поряд з розширенням використання різних джерел енергії, а також інтенсифікації їх використання спостерігається послідовне зміщення домінанти щодо вирішального джерела енергії: мускульна енергія — дерево — вугілля — нафта — газ — ядерне паливо. Побіжно можна зробити і ще одне спостереження, а саме: зменшується частка первинної енергії і, навпаки, зростає вторинної. Наочне уявлення про це дає наступна таблиця (Г. Хачатуров, 1981).

Таблиця 14. Історична динаміка структури сукупного енергобалансу

Рік	Вид енергії та її частка у сукупному енергобалансі, %							
	М'язева	Органічні рештки	Дерево	Вугілля	Вода	Нафта	Газ	Ядерне паливо
0,5 млн років тому	100	-	-	-	-	-	-	-
II тисячоліття до н.е.	70	25	5	-	-	-	-	-
1500	10	20	70	-	-	-	-	-
1910	-	16	15	63	3	3	-	-
1935	-	15	6	55	6	15	3	-
1972	-	2	-	32	8	34	18	6
2000	-	-	-	21	6	30	22	21

У літературі користуються таким показником, як коефіцієнт енергетичної ефективності виробництва (КЕ), який відображає зменшення кількості виробленого корисного продукту на одиницю витраченої енергії. Підраховано, що для підсічно-вогневого землеробства (район басейну р. Конго) КЕ становить 1:65, вирощування кукурудзи за допомогою добрив (Нігерія) характеризується КЕ 1:10, виробництво кукурудзи в США — 1:2, виробництво хліба — 1:0,525, молока — 1:0,374, бройлерів — 1:0,10, салату (в теплицях) — 1:0,0033 (останні показники по Великобританії) (С. Б. Лавров, Г. В. Сдасюк, 1985). Отже, на одиницю виробленої продукції із розвитком цивілізації витрачається дедалі більше первинної енергії.

5. Структура сучасного енергоспоживання

Спробуємо оцінити диференційовано структуру енергоспоживання в наш час, а також можливі тенденції його розвитку. В таблиці, наведеній нижче, дається оцінка стану та перспективи виробництва первинної енергії, причому зроблено це на двох можливих рівнях — мінімальному і максимальному (В. Сассин, 1981; П. Кууси, 1988):

Таблиця 15. Виробництво первинної енергії*

Первинне джерело	1975 р. (базовий)	2000 р.	
		мінімальний варіант	максимальний варіант
Нафта	3,62	4,75	5,89
Газ	1,51	2,53	3,11
Вугілля	2,26	3,93	4,95
Реактори (на звичайній воді)	0,12	1,27	1,70
Реактори — примножувачі (на швидких нейтронах)	0,00	0,02	0,04
Гідроенергія	0,50	0,83	0,93
Сонячна енергія	0,00	0,09	0,10
Інші	0,21	0,17	0,22
Сукупно	8,21	13,59	16,84

* Одиниця вимірювання — террават-років/рік, кожен з яких становить 10^7 кіловат-років/рік.

Неважко помітити, що основою енергобалансу є триада "нафта-газ-вугілля", до якої додає свою дедалі вагомішу частку також і атомна енергетика. Оскільки ж тенденції розвитку суспільства вимагають збільшення виробництва електроенергії щонайменше у півтора-два рази, то цілком природним сприймається занепокоєння щодо енергетичних перспектив людства. Адже згадана "триця" — це ресурси вичерпні, а атомна енергія нині не може розраховувати на безоглядне впровадження у зв'язку з загрозою, яка існує з її боку для споживача у випадку аварій на АЕС. Тому розглянемо конкретніше кожне із використовуваних джерел енергії.

Як вже зазначалося, вирішальну роль в енергобалансі поки що відіграють **горючі речовини**, які видобувають із земної кори, і які базуються на вуглецевій основі. За підрахунками вчених, всього в надрах міститься десь 10 т викопного **вугілля**. На сьогоднішній день люди вже спожили загалом незначну частку цих покладів, хоча і вона еквівалентна "роботі" біосфери Землі за сотні мільйонів років. Це становить приблизно 150 млрд т вугілля.

Слід мати на увазі, що вже розвідані поклади цього палива становлять десь 600 млрд т, а за деякими оцінками дану величину можна збільшити, принаймні, на порядок. Тому безпосередньої загрози вичерпання вугільних ресурсів поки що не існує. Справа ускладнюється, однак, тим, що видобувати вугілля стає дедалі важче, оскільки легкодоступні родовища експлуатуються завжди першими. Зростає вартість видобутку, а отже, і його енергоємність, що в кінцевому підсумку означає чималі витрати вугілля на його видобуток. Що ж стосується регіонального розподілу вуглевидобутку, то картина приблизно така: США — 30,8% світових запасів цього палива, країни Східної Європи — 23,1%, інші країни Європи — 21,4%, Китай — 13,5%, Австралія — 4,2%, Близький Схід — 3%, Африка — 2,6 %, Канада — 0,9%, Центральна Америка — 0,5% тощо (Г. Одум, Э. Одум, 1978).

Нафта також належить до числа вичерпних ресурсів, Розвідані її запаси наближаються до 100 млрд т, хоча також існують інші, набагато оптимістичніші оцінки. З цих ресурсів використано вже майже третину. Щороку при цьому видобувається біля 3 млрд т нафти, причому цей обсяг можна досить легко збільшити вдвічі, однак на заваді стоїть проблема квотування видобутку нафти країнами експортерами, переважно — арабськими. Географія розподілу нафти приблизно така: Близький Схід — 53 %, Африка — 16 %, Росія — майже 15 %, США — 5 %, Латинська Америка — 3 %, Венесуела, Індонезія, Канада, Західна Європа — відповідно кожна по 2 % світового ресурсу (Г. Одум, Э. Одум, 1978).

Дедалі міцнішають позиції в структурі джерел енергії **природного газу**. За деякими підрахунками його внесок у сукупну первинну енергію на початку третього тисячоліття може становити близько 60%. Нині ж основні володарі газу — США та Росія, на яких припадає 2/3 всього видобутого у світі природного газу. Оскільки газ є постійним супутником нафти, то, зрозуміло, що його поширення приблизно збігається з географією нафтових родовищ, зокрема на Близькому Сході зосереджено 40% всіх розвіданих його запасів. Загалом, ресурси газу досить значні, причому оцінка їх постійно переглядається в бік збільшення.

Великі потенційні можливості забезпечення енергетичних потреб мають і такі копалини, як **бітумінозні піски та горючі лупаки (сланці)**. Не вся нафта в земній корі знаходиться у рідкому стані: частина її проникає крізь тріщини в інші породи, розчиняючи їх і перемішуючися з ними. Отже, найскладніше питання в цій галузі — відділення пального з видобутої сировини. Це, до речі, досить успішно роблять в Китаї, де таким чином отримують десятку частину всієї нафти країни. В Росії таким чином одержують 35 млн т нафти. Великі поклади таких копалин є в США, Канаді, Колумбії, на Близькому Сході, в Аргентині, Бразилії, Таїланді, Естонії, Україні тощо.

Використання горючих копалин на вуглецевій основі пов'язано з істотними соціально-екологічними проблемами. Спочатку переважало занепокоєння щодо можливого швидкого їх вичерпання, наслідком чого був відомий енергетичний струс (криза і підвищення цін на нафту) 70-х років. Однак виявилось, що запасів палива достатньо, принаймні, на декілька майбутніх століть. Тоді прийшло певне заспокоєння, а водночас і деякі інші позитивні наслідки — розробка та введення в експлуатацію енергоємніших технологій, пошук інших джерел енергії тощо.

Нині на порядок денний постала інша, не менш загрозлива, ніж нестача палива, проблема: забруднення біосфери внаслідок спалювання вугілля, нафти, газу. Крім низки локальних наслідків екологічного плану, таке забруднення в змозі спричинити і глобальні ефекти, передовсім зміни газового та оптичного стану атмосфери, її середньої температури, балансу станів води, парникового ефекту, підняття рівня моря і багато іншого. Саме ці проблеми нині потребують найпильнішої уваги з боку всіх людей планети.

Вад вуглецевої сировини була позбавлена, як здавалося, **атомна енергетика**. Екологічно чиста, твердили її прихильники, дешева і невичерпна — справжня панацея від усіх енергетичних бід.

Як вже зазначалося, перша АЕС у світі була введена в експлуатацію в 1954 р. (Обнінськ). Потім були пуски АЕС в Англії — 1956 р. (Колдер-холл), США — 1957 р. (Шиппінг-порт), Франції — 1958 р. (Маркуль) тощо. Наступними етапами стали пуск водно-водяного реактора на Нововоронезькій АЕС (1964 р.) та урано-графітового реактора в Білоярську на АЕС ім. Курчатова (також у 1964 р.). Далі були розроблені ще декілька моделей атомних реакторів — на швидких нейтронах, з кип'ячим реактором та ін., які були використані з різним ефектом. Енергію АЕС нині виробляють 25 країн світу. Частка її в загальному балансі різних країн неоднакова, і коливається за даними наприкінці 80-х років так: Франція — 70%, Бельгія — 66%, Угорщина — 49%, Швеція і Південна Корея — по 47%, Тайвань — 41%, Швейцарія — 37%, Фінляндія, Болгарія, Іспанія — по 36%, Німеччина — 30%, Японія — 23%, США — 20%, Англія — 19%, Канада — 16%, Аргентина — 11%, ПАР — 7,3%, Голландія — 5,3%, Югославія — 5,2%, Індія — 3%, Пакистан — 0,6%, Бразилія — 0,3%. Ряд країн після чорнобильської катастрофи відмовилися від реалізації власних програм розвитку атомної енергетики (Австрія, Філіппіни, Швеція). Всього ж у світі працює понад 400 промислових атомних реакторів.

А тепер наведемо ще одну цитату, цінність якої визначається тим, що вона взята з нормативного дидактичного видання — підручника для вузів, а отже, відображала усталені погляди в суспільстві:

"Основними напрямками розвитку народного господарства СРСР на 1976-1980 рр." передбачено випереджаючий розвиток атомної енергетики в європейській частині СРСР. Основним напрямком у забезпеченні безпеки експлуатації АЕС в СРСР було вибрано не спорудження пристосувань, що дорого коштують, які зменшують шкідливі наслідки можливої аварії, а підвищення надійності систем, які покликані попереджувати інциденти".

Отже, монополні діяння відомчої атомної науки і промисловості щодо впровадження недосконалих реакторів доповнилися на найвищому державному рівні відмовою від убезпечення реакторів, здешевленням їх за рахунок систем безпеки. Таким чином, аварії на радянських АЕС були "запрограмовані" з самого початку розвитку атомної енергетики.

"Здешевлення" реакторів має ще один аспект: чи не головним аргументом на користь АЕС висувалася теза про невелику вартість АЕС, про надзвичайно низьку собівартість одержуваної на них електроенергії. Для підтвердження такої точки зору у свій час прихильники атомної енергії навіть склали таку таблицю (Н. С. Хлопін, 1977):

Таблиця 16. Порівняльна вартість електроенергії

Енергетична станція	Паливо	Потужність, МВт	Вартість, коп/кВт-год
Нововоронезька АЕС	збагачений уран	1455	0,641
Криворізька ГРЕС № 2	донецьке вугілля	3000	0,895
Конаківська ГРЕС	мазут, газ	2400	0,712

Дійсно, електроенергія АЕС з перерахованих — найдешевша, хоча різниця не така вже й значна. Але зауважимо, що автор розрахунків бере до уваги лише експлуатаційні витрати, включаючи вартість палива. Таким чином, зовсім не враховані вартість будівництва, вартість землі під АЕС, вартість демонтажу відпрацьованого реактора після його зупинки, не кажучи вже про можливі збитки від аварії. А всі ці кошти багатократно переважають суто "експлуатаційні" витрати, що робить тезу про дешевизну атомної електроенергії фікцією: насправді, це — чи не найдорожчий вид електроенергії, до того ж — найбільш небезпечний.

Ці висновки підтверджуються розрахунками західних експертів.

"Якби 100 електростанцій працювали справно протягом відведеного їм строку — 35-40 років, — зазначають, зокрема, відомі американські фахівці Г. Одум і Е. Одум, — то відношення

одержаної корисної енергії до витраченої склало б 2,7:1, не враховуючи витрат на дезактивацію відходів чи на відшкодування збитків при несподіваних аваріях. Ці витрати в останньому випадку можуть перевищити вартість всієї корисної енергії".

Таким чином, і в найоптимальніших умовах рентабельність атомної енергетики невисока. У випадку ж порушення нормального функціонування АЕС ніякого прибутку взагалі не створюється. Проте відповідні висновки не були враховані при розгортанні атомної енергетики в СРСР.

Крім того, досі не розв'язана проблема нейтралізації ядерних відходів: не існує надійних методів їх переробки, консервації та зберігання тощо. Отже, нинішнє покоління залишає у спадок, окрім усього іншого, ще й величезні енергетичні витрати, живе в енергетичний борг у своїх дітей. Тому цілком справедливим сприймається й інший висновок Одумів:

“Ядерні електростанції не виробляють корисної енергії. Навіть якщо існують пристрої, котрі функціонують без будь-яких аварій, вони створюють менше енергії на одиницю додатково вкладеної енергії, ніж інші джерела енергії”.

Зауважимо, що цей висновок зроблено більш як за десятиріччя до чорнобильської аварії.

Нерідко, втім, використання атомної енергії виправдане через ряд обставин: відсутність власних джерел енергії, високий рівень технологічної дисципліни та комп'ютерної озброєності.

Що ж стосується колишнього СРСР, то тут розвиток атомної енергетики, по суті, визначався двома чинниками: одержанням сировини для зброї масового знищення (плутонію) та валюти за рахунок експорту електроенергії АЕС за кордон, яка йшла на задоволення потреб командно-адміністративної системи. В обох випадках, як бачимо, з соціально-культурної точки зору радянській програмі розвитку атомної енергетики виправдання не було і не має.

Водночас нерідко можна почути, що без АЕС країна буде відчувати нестачу енергорушіїв. Однак цей аргумент також є хибним. Відомо, що на момент чорнобильських подій в Україні мало місце відчутне перевиробництво електроенергії: за офіційними даними Міністерства енергетики на 1989 р. рівень споживання електроенергії в республіці планувався в 275 млрд кВт/год (приріст проти попереднього року — 1,5%). Виробництво ж у 1989 р. сягнуло майже 315 млрд кВт/год. (приріст на 4,7% відносно до попереднього року). Отже, навіть за умов суперпромислового навантаження, Україна виробляла більше на 40 млрд кВт/год., ніж потрібно було для внутрішнього споживання. Та й темпи приросту виробництва електроенергії були значно вищими, ніж приріст промислового виробництва. Однак, попри все це, Міністерство енергетики й надалі планувало розширення мережі АЕС та розбудову нових блоків, спорудження двох гідроакумуючих станцій (Дністровської та Канівської), введення в експлуатацію нових тепло- та гідроелектростанцій. Маємо таким чином класичний приклад екологічної та економічної агресії проти України — розміщення на її території шкідливих чи небезпечних об'єктів, використання її природних і людських ресурсів, отримання внаслідок цього надприбутків.

Важливим напрямом забезпечення потреб суспільства в енергії є також **гідроенергетика**. За підрахунками спеціалістів, для енергетичного використання придатні лише 15 % гідроресурсів, які можуть забезпечити виробництво $1,5 \times 10^{12}$ Вт електроенергії. Реально використовують приблизно 1/10 цього потенціалу, що давало змогу задовольнити наприкінці першої третини ХХ ст. майже половину всіх енергетичних потреб людства. З часом частка гідроенергії у сукупному балансі впала майже вдвічі.

Хоча ГЕС є об'єктами відносно екологічно чистими, однак вони породжують чимало інших проблем, зокрема проблему використання землі. Адже великі ГЕС, тобто такі, потужність яких перевищує понад 1000 МВт (їх у світі понад 70), потребують гігантських водосховищ, а це пов'язано з відчуженням ріллі та пасовищ, погіршенням клімату регіону, підвищенням сейсмічності земної кори, негативними змінами режиму рік та підземних вод тощо. Надзвичайно руйнівними є аварії ГЕС: не випадково в США прийнято і реалізовано програму ліквідації гігантських рівнинних штучних водойм. На жаль, знову ж таки в СРСР у цих питаннях існувала прямо протилежна стратегія: до 2000 р. відповідні відомства, на додаток до існуючих, планували спорудити ще понад 100 великих рівнинних ГЕС. Наслідки цієї політики

Україна пожинає до сих пір.

У світовій практиці оптимальна стратегія зовсім інша. Стрижнем її є орієнтація на розвиток малої гідроенергетики. У Китаї, наприклад, діє понад 70 тис. малих ГЕС, потужність яких становить 8,5 млн кВт. Як зауважують у зв'язку з цим китайські гідротехніки Лі Гуїфень і Гао Цзічжан (1988), розвиток малої гідроенергетики сприяв організації енергетичної промисловості в Китаї і водночас благотворно впливав на розвиток сільського господарства та місцевої промисловості, на поліпшення умов життя селян. Чималий позитивний досвід такого роду накопичено також у Франції, Швеції, зрідка малі ГЕС зустрічаються на Україні (наприклад, у Межигірському районі на Закарпатті, Гайворонському на Кіровоградщині та ін.).

Традиційне, до того ж відновне, джерело енергії — **енергія повітряних мас**. Нині вітер також входить знову "в моду", і коли сталася енергетична криза, в багатьох країнах посилили увагу до вивчення можливостей використання його енергії. У 80-х роках вже діяло понад 15 тис. повітряних енергетичних станцій, зосереджених переважно в США (75% світових), Данії, Голландії, Швеції. Типовий двигун, установлений на таких пристроях, наприклад, датський "Вестас", має потужність 55 кВт і може виробити за рік від 200 до 400 тис. кВт/год електроенергії.

Нагадаємо, до речі, що перші масштабні дослідження промислового використання енергії вітру були розгорнуті в СРСР. Ще в 1923 р. Центральний аерогідродинамічний інститут (ЦАП) запропонував конструкцію двигуна з оригінальною конфігурацією крил, розрахованого за допомогою експериментів в аеродинамічній трубі. У 30-х роках цією проблемою впритул зайнявся Енергетичний інститут ім. Крижанівського, а трохи пізніше — на початку 40-х років — Всесоюзний інститут механізації та електрифікації сільського господарства запропонував до впровадження серію дерев'янометалевих вітряків з розмахом крил 8, 10, 12, 16 м. На жаль, гігантomanія, яка охопила країну після прийняття в 1949 р. "сталінського плану перетворення природи" геть перекреслила подібні дослідження, які, безперечно, знадобилися б нині хуторянам-фермерам та й не тільки їм.

Здавна людям відома і **геотермальна енергія**: ще римляни використовували природні гарячі води для своїх знаменитих терм. Тепло землі повсякчас обігріває і кожного з нас, адже кожен квадратний метр землі випромінює приблизно 0,06 Вт, що для всієї поверхні планети становить фантастичну цифру — $2,8 \times 10^{14}$ кВт/год. Лише у верхніх 5 км земної кори акумульовано десь $3,4 \times 10^{25}$ кал. тепла. Зауважимо, що ця кількість теплоти у 500 тис. разів перевищує світове споживання енергії в 1984 р. Отже, перспективи використання геотермальної енергії практично безмежні.

На сьогоднішній день земне тепло відводять двояким чином: або використовують природні виходи гарячої води (пари) з надр на поверхню, або ж через спеціальні свердловини закачують холодну воду вглиб земних порід, звідки вона вже нагріта повертається до споживача. На кінець 80-х років у світі працювало понад 20 подібних геотермальних станцій загальною потужністю близько 1,5 млрд Вт.

Звісно, геотермальне тепло використовується не лише для одержання струму. Скажімо, для потреб бальнеології витрачається (еквівалентно) навіть більше, ніж 1,5 млрд Вт. А ще ж використовується тепло, необхідне для опалення, землеробства, тепличного та оранжерейного господарства, прання білизни та приготування їжі, розморожування продуктів і пастеризації їх, стерилізації та сушіння деревини, консервації енергії, яка надходить безпосередньо із земної кори. Загалом, наприкінці нашого століття у світовому господарстві планується використання такої кількості геотермальної енергії, яка еквівалентна 8 млн т нафти щорічно. Основні споживачі даної енергії: Японія, Угорщина, Ісландія, Китай, Франція, Італія, Нова Зеландія та ін. Попри таку відносно незначну величину, очевидно, що геотермальна енергія має великі перспективи, оскільки вона екологічно чиста і практично відновна.

Величезну теплову й динамічну **енергію акумулює океан**. Поглинаючи сонячну енергію і нагріваючись, верхні шари океану мають вищу температуру, ніж нижчі; тим часом приблизно

на кілометровій глибині у напрямку від полюсів до екватора рухаються холодні шари води. Різниця між поверхневими та глибинними шарами досягає 25°C , а потенціал цього теплового градієнта — приблизно 10^{13} Вт, з яких промислово можна використати від 0,01 до 0,1 частки. Зрозуміло, що це також колосальна кількість енергії.

На сьогодні розроблено чимало проектів, втілення яких в життя є економічно рентабельним. Один з них, розроблений французькими вченими, базується на використанні рідкого аміаку в замкненому контурі. Теплі поверхневі води нагрівають цю речовину до кипіння, і утворений внаслідок цього газ надходить на турбіну; відпрацьований газ охолоджується, зріджується і знову опускається в шари теплої води, і цикли повторюються знову. Зрозуміло, що використання енергії океану можливе в перспективі, але екологічна чистота і її розміри роблять посилення уваги до неї виправданим.

Енергія океанів включає і **потенціал припливів та відпливів**, хоча тут слід зауважити, що вони опосередковувані енергією Місяця. Фахівці вважають, що економічно доцільними є спорудження таких станцій, перепад рівнів води на яких становив би не менше п'яти метрів. І таких місць є чимало на планеті: затока Фанді в Канаді і США, затока Кука на Алясці, бухта Мон-Сен-Мішель у Франції, гирло ріки Северн у Великобританії, затока Уолкотта в Австралії, Мезенська затока і Біле море в Росії, Керченська протока в Україні тощо.

Загалом потенційно можна використати десь $8,0 \times 10^9$ Вт, практично ж кількість енергії, яка використовується, принаймні, в 4 рази менша (еквівалент 1 млрд баррелів нафти).

Сьогодні успішно функціонує припливна електростанція біля Ла-Ранс (Франція) проектною потужністю 240 МВт. Припливна станція потужністю 20 МВт в затоці Фанді (Канада), Кислогубська дослідно-промислова станція — на узбережжі Баренцевого моря, є діючі станції в Японії, Південній Кореї, Китаї. Отже, можна говорити про відродження добре забутого старого, адже здавна в Європі будували млини, лісопильні, шерстобитні якраз на енергії припливів. Щодо енергії хвиль, то, попри великий їх енергетичний потенціал, нині це, скоріше, теоретична проблема, ніж практична, хоча японці ще з 1965 р. широко використовують морські буї, які живляться енергією хвиль.

Набагато звичнішою, особливо в країнах третього світу, є енергія, отримувана з **наземної органіки** — первинних продуктів фотосинтезу та решток перетворення органічної речовини.

Майже половина жителів планети (понад 2 млрд) має органіку за основне джерело палива. Переважна кількість енергії біомаси зосереджена в продукції лісів, чагарників і степів — 84,9%. Порівняно з цим навіть аграрний сектор планети дає майже на порядок менше енергії — 9,1%. Однак і цей показник приблизно адекватний спалюваній щорічно нафті. Тому інтесифікація сільськогосподарського виробництва, очевидно, спроможна розв'язати не лише харчову проблему, а й поліпшити енергетичні проблеми.

Тим часом спалювання біомаси є однією з головних причин екологічних криз минулого й сучасного. Такі держави як Рим, Англія, Іспанія, Греція, Ліван та ін. майже повністю винищили свої ліси ще в прадавні часи. Символ Лівану — кедр, який у біблійні часи ріс на площі понад 0,5 млн га, нині зберігся на ділянці, величиною в 200 га. І сьогоднішні народи традиційного господарювання ризикують залишити по собі суцільні пустелі, як то зробили народи, що колись проживали в Сахарі, Аравійській пустелі, Кара-Кумах та Кизил-Кумах. Якщо тропічні ліси займали в 1980 р. майже 3 млрд га, то на 1/6 їх частині практикувалося підсічно-вогневе землеробство. А саме з випалюванням лісів пов'язано 70% знеліснення площ Африки, 50 — Азії, 35% — Америки тощо.

Однак біомаса може бути використана і з застосуванням прогресивних біотехнологій. Тоді вона дає більше енергії та продуктів. Якщо обробити органіку біологічними засобами, можна отримати спирт і біогаз, придатні як для опалювання, так і для автомобільних двигунів. Обробляючи ж біомасу за допомогою методів піролізу, газифікації, крекінгу тощо, можна отримати з неї природний газ, вугілля, мастила, бензин, гас, солярку. Надзвичайно важливим є те, що виробляючи біогаз і отримуючи таким чином екологічно чисту енергію, одночасно звільняються від гною та іншої сільськогосподарської "органіки", очищаючи таким чином довкілля. Подібна практика досить поширена в Китаї та Індії.

6. Перспективи розв'язання енергетичних проблем

З якими ж джерелами енергії люди пов'язують свої надії та сподівання у майбутньому? При всіх розбіжностях у тлумаченні цієї проблеми, більшість дослідників вважає, що *енерговиробництво майбутнього визначатиме: по-перше, сонячна енергія, по-друге, термоядерна енергія, по-третє, традиційна енергія (вітру, води тощо), по-четверте — водню і газу неорганічного походження*. Практично всі згадані джерела енергії — екологічно чисті і практично відновні.

Сонячна енергія. Сонце посилає на нашу планету безмір тепла й світла: тільки та їх частина, яка припадає на неугіддя, доступні для людини (тобто потенційні місця для геліоустановок), у тисячі разів перевищує світове споживання енергії. Існуючі ж методи утилізації такої енергії (крім сушіння білизни на мотузку) групуються переважно навколо двох: *застосування термосистем і одержання теплової енергії, а також завдяки фотохімічним (фотосинтетичним) процесам.*

Досить звичними на сьогоднішній день є *сонячні пристрої для обігрівання житла* в Ізраїлі їх має кожна п'ята сім'я, збільшується використання в США, Японії, Австралії, Франції. Причому для будинків, які розміщені в таких умовах, які є в Україні, досить сонячних колекторів загальною площею 50 м кв. У промисловості сонячним теплом можна "мити" посуд, пастеризувати пиво, прати білизну, забезпечувати загалом до 70 % потреб харчового виробництва в електроенергії. У спеціальних сонячних печах видобувають чисті метали, в сонячних водоймах — природні мінерали. Ці та інші сфери використання сонячної енергії свідчать про її великі потенційні можливості, причому суттєвими є ті обставини, що сонячна енергія екологічно чиста, легкодоступна. Втім, для сонячних проєктів характерна своєрідна мініатюризація, що робить доступними геліоустановки для потреб фермера, автомобіліста, пастуха, радіостанції тощо.

У світі на стадії промислового впровадження знаходяться вже й досить крупні *геліостанції*. У Таргассоні (Франція) споруджено установку, яка складається з поля геліостатів (200 шт) загальною площею понад 10 тис. м кв. Всі геліостати відбивають сонячне проміння і фокусують його в одному місці — на приймачі, розміщеному на вершині 80-метрової вежі. Нагріта таким чином рідина потрапляє на турбіну, далі — генератор, струм. Чималі можливості для розвитку геліоенергетики існують в Україні, особливо в Таврії та Криму, однак вони практично зовсім не використовуються.

Принципова схема одержання енергії за рахунок **термоядерного синтезу** добре відома і, у випадку з водневою бомбою, втілена в життя (точніше, проти життя). Важкі ізотопи водню — дейтерій і тритій — з'єднуються між собою, внаслідок чого одержуємо інертний газ гелій і велику кількість енергії. Такі технології мають достатню ресурсну базу, адже дейтерій повсюдно зустрічається в морській воді, а тритій легко можна одержати шляхом опромінення літію безпосередньо в реакторі. Небагато проблем, вважають фізики, буде і з рештками синтезу, оскільки гелій і вода, які утворюються, будуть екологічно чисті. Проблема полягає в іншому — досягненні умов стабілізації протікання реакції, утриманні одержаної енергії.

У випадку з водневою бомбою справа вирішується просто: потрібну температуру (100 млн °C) одержують за рахунок вибуху звичайної атомної бомби, в пламені якої і відбувається реакція водневого синтезу. Якщо ж брати керований термоядерний синтез, то пропонуються найрізноманітніші варіанти здійснення реакції: найоптимальніші, очевидно, на сьогодні є варіанти "магнітної пляшки". Втім, досягнень і на цьому шляху поки що небагато (якщо брати практичний вихід енергії), очевидно, містифікацією може виявитися і сенсація з "холодним" термоядерним синтезом. У всякому разі, термоядерний синтез досі залишається сферою панування теоретичного, а не практичного розуму.

Не випадково академік П. Л. Капіца писав з цього приводу: "Основне завдання, яке стоїть перед фізикою, — це більш глибоко експериментально дослідити гідродинаміку гарячої плазми, як це потрібно для здійснення термоядерної реакції за високого тиску і в сильних магнітних полях. Це велике, важке й цікаве завдання сучасної фізики. Його розв'язання тісно

пов'язане з розв'язанням енергетичної проблеми, яка стає вирішальною для нашої епохи. Звичайно, це проблема фізики № 1".

Останнім часом дедалі частіше обговорюють енергетичні перспективи **чистого водню і природного газу**. Водень — джерело високоякісної енергії і, щоб його одержати, треба докласти певну енергію, оскільки слід попередньо розкласти воду на водень і кисень. Тобто роль води і водню неперевершена як своєрідного консерванта енергії, за допомогою якого можна було б передавати електроенергію на значні відстані. Очевидно, перспективи такого використання водню могли б бути пов'язані і з проектами експлуатації АЕС, які, проте, мають бути розміщені або на безлюдних островах в океані (ідея П. Л. Капіци), або ж під землею в скельних породах в незалюднених районах (ідея А. Д. Сахарова).

Роль *природного газу* у світовій енергетиці, безперечно, буде зростати: за прогнозами, до 2030 р. його частка з 25% збільшиться до 60%. Зміни можуть навіть бути ще кардинальніші, оскільки останнім часом висунута гіпотеза про існування надглибокого газу неорганічного походження. У такому разі поклади природного газу взагалі мало піддаються обчисленню, а тому й використання його може бути без огляду на ресурси. Тому цілком можливо, що ХХІ ст. буде зовсім не атомною чи термоядерною ерою, а добою "глибокого газу".

Не можна обійти і ще одну важливу проблему енергетики, а саме: **нерівномірність споживання енергії населенням різних регіонів**, що автоматично означає і різницю в добробуті, стартових можливостях розвитку, а скористаємося для ілюстрації цієї проблеми висновками Міжнародної комісії з довкілля та розвитку (так звана "комісія Брундтланд"):

Таблиця 17. Глобальне споживання первинної енергії на душу населення *

Група країн (за класифікацією Світового банку)	ВНП на душу населення, дол.	Споживання енергії, кВт на душу населення	Загальне споживання енергії, ТВт
Низькі прибутки	260	0,41	0,99
країни на південь від Сахари	210	0,08	0,02
Середні прибутки	1250	1,07	1,27
нижчі за середні	740	0,57	0,39
вищі за середні	1950	1,76	0,87
країни на південь від Сахари	680	0,25	0,04
Високі прибутки			
країни-експортери нафти	11250	5,17	0,10
індустріальні країни з ринковою економікою	11430	7,01	5,14
Східноєвропейські країни	-	6,27	2,44
В усьому світі	-	2,11	9,94

Отже, наявні величезні розбіжності у рівні життя різних груп країн, причому простежується безпосередня залежність валового національного продукту від енергоспоживання. Зрозуміло тому, що стабільне майбутнє людства немислиме без копіткої роботи щодо встановлення справедливого міжнародного енергетичного порядку. Звичайно, мова повинна йти не про силовий перерозподіл енергоресурсів, а про обмін технологіями, встановлення демократичного устрою, взаємодопомогу тощо.

Однак, *фахівці прогнозують збереження диспропорцій між регіонами в майбутньому*. Так, Північна Америка (за мінімального варіанта) матиме практично стабільний рівень споживання і в 2000, і в 2030 р. Росія може наростити енергоспоживання у 2—2,5 рази, такі ж високі темпи нарощення енергоспоживання характеризуватимуть економіку Японії та Західної Європи. Що ж стосується України, то для неї розв'язання енергетичних проблем лежить передовсім у сфері політичній: при досягненні справжньої незалежності Україні з надлишком вистачить і власних джерел електроенергії (переважно кам'яного та бурого вугілля). А до тих часів розв'язання їх є справою вельми сумнівною.

У цьому зайвий раз переконуємося, коли звертаємо увагу на ще один аспект функціонування та використання енергосистем. Йдеться про звичайні лінії *електропередач* — надзвичайно потужне джерело екологічної небезпеки, але практично не афішоване. Форсування розвитку енергетики в Україні, крім всіх відомих бід, призвело до того, що сумарна протяжність ЛЕП напругою 750 кВт збільшилася за останнє десятиріччя в 13 разів, а ліній 220, 330 та 500 кВт — в п'ятеро. Оскільки ж функціонування ЛЕП пов'язане з загрозою для здоров'я людини, то необхідно відводити певну зону відчуження там, де такі лінії проходять. Проте виявляється, що близько 20 % населення республіки (а це понад 10 млн чоловік) проживає в зоні підвищеної — санітарно неприпустимої — електромагнітної небезпеки (О. В. Блохіна, 1989). Інша грань цієї екологічної проблеми — втрата земель за рахунок відчуження: площа земель, відчужена внаслідок побудови на них ЛЕП, становила близько 1,5 млн га. Звернення до проблеми соціально-культурних вимірів енергетики дає можливість зробити декілька висновків.

Зокрема, очевидно, що *енергетичні потужності, зосереджені нині в руках людини, переважають ту межу, коли вихід їх з-під контролю не ставить під загрозу існування людства. Навпаки, якась випадковість або ж зла воля можуть "запустити" механізм вивільнення енергетичних потужностей, здатних повністю знищити цивілізацію й істотно порушувати біосферу.*

Різка нароощування енергоспоживання змушує шукати нові і піддавати суперексплуатації легкодоступні джерела енергії, внаслідок чого різко погіршується стан довкілля, посилюється забруднення багатьох екосистем.

У гонитві також за миттєвим ефектом та обсягами ігноруються віками випробувані, відновні та екологічно чисті джерела енергії, які можна і слід повернути на службу людям.

Ряд екологічних проблем, індукованих енергетикою, посилюється в умовах несправедливого соціального та міжнародного устрою. Отже, розв'язання відповідних проблем передовсім потребує встановлення політичної справедливості та нового світового устрою.

Водночас множаться зусилля фахівців, організацій, країн щодо пошуку екологічно чистих, безпечних та відновних джерел енергії, винайдення ефективних механізмів їх використання. І тут важливо, щоб потреба капіталовкладень, як правило значних, потрібних на перших стадіях реалізації відповідної стратегії, не зазнала поразки під натиском інших, сьогодні значно дешевших, але в перспективі — тупикових, тенденцій енергетики.

ЗАПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ

Які джерела енергії існують на планеті?

Простежте кругообіг енергії в біосфері.

В чому полягає автотрофічність біосфери? Чи можлива автотрофічність людства?

Простежте історичну динаміку енергоспоживання.

Проаналізуйте структуру сучасного енергоспоживання.

Які існують шляхи енергетичної оптимізації екосистем?

Якими є подальші шляхи розвитку енергетики?

Проаналізуйте феномен Чорнобиля: психологічні, екологічні, культурні та світоглядні аспекти.