

ЕНЕРГЕТИКА Й ЕКОЛОГІЧНИЙ ІМПЕРАТИВ. ЧАСТИНА 1: ПРОБЛЕМИ, ПОРОДЖУВАНІ ВИКОРИСТАННЯМ НЕВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*Єлізаров О.І., д.ф-м.н., проф., Єлізаров М.О., к.ф-м.н.
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м.Кременчук, 39600, Україна
E-mail: yel@bigmir.net*

Обговорюється природний тепловий баланс Землі і дія на нього людини за допомогою вивільнення енергії з непоновних джерел. Розглянуті екологічні наслідки здобуття енергії з таких джерел. Сформульований екологічний імператив.

Ключові слова: енергетика, непоновні джерела енергії, екологія, енергоспоживання.

Вступ. Земля отримує від Сонця величезну кількість енергії та зберігає при цьому майже стабільну температуру. Значить, наша планета випромінює в космос приблизно таку ж кількість енергії: надходження і втрати енергії повинні бути збалансовані, інакше Земля втратить стійкий стан. Вона або нагріється, або замерзне – у будь-якому з цих випадків вона втратить живу матерію. Насправді цей баланс не зовсім точний. Він був би таким, якби Земля була мертвим астероїдом. Але на Землі є біосфера. Поглинута нею в процесі фотосинтезу енергія супроводжує цикли кругообігу речовини в географічній оболонці Землі (ГОЗ) і багаторазово змінює свої форми. Врешті-решт певна частина цієї енергії не повертається в космос, а консервується в надрах Землі. Поклади нафти, вугілля, газу – це і є та сонячна енергія, яку отримала Земля і не віддала в космос.

Важливо зрозуміти й відчувати, що і саме життя на Землі, і весь грандіозний процес його еволюції, наслідком якого була поява людини і суспільства, тривалий час відбувалися лише завдяки мізерному дисбалансу між тією енергією, що надходить на Землю з космосу, та енергією, відбитою планетою у зворотному напрямі. Зміна цього дисбалансу може мати тяжкі наслідки для різних форм життя і для людини в першу чергу.

Зміна теплового балансу вже почалася. Отримана від спалювання органічного палива енергія розсіюється в просторі і йде на нагрівання суходолу, океану, атмосфери. Яким би малим не було впорскування штучно продукованої людиною енергії в тепловий баланс Землі, воно неодмінно викличе збільшення її температури з неминучими негативами: незворотним таненням льодовиків, підвищенням рівня океану й затопленням величезних територій суходолу, зміною характеру атмосферної циркуляції і перетворенням родючих земель на напівпустелі. Сьогодні кількість штучно виробленої енергії складає десятки частки відсотку від потоку сонячної енергії, але її виробництво швидко зростає – воно подвоюється кожні 12 – 15 років. Тому порушення теплового балансу з малопомітного тепер стане загрозливим вже у близькому майбутньому. Сказане тут стосується будь-якого виду енергії, добутої людиною з

невідновлюваних джерел: буде це енергія теплових, атомних чи навіть термоядерних електростанцій.

Існування цивілізації можливе лише у вузькому діапазоні температур – і це є найважливішою особливістю екологічного імперативу. Тому будь-які заходи, будь-які проекти – великі чи малі, пов'язані з енергозбереженням, з продукуванням зручної для використання людиною енергії з відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – повинні мати суспільну підтримку й економічне заохочення.

Мета роботи. Розгляд способів одержання енергії з невідновлюваних джерел із точки зору тих екологічних небезпек, які вони несуть. Зроблено спробу сформулювати екологічний імператив – вимоги, що ставить людству природа, за умов виконання яких екологічний вплив людства на тепловий баланс Землі буде мінімізовано.

Матеріал і результати дослідження. Зробимо з приводу сказаного вище кількісні оцінки. Потужність енергії, що надходить на Землю від Сонця, досить легко підрахувати, спираючись на аналіз спектру випромінювання Сонця і закони теплового випромінювання Стефана-Больцмана і Віна. Для таких розрахунків потрібні значення довжини хвилі λ_{max} , що відповідає енергетичному максимуму в тепловому випромінюванні Сонця, розміри Сонця, Землі і відстані між ними. Наведемо їх результати розрахунків.

У середньому на кожний квадратний метр земної поверхні з боку Сонця в усьому діапазоні випромінювання – інфрачервоному, видимому і ультрафіолетовому – поступає ~ 125 Дж/с променевої енергії. Взагалі ж Земля щосекунди перехоплює $\sim 1,1 \cdot 10^{17}$ Дж енергії ($\sim 3,2 \cdot 10^{24}$ Дж/рік), приблизно половина якої відбивається океанами, хмарами і суходолом назад до космосу. Порівняємо цю енергію зі штучно продукованою енергією, яка додається до поглинутої Землею сонячної енергії.

За даними [1], земляни 2000 р. спалили ~ 13 млрд. тон органічного палива (рис. 1). Якщо взяти середньозважену теплотворну здатність органічного палива за 20 МДж/кг, то за рік у ГОЗ потрапило додатково

$$W \sim 13 \cdot 10^{12} \times 20 \cdot 10^6 = 2,6 \cdot 10^{20} \text{ Дж/рік.}$$

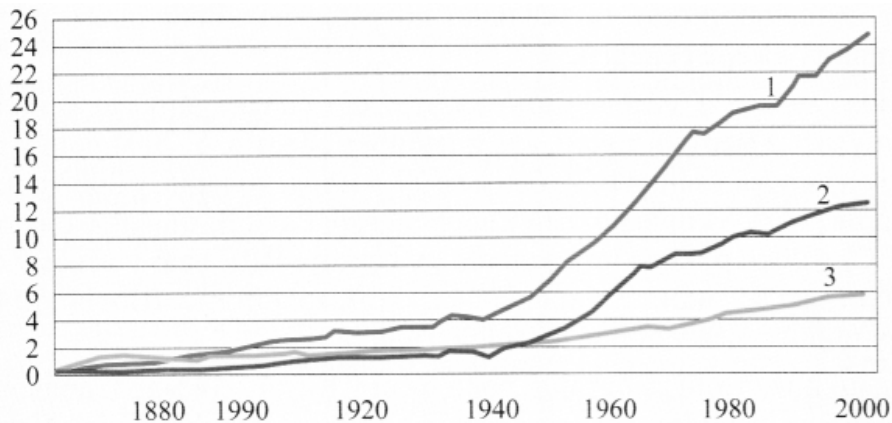


Рисунок 1 - Зростання емісії CO₂ у млрд. тон (крива 1), використання енергоносіїв у млрд. тон (крива 2), зростання величини населення Землі в млрд. (крива 3) за останні 130 років

Це складає приблизно 0,015% від енергії з боку Сонця.

На перший погляд здається, що така кількість додаткової порівняно із сонячною енергією не повинна нанести докільню суттєвої шкоди. Та це не так. Ряд аспектів, пов'язаних із виробництвом людиною енергії, обумовлює небезпечне зростання навантаження на ГОЗ.

Одним із цих аспектів є те, що людство продукує додаткову енергію в ГОЗ украй нерівномірно. Спробуємо з'ясувати, наскільки більшою є величина надходження штучно продукованої енергії порівняно з природною сонячною енергією у великих густонаселених високорозвинених мегаполісах. Це можна зробити на підставі даних про деякі міста-держави, наприклад, Сінгапур і Гонконг (табл. 1). Як бачимо з таблиці, потужність штучного енерговиділення в розрахунку на одиницю площі земної поверхні у таких мегаполісах цілком співмірна з потужністю надходження сонячної енергії: в Сінгапурі потужність штучного енерговиділення становить приблизно половину сонячної, в Гонконгу – п'яту частину. Деякі північні мегаполіси (Лондон, Москва) знаходяться на територіях з досить малою інсоляцією (рис. 2), але оскільки потреби мешканців та інтенсивність господарської діяльності в них цілком подібні до всіх інших мегаполісів, а через потребу зимового опалення, можливо, й більші, то співвідношення штучного та природного енергонадходження на їх території зростає за рахунок малості останнього. Так, якщо покладемо по-

тужність штучного енергонадходження в Лондоні рівним гонконгівському, то воно становитиме вже не п'яту, а третю частину від природного (через меншу сонячну радіацію в Лондоні), тобто, незважаючи на цілком малий відсоток додаткового середньоземного надходження штучної енергії (0,015%), локальні порушення енергетичного балансу в мегаполісах і високоурбанізованих районах дуже значні. У невеликих густонаселених та урбанізованих, високорозвинених країнах потужність штучного надходження енергії становить 2-3% від природної інсоляції на всю їх територію (табл. 1, дані про Південну Корею та Нідерланди). Перерозподіл тепла над поверхнями материків відбувається внаслідок рухів атмосферних мас, викликаних неоднаковою нагрітністю земної поверхні. Інтенсивні локальні виділення тепла над територіями мегаполісів та інших зон інтенсивної людської діяльності можуть впливати на нестійкі і вельми чутливі до температур атмосферні процеси, порушуючи їх і, тим самим, порушуючи нормальний природний перерозподіл сонячного тепла на Землі.

Розглянемо інші складові загроз, які несе традиційна енергетика, заснована на витрачання невідновлюваних енергоресурсів.

Теплова енергетика. Парниковий ефект. Генерація тепла необхідна сучасній цивілізації для виробництва електричної енергії (теплові електростанції), для задоволення потреб комунального господарства і транспорту. Сировиною тут слугує переважно органічне паливо – вугілля, нафта, газ.

Таблиця 1 - Дані про штучне та природне надходження енергії для деяких країн

Держава	Споживання енергії (2008) [2], Дж/рік	Площа сухо-доду, км ²	Поверхнева потужність надходження штучної енергії, Вт/м ²	Інсоляція (за рис. 2, приблизно), Вт/м ²
Сінгапур	$2,507 \cdot 10^{18}$	700	113,5	225
Гонконг	$1,139 \cdot 10^{18}$	1053	34,3	175
Південна Корея	$10,423 \cdot 10^{18}$	99646	3,32	175
Нідерланди	$4,365 \cdot 10^{18}$	33881	4,08	125

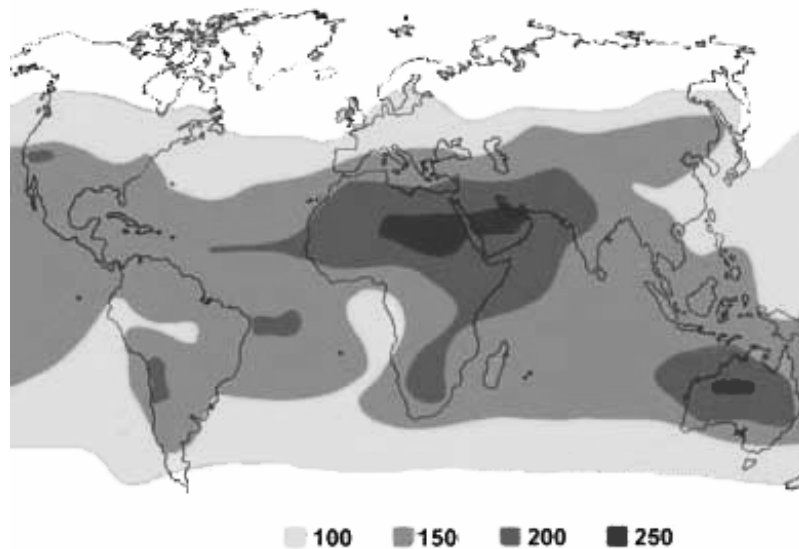


Рисунок 2 - Потужність надходження сонячної енергії на земну поверхню, Вт/м²

Негативним наслідком використання органічного палива є парниковий ефект. Він виникає завдяки продукту згоряння органічного палива – вуглекислому газу CO₂, який, потрапляючи в атмосферу, призводить до поглинання інфрачервоних променів – того самого теплового випромінювання з боку Землі у космос. Завдяки поєднанню вуглецю з киснем маса CO₂ перевищує масу спаленої органіки вдвічі (рис. 1) і накопичується з року в рік. Виникає несиметрія в механізмі обміну енергією „Сонце → Земля, Земля → космос”. Справді, на Землю лине потік теплового випромінювання, спектральний максимум енергетичної світимості якого $\lambda_{\text{max}}^{\text{Сонця}} = 0,6 \mu\text{м}$ лежить у видимій області і відповідає температурі фотосфери Сонця T~5000K. Зворотний потік променевої енергії відповідає температурі поверхні Землі, яка набагато нижча температури Сонця. Якщо вважати середню температуру Землі рівною 300K, то, згідно з законом Віна, максимум спектральної енергетичної світимості випромінювання Землі

$$\lambda_{\text{max}}^{\text{Землі}} = \lambda_{\text{max}}^{\text{Сонця}} (T_{\text{С}}/T_{\text{З}}) = 10(\mu\text{км}).$$

Це значить, що спектр теплового випромінювання Землі, на відміну від спектру Сонця, лежить у далекій інфрачервоній області. Молекули CO₂ і, особливо, молекули метану CH₄ є добрими поглиначами таких хвиль, а тому стають бар'єром на шляху зворотного потоку енергії. Щоб за таких умов витримати баланс надходження і віддачі енергії, Земля неминуче „повинна” підвищити свою температуру, що і фіксується метеорологами останніми десятиріччями. Вкрай негативні наслідки земного потепління загальновідомі.

Теплова енергетика. Спустошення покладів органічного палива. На початку 90-х років світовий видобуток сирої нафти склав 3,1 млрд. тон, що становить 3% від розвіданих запасів. Світовий видобуток вугілля склав 5 млрд. т., або 0,4% від розвіданих запасів. Якщо не будуть відкриті нові родовища і збережеться той же рівень видобутку, то сирої наф-

ти вистачить приблизно на 30 років, а вугілля на 250 років. Це один із прогнозів. Можна послатися і на більш оптимістичний прогноз [3]. Нафта вичерпається за 45 років, газ – за 76, вугілля – за 521 рік.

Але у будь-якому випадку при збереженні існуючого стану видобутку і споживання енергії накопичені за млрд. років еволюції живої природи на Землі запаси палива будуть вичерпані без жодних шансів на відновлення. Можна сказати, що вже тепер людство стоїть на порозі енергетичного голоду.

Теплова енергетика. Забруднення довкілля. Окрім спустошення родовищ, видобуток викопного палива своїм наслідком має руйнування усталених геологічних утворень, залишаючи натомість схильні до руйнації порожнини в земній корі, терикони, величезної площі басейни піднятої з великої глибини на поверхню і непридатної для вживання води. При перевезенні вугілля розпорошується, курить і також забруднює ґрунти, воду й повітря. Щоб запобігти цьому, вдаються навіть до покриття його спеціальними емульсіями. Спалювання вугілля в котельних супроводжується викидом шкідливих газів. Наприклад, викид сірчистого ангідриду SO₂ та окислів азоту призводить до утворення в атмосфері сірчаної кислоти, наслідком чого є випадіння кислотних дощів. Ці викиди зашкодили обширним лісовим масивам в Європі і Північній Америці. Значною мірою вони стали причиною вмирання озер. Спроби нейтралізації шкідливих викидів теплових електростанцій мали частковий успіх. Так, застосуванням в Японії найсучасніших методів відловлювання шкідливих газів на потужних електричних станціях, що працюють на вугіллі, вдалося нейтралізувати лише 80-90% двоокису сірки і приблизно ж стільки двоокису азоту. Ефективного способу вилучення двоокису вуглецю – основної причини парникового ефекту – наразі немає.

Деякі цифри допоможуть яскравіше уявити масштаби забруднення. Працююча на вугіллі станція, яка генерує електроенергію з потужністю в

1000 МВт, з можливістю 80% нейтралізації SO₂ все ж таки буде щороку викидати двоокису азоту в атмосферу приблизно 5000 тон, двоокису сірки – 10000 тон, а також утвориться 400000 тон попелу. Він буде містити приблизно 80 тон важких металів – миш'яку, свинцю, кадмію, ванадію та ін. Порівняємо це з викидами працюючої у нормальному режимі атомної станції з електричною потужністю 700 МВт. Така станція щороку виробляє 300 м³ короткоживучих низькоактивних відходів і 20 тон відпрацьованого палива, яке після переробки перетворюється на високоактивну склоподібну масу об'ємом 3-8 м³. Викиди газів і рідин практично відсутні.

Масштаби цих наслідків будуть лише зростати, завдаючи довікілью величезної й непоправної шкоди.

Ядерна енергетика. Накопичення радіоактивних відходів. Ядерна енергетика приваблива тим, що робота атомних станцій не сприяє розвитку парникового ефекту і обмежується малими об'ємами палива. Проте Чорнобильська трагедія викликала у всьому світі гострі дискусії про доцільність використання електричної енергії, продукуюваної атомними електростанціями (АЕС). Існують полярні думки: від абсолютної заборони до надання пріоритету за умов жорстких вимог до місць розміщення (подалі від мегаполісів, сейсмічних зон і т. п.), якості будівництва, контролю за режимом роботи і т. ін.

З урахуванням обмеженості запасів нафти і газу в порівнянні з запасами вугілля і урану, можна передбачити, що саме ці два джерела стануть використовувати з часом все інтенсивніше. Вже тепер частка ядерної енергетики у Франції сягає 70%, Бельгії – 66%, Швеції – 50%, Фінляндії – 37%, США – 18%, Японії – 29%.

Ахіллесовою п'ятою ядерної енергетики є проблема поховання відходів виробництва. В результаті використання атомної енергії утворюються десятки і сотні тисяч тон рідких і твердих радіоактивних відходів. Положення погіршується ще й тим, що майже всі атомні проекти в світі реалізовувались в умовах великої таємничості, без участі багатьох потрібних у таких справах спеціалістів, зокрема геологів. Лише у 80-ті роки, коли атомна промисловість накопичила колосальну кількість шкідливих матеріалів, ці роботи було розсекречено, й екологічна біда всієї планети стала видною.

С початку своєї роботи атомні підприємства просто примітивно позбувались шкідливих відходів: рідкі зливали в невеликі озера чи моря, тверді – консервували в контейнерах, які складували в спеціальних галереях, видобаних у скельних породах. Вже через 5–10 років місця подібних поховань виявились небезпечно забрудненими радіоактивними відходами. Справа в тім, що побудовані без урахування геологічних особливостей конкретних територій сховища виявились нездатними ізолювати відходи від довкілля. Теплова енергія, яку вони постійно виділяють у результаті ядерно-

го розпаду, нагріває підземні води і призводить до руйнації та часткового розчинення гірських мінералів.

Особливу небезпеку становлять відпрацьовані стрижні атомних реакторів. У багатьох країнах їх стали пакувати в спеціальні контейнери. Виникли важкі проблеми зі складуванням цих контейнерів. Для цих потреб будують спеціальні центри-могильники, куди звозять особливо небезпечні матеріали. На території Російської федерації побудовані два таких крупних комбінати: біля Челябінська й Іркутська. Про масштаби екологічної небезпеки говорять такі дані: щороку лише при експлуатації підводних човнів Російським Військово-Морським флотом утворюється біля 20 тис. м³ рідких і біля 7 тис. м³ твердих радіоактивних відходів. Окрім цього, 93 підводних атомохода, які відпрацьовали свій термін, чекають своєї черги на утилізацію й знезараження. На більшості атомних станцій світу склалася парадоксальна ситуація. Побудовані в 60-70 роках минулого сторіччя, вони виробили свій ресурс і тепер потребують заміни реакторів. Це вельми дорога і технічно погано відпрацьована операція. Потрібно мати на увазі, що сам демонтаж реакторів по фінансовим затратам співмірний з їх будівництвом.

До аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. ядерно-енергетична промисловість могла пишатися тим, що на її рахунку було майже 4000 реакторо-років без жодного смертельного випадку в результаті радіоактивного випромінювання і без будь-яких серйозних радіоактивних викидів у довкілля. Чорнобильська аварія була крупномасштабною і заподіяла величезної шкоди довкіллю.

Радіоактивні випадки в результаті чорнобильської аварії за своїм характером відрізнялись від випадків, що супроводжували випробування ядерної зброї, які проводились у кінці 50-х і на початку 60-х років минулого сторіччя. Завдяки тому, що викид радіоактивних ізотопів відбувся на низькій висоті, їх розсіювання в просторі було вкрай нерівномірним: напрям перенесення визначався мінливими вітрами. Врешті-решт велика їх маса випала локально у вигляді радіоактивних дощів, утворивши не одну "гарячу зону".

Ліквідація аварії сприяла накопиченню хоч і гіркого, але такого необхідного досвіду стосовно майбутньої практики проектування, будівництва й експлуатації АЕС. Вона наочно продемонструвала вразливість сучасної цивілізації з боку тих сил, які породжені тією ж цивілізацією, тоді, коли вони виходять з-під контролю, і змусила суттєво змінити погляди на розвиток енергетики майбутнього.

Термоядерна енергетика. Зростаюче енергоспоживання і загострення екологічних проблем спонукають пошуки продукування енергії без використання органічного палива. Найпривабливішим тут давно видається керований термоядерний синтез (КТС). По-перше, для КТС достатньо сировини, по-друге, енерговиділення на один нуклон є значно більшим, ніж при діленні важких

ядер, а сам процес не продукує радіоактивні ізотопи і не потребує утилізації відходів. Хоча розробки ведуться більше 50-ти років із залученням величезних інтелектуальних сил, використанням найновітніших технологій і широким обміном інформацією, а спроби здійснити КТС були багатоваріантними і поглинули мільярдні кошти, на жодній експериментальній установці не вдалось одержати плазму з параметрами, які б відповідали критерію Лоусона виникнення самопідтримуваної реакції.

Це змушує задуматись про існування принципових обмежень, які перешкоджають здійсненню КТС. Цю проблему детально розглянуто в [4], тут ми лише стисло подамо основні думки. Очевидно, що згадані обмеження не можуть бути специфічними, стосуватись, наприклад, тільки термоядерного реактора. На наш погляд, ці обмеження присутні в усіх теплових машинах, які людство створило дотепер. Неодмінними умовами роботи теплової машини, як добре відомо, є горіння палива (перший закон термодинаміки) і різниця температур нагрівача й охолоджувача (другий закон). Але очевидно, що цих умов недостатньо, щоб збудувати діючу теплову машину. Бракує певного технологічного параметру, виконання якого повинно бути обов'язковою умовою керованості реакції горіння палива. Таким технологічним параметром є певна вимога до силового поля, яке локалізує реакцію горіння, а отже, і дозволяє тримати її під контролем.

У теплових машинах силовим полем, яке локалізує реакцію горіння (або, у ширшому плані, керує потоком енергії), звичайно є стінки корпусу машини і деталі її агрегатів. Тій енергії, яка виділяється при горінні палива, протистоїть цілком конкретний запас потенціальної енергії зв'язку атомів металу корпусу машини, і, якщо цієї енергії бракуватиме, керувати горінням палива стане неможливо. Питання міцності реактора теплової машини тепер звичайно перебувають виключно у компетенції конструкторів. Але ми ставимо питання ширше: відшукати узагальнену, незалежну від типу теплової машини характеристику силового поля, виконання якої гарантуватиме локалізацію продукуючої енергії і керування нею, і навпаки, невиконання якої призведе до некерованості енергією, що виділяється.

На наш погляд, силове поле теплової машини можна охарактеризувати параметром, який ми назвали "кредитом часу машини" (к.ч.м.). К.ч.м. – це час, який затратила б машина, направивши свою енергію виключно на руйнування власного силового поля, іншими словами, на своє саморуйнування. Чим більшим буде цей час, тим надійнішою буде локалізація реакції горіння, тим під кращим контролем перебуватиме енергія, що виділяється, тим легше буде нею керувати, і навпаки. Очевидно, що, розглядаючи силове поле машини з точки зору такого параметру, який є к.ч.м., ми не одержимо якогось порогового значення, яке чітко розмежує області керованості і некерованості енергією, що виділяється (рис. 3). Ці області будуть розділені інтервалом проміжних значень к.ч.м., які відповідатимуть хоча й можливому, але нестійко-

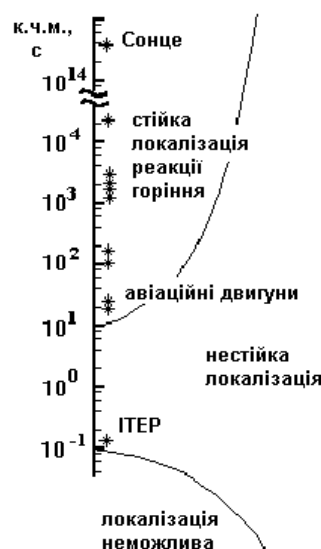


Рисунок 3 - Три області шкали параметру к.ч.м.

му, непередбачуваному режиму роботи машини. К.ч.м., таким чином, подібний до числа Рейнольдса, яке розділяє принципово різні характери плинину рідини – ламінарний і турбулентний.

Як і число Рейнольдса, к.ч.м. є емпіричним параметром, і нижче наведено основану на аналізі конструкцій діючих машин спробу сформулювати в як неодмінну умову стійкої роботи будь-якої теплової машини вимогу до її силового поля. Виходячи з визначення поняття к.ч.м., його значення обчислювались як відношення енергії потенціального поля, яке локалізує реакцію горіння (або будь-який інший потік енергії), до теплової потужності реактора (в загальному випадку – до потужності енергії, якою керують). У табл. 2 наведені значення к.ч.м. для різних силових агрегатів. При цьому потенціальна енергія силового поля оболонки створених людиною машин оцінювалась як енергія, необхідна для нагрівання маси корпусу двигуна до температури його плавлення, тобто до температури, при якій відбувається руйнування зв'язків атомів у металічній ґратці, а значить, і руйнування силового поля машини. З табл. 2 бачимо, що з розвитком машинобудування питома потужність силових агрегатів збільшувалась, що відповідає зменшенню к.ч.м. від $\sim 2,2 \cdot 10^4$ с (перший паровоз) до ~ 17 с (сучасний авіаційний двигун). Останнє значення є характерним. Воно відповідає найслабшому силовому полю агрегата, здатному локалізувати енергію спалюваного палива. Така силова оболонка – це складний компроміс між жорсткою вимогою мінімізації маси авіаційного двигуна і його міцнісними характеристиками. Тому значення к.ч.м., рівне ≈ 10 с, мабуть, треба вважати гранично допустимим мінімальним значенням к.ч.м., яке повинно бути реалізоване у будь-якій тепловій машині. Порушення цієї умови призводитиме до нестійкої локалізації реакції горіння палива і, отже, до зривів у роботі машини або взагалі до неможливості такої локалізації.

Таблиця 2 - Параметри деяких енергетичних установок

Енергетична установка	Потужність локалізованої енергії, кВт	Маса корпусу, т	Потенціальна енергія оболонки реактора, МДж	Питома потужність, кВт/кг	к.ч.м., с
Перший паровоз "Locomotion"	60	2	1,34	$3 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^4$
Трактор Т-40	150	0,7	0,47	0,21	$3,2 \cdot 10^3$
Автомобіль Москвич М-412	120	0,4	0,27	0,3	$2,2 \cdot 10^3$
Турбіна Братської ГЕС	$225 \cdot 10^3$	628	420	0,35	$1,9 \cdot 10^3$
Турбіна в Портрідж-Маунтіп (Канада)	$235 \cdot 10^3$	450	300	0,52	$1,3 \cdot 10^3$
Атомний реактор ВВЭР	$760 \cdot 10^3$	180	120	4,2	160
Авіаційні двигуни: поршневі АШ-62ИР; турбогвинтовий АИ-20К; турбореактивний РД-3М-500	$3,67 \cdot 10^3$ $27,6 \cdot 10^3$ $120 \cdot 10^3$	0,57 1,0 3,1	0,36 0,64 2,1	6,45 27,6 39	104 24 17
Термоядерний реактор - Сонце	$4 \cdot 10^{23}$	$2 \cdot 10^{30}$	$1,7 \cdot 10^{35}$ (енергія гравітації)	$4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14}$ або $0,8 \cdot 10^8$ років
Термоядерний реактор ITER (планований)	$5 \cdot 10^6$	—	640 (енергія магнітного поля)	—	0,12

Останнім рядком у табл. 2 показано Міжнародний експериментальний термоядерний реактор ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), який запроєктований і з 2008 р. будується у Франції спільними зусиллями провідних країн світу (ЄС, США, Японія, Китай та ін.). Одержання плазми в ньому намічено на 2019-21 рр. Потенціальна енергія силового поля, яке має локалізувати плазму в реакторі ITER, – це енергія магнітного поля. Її величина (див. табл. 2) складає 640 МДж при індукції 13(!) Тл. При типовій тепловій потужності реактора $5 \cdot 10^6$ кВт його к.ч.м. складе лише 0,12 с. Це на 15 (!) порядків менше за к.ч.м. Сонця і у 150 разів гірше за к.ч.м. авіаційного двигуна. І в цьому випадку бракує все тих же двох порядків, яких бракувало для виконання критерія Лоусона в усіх попередніх спробах здійснити КТС [5, 6]. Значення параметру к.ч.м., планованого у будівництво термоядерного реактора ITER, вказує на те, що своїм силовим полем він не зможе забезпечити стійку локалізацію реакції горіння, а тому, найімовірніше, цей проект стане черговою невдалою спробою підкорити енергію злиття легких ядер.

І у зв'язку з цим знову постає питання про осмислення і визначення межі могутності людини над силами природи, в даному випадку над масштабом локалізованого генерування корисно використовуваної енергії. Не виключено, що у спробах здійснити КТС людство підійшло саме до такої межі, переступити яку, може, і знадно, але, мабуть, природою речей не дозволено.

Таким чином, людству навряд чи варто розраховувати на появу в осяжному майбутньому принципово нових видів палива і методів продукування енергії в промислових масштабах. Воно має покинути думку про майже дармову енергію, як свого часу покинуло думку про вічний двигун. Радше навпаки, трансформація суспільства (його розвиток

або деградація) об'єктивно відбуватиметься за умов дедалі гострішої нестачі і подорожчання енергоресурсів. Цій обставині земляни повинні протиставити низку глобально узгоджених і якнайсерйозніших заходів в області ресурсо- і енергозбереження, природокористування і демографії.

Висновки. Забруднення середовища – це неминучий наслідок роботи будь-яких сучасних потужних електростанцій, і мову можна вести лише про характер забруднення. Для того, щоб витрати, пов'язані з нейтралізацією шкідливого впливу на довкілля щороку зростаючого видобутку і спалювання органічного палива були ефективними, вони повинні мати ще більшу динаміку зростання. Лише багаті країни здатні на такі витрати. Отже, мусимо констатувати, що загрози екологічній безпеці людства лежать не лише в площині технічних проблем, вони містять у собі суттєвий соціальний аспект.

Таким чином, людство тепер не має задовільного розв'язку енергетичної і тісно з нею пов'язаною екологічної проблем. Ясно одне: у найближчі десятиріччя не з'являться принципово нові форми продукування електроенергії в промислових масштабах. Землянам не обійтись без зростання потужностей екологічно небезпечних теплової і атомної енергетики. При цьому частка електроенергії від спалювання нафти і газу з причини збіднення родовищ їх видобутку буде зменшуватись, натомість зросте частка від спалювання вугілля. Керований термоядерний синтез не стане альтернативою сучасній атомній енергетиці, принаймні у найближчі десятиріччя. У зв'язку з цим людству доведеться докласти величезних зусиль для збереження життєдайних сил природи. Технічна задача зводиться до побудови енергетики, заснованої виключно на відновлювальних джерелах енергії. Це і є, власне, екологічним імперативом для найближчих десятиріч розвитку земної цивілізації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Титко Р., Калініченко В. Відновлювальні джерела енергії / Р. Титко, В. Калініченко. – Варшава-Краків-Полтава, 2010. – 3 с.

2. International Energy Statistics
(<http://tonto.eia.doe.gov/cfapps/ipdbproject/IEDIndex3.cfm>).

3. The Kingfisher Science Encyclopedia
KINGFISHER Kingfisher Publication Plc New Penderel House 283-288 High Holborn London WC1V7HZ.

4. Єлизаров О. І. Керований термоядерний синтез: чи стане він основою енергетики майбутнього? / Єлизаров О. І. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. – № 4(110) – С. 144-148.

5. Воронов Г. С. Штурм термоядерной крепости / Воронов Г. С. – М.: Наука, 1985.

6. Физический энциклопедический словарь // Сов. Энциклопедия, 1984.

Стаття надійшла 17.12.2010 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

ЭНЕРГЕТИКА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ ИМПЕРАТИВ. ЧАСТЬ 1: ПРОБЛЕМЫ, ПОРОЖДАЕМЫЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

*Єлизаров А.И., д.ф-м.н., проф., Єлизаров М.А., к.ф-м.н.
Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина
E-mail: yel@bigmir.net*

Обсуждается природный тепловой баланс Земли и воздействие на него человека посредством высвобождения энергии из невозобновимых источников. Рассмотрены экологические последствия получения энергии из таких источников. Сформулирован экологический императив.

Ключевые слова: энергетика, невозобновимые источники энергии, экология, энергопотребление.

POWER ENGINEERING AND ECOLOGICAL IMPERATIVE. PART 1: PROBLEMS OF USING NON-RENEWABLE POWER SOURCES

*Yelizarov O., Doc. Sc. (Tech.), Prof., Yelizarov M., Cand. of Sc. (Tech.)
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University
vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine
E-mail: yel@bigmir.net*

The natural heat balance of the Earth and the human influence on it by the energy extraction from non-renewable power sources are discussed. Ecological consequences of reception of energy from such sources are considered. The ecological imperative is formulated.

Key words: power engineering, non-renewable power sources, ecology, energy consumption.