

УДК 620.9:536

Волошин В. С.

ТЕРМОДИНАМІКА ВІДХОДОУТВОРЕННЯ І СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ СУЧАСНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На підставі численних літературних даних зроблено аналіз ролі та ефективності сучасного енергетичного потенціалу з як позицій ефективності виробництва товарної продукції, так і утворення відходів, віднісши до них і енергетичні втрати, і пов'язану з ними ефективність використання різних джерел енергії. Показано роль енергетичної залежності суспільства в забезпеченні його сукупного добробуту. Запропоновано підхід до аналізу ефективності відомих джерел енергії з позицій їх впливу на якість наявних технологічних процесів, зокрема, на процеси відходоутворення. Зроблено спробу обґрунтувати подальшу неперспективність вуглеводневої енергетики для майбутніх технологій. Розглянуто деякі енергетичні альтернативи. Спалювання вуглеводнів майже у всіх його проявах поступово стає як економічно, так і термодинамічно невиправданим процесом. Оскільки в будь-якому випадку сконцентрована енергія сировини перетворюється в енергію за допомогою найбільш неефективних методів: горіння, нагрівання пара або іншого теплоносія. Ентропія процесу при цьому, як правило, дуже висока. Значна частина енергії розсіюється у вигляді тепла, забруднює навколишнє середовище і втрачається, як матеріальна субстанція, для подальшого використання. Зроблено висновок, що сучасна енергетика позиціонується не тільки як ресурс можливостей для добробуту сучасного суспільства, але і як джерело величезної кількості забруднень, що впливають на середовище проживання людини. Ресурси вуглеводневої енергетики, незважаючи на відомі побоювання, скінчаться ще не скоро, через їх різноманіття і поширеність на планеті, але вже сьогодні стає очевидним нераціональність її використання в технологічних процесах і для побутових потреб. Розробка нових вуглеводневих джерел енергії потребує розвитку незалежно від сформованої структури економічних і соціальних відносин, спрямованих на застосування вугілля, нафти, природного газу. Певною мірою це стає однією з найбільш актуальних завдань для сучасної інженерії.

Ключові слова: *енергоефективність, енергозалежність, енергоспоживання, термодинаміка, нерівноважні процеси, альтернативні джерела енергії, перспективи сучасних технологій.*

Мета роботи. Обґрунтувати проблематичність використання наявних вуглеводневих джерел енергії, як одну з найважливіших причин порушення екологічної рівноваги і джерело небезпеки для людини.

Стан питання.

Якщо відволіктися від теоретичних досліджень на користь прикладної енергетики, то стає зрозумілим, що енергоекономічні аспекти проблем сучасного суспільства мають свої пояснення з позицій енергоентропіки всіх систем, які виробляють енергію і були створені або створюються людиною. Твердження про те, що сучасне суспільство побудоване таким чином, що вироблений сукупний продукт формує не просто систему споживання, але й нерівномірний розподіл вироблених благ серед споживачів, у тому числі, благ енергетичних, є одним з основоположних для нього. Безпідставно вважати, що складена світова система

розподілу сукупних товарних продуктів, зокрема джерела енергії, є оптимальною і не підлягає зміні. Швидко змінити цю систему не вдасться, навіть, якщо б таке завдання довелось вирішувати. Загальна економічна система співвідносно енергозабезпечення є вкрай інертною, консервативною і будь-які зміни в ній загрожують соціальними конфліктами. Зміни можуть бути прийнятними тільки тоді, якщо система з одного стійкого стану перейде в інший, не менш стійкий стан.

Особливістю такого стану речей є те, що сучасне суспільство дуже тісно пов'язане з ресурсним потенціалом і, зокрема, саме з тим, який забезпечує енергетичний стан економіки.

Певною мірою цей потенціал і його витрачання стають домінуючим показником не тільки для розвитку світової економіки, але й для реорганізації системи раціонального розподілу сукупного валового продукту. Така економічна парадигма, на перший погляд, може здаватися малоінформативною. Однак, вона існує.

Можна показати, що ефективність використання енергетичних ресурсів в цілому відображає не тільки ефективність економіки.

Світ не знає таких економічних укладів, за яких зростання валового продукту не супроводжувалось би зростанням енерговитрат. Починаючи з часів Римської імперії до наших днів витрати на життєдіяльність однієї людини зросли в два рази (з 0,2 т.н.е. / особу 2000 років тому, до 1,9 т.н.е. / особу в наш час) [4]. При тому зростання енерговитрат на одну тону нафтового еквівалента зріс від \$2500 до \$5500.

Енергетична залежність є тим критерієм, заради якого може відбуватися навіть переформатування сучасного суспільства. Будь-яким шляхом, еволюційним, революційним. Зростання такої залежності є однією з головних причин можливих суспільних змін. Якими б не були аргументи "Pro-contra" для Європейського Союзу, один з них, до речі той, який особливо не афішується, є одним з найбільш важливих. Мається на увазі зовнішня енергетична залежність Європи, частка енергоресурсів в її валовому сукупному продукті співвідносно з власними ресурсами. Європа спочатку мала досить спірні позиції за власними енергоресурсами, але володіла стійким соціально-політичним потенціалом, високопродуктивним людським ресурсом, науковими знаннями, які постійно розвиваються, новими технологіями, у тому числі, для отримання енергії. У кінцевому результаті, вона зуміла отримати розвинену економіку, яка із століття в століття базується на нових технологіях, енерговитратність яких, тим не менше, постійно штучно обмежувалася. Створення ЄС було у тому числі відповіддю для найбільш розвиненої частини світової спільноти на власні енергетичні виклики, які могли або возвеличити Старий світ, або поставити його на службу гнучкішій економіці США. У перші роки існування ЄС його країни позбулися індивідуального енергетичного голоду за рахунок перерозподілу сукупного продукту, що виробляється, і стали інтенсивно використовувати вуглеводні Північного моря. Були встановлені колективні взаємозв'язки з країнами ОПЕК, натомість їх було допущено до фінансових ресурсів європейських банків, дано гарантії колективної безпеки деяким з них (Саудівська Аравія, Кувейт, ОАЕ), надано доступ до сучасних Ні-технологій. При цьому було отримано доступ до дешевої енергії. В останні роки, в результаті зміни співвідношень у торгівлі російськими вуглеводнями через територію України, нестабільність у країні і подальші військові дії, Європейський Союз знову отримав порцію дестабілізуючого антидопінгу, і знову шукає способи реструктуризації суспільства. Зокрема, проект BREXIT став однією з перших ластівок такої реформації. А йому передували проблеми з Грецією, Іспанією, сукупний енергетичний витратний ресурс яких перевищує середній для ЄС у три з

половиною рази. І це ще не кінець такої реструктуризації. Можна припустити, що вкотре ми отримуємо причинно-наслідковий зв'язок між станом розбалансованого енергоринку і вимушеним прагненням до структурного переформатування суспільства.

У літературі наводяться дані про граничні витрати на енергоспоживання в сукупному світовому валовому продукті в розмірі 10%, вище за які починається поріг нестійкості в економіці будь-якої країни [4, 5]. Якщо це правильно, то країни колишнього СНД вже давно і "комфортно" розташувалися в зоні економічної кризи. Мало того, і кілька країн ЄС також знаходяться в кризовій зоні (табл. 1).

Таблиця 1 – Діапазони частки витрат на первинні енергоносії в валовому продукті деяких країн, (частка одиниці, в 2010 р.) в зіставленні зі споживанням нафти Ω млн. барель \ день (дані 2009 [6], розрахунки Δ велися за методикою [4])

№№ п/п	Країна	Δ	Ω
1	Росія	0,12	2,85
2	Україна	0,145	0,348
3	Казахстан	0,165	0,241
4	Узбекистан	0,145	0,145
5	Білорусь	0,115	0,173
6	Туркменія	0,161	0,120
7	Естонія	0,0995	0,030
8	Литва	0,114	0,074
9	Греція	0,144	0,414
10	Великобританія	0,084	1,699
11	Німеччина	0,095	2,437
12	Болгарія	0,120	0,125
13	Румунія	0,135	0,214
14	США	0,075	18,69

Сучасне суспільство вже не може обійтися без ефективних джерел штучної енергії. Ми давно вже перейшли ту межу, коли свої потреби могли задовольняти тільки за рахунок лише біологічної сили: власної або домашніх тварин. Щорічно світова спільнота споживає до $5 \cdot 10^{20}$ Дж енергії [21]. З них 94 % - це енергія, так чи інакше, витягнута з вуглеводневих джерел, які одержують за допомоги розробки підземних накопичень і витрачаються на відносно невисокоєфективних енергетичних установках. Причому динаміка споживання щорічно зростає на 5-7 % (рис. 1). Більшість видів енергії споживання (рис. 2) так чи інакше пов'язані зі споживанням вуглеводнів.

А починалося все з виразу: "Ignis mutat res" - вогонь рухає речами. Це латинський вислів дав старт цивілізованому багатомільярдному освоєнню людством, в тому числі, низькомолекулярних вуглеводневих копалин і продуктів як палива. Від дерева і вугілля, до нафти і природних газів. Відомо, що вся сучасна природна вуглеводнева енергія має біологічне походження, джерело якого, у свою чергу, - сонце, його випромінювання, що досягає поверхні Землі. З щорічних $1 \cdot 10^{21}$ ккал енергії Сонця, що досягає земної поверхні, тільки соті частки відсотку використовуються для створення різноманіття

Екологічна безпека

природної біологічної маси, частина якої протягом 50-200 млн. років поступово перетворювалася у вуглеводневі відкладення торфу, вугілля, нафти, метанового газу. У підсумку процес спалювання вуглеводневого палива можна розглядати як процес вивільнення сонячної енергії, яка була сконцентрована в біологічній масі. Але, одночасно, це і один з перших технологічних процесів, який був пов'язаний з відходоутворенням у вигляді енергетичних втрат за рахунок розсіювання енергії найнижчої якості – теплової.

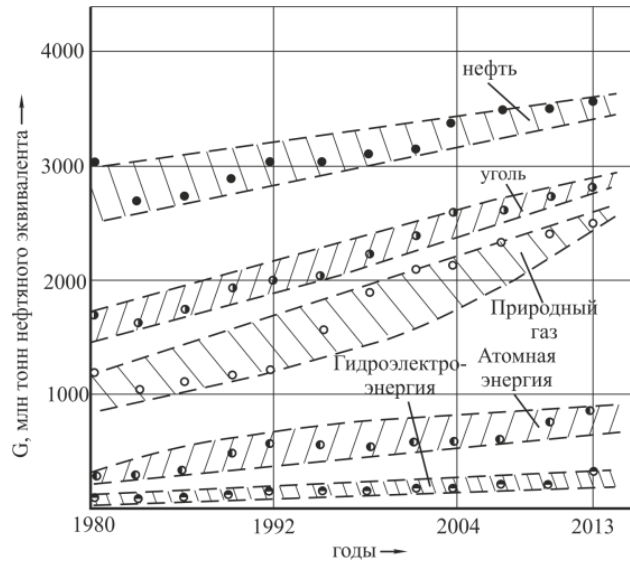


Рисунок 1 – Динаміка світового споживання природних енергоресурсів (За даними джерел [23, 27])



Рисунок 2 – Технічні системи, призначені для використання вуглеводневого палива

Природа створила величезну кількість джерел енергії, які використовує людина - органіку, природні вуглеводні, водень, енергію радіоактивного випромінювання, сонячне випромінювання, тепло надр і атмосфери тощо, залежно від того, які технології переробки використовуються. У історичному аспекті суспільство швидше відреагувало на вуглеводневі матеріали, як на реальне джерело енергії та протягом багатьох років і століть розробляло, вдосконалювало машини для переробки вуглеводнемістких копалин у корисну енергію. Для цього були підстави. Спочатку емпіричні, а потім і теоретичні. Головним було те, що горіння палива, за допомогою збільшення обсягу тіла, що нагрівається, *здійснювало роботу*. У ХІХ столітті теплова машина тим і підкорила світ, що вона з дуже неякісної теплової енергії *виробляла дію*. Наступні одна за одною роботи і дослідження в галузі збереження енергії Майер (1842), Гельмгольца (1847), початкові дослідження другого закону термодинаміки, виконані Лазарем і Саддам Карно (1824), Клаузиусом (1850), Томсоном (1852) зробили теплову машину чи не єдиним і незамінним джерелом корисної енергії, створивши таким чином для майбутнього своєрідний тупиковий бар'єр у науці ХІХ століття, який благополучно перекочував і у ХХ, а потім в ХХІ століття. Навіть енергію сонячного випромінювання, сконцентровану за допомогою дзеркал, традиційно намагаються використовувати для нагріву води, перетворення її в пару і далі, за відомим ланцюжком ... Незважаючи на те, що вже в ХХ столітті стало ясно, що такий вид енергії пов'язаний з величезними втратами енергії, своєрідними відходами в енергетиці.

За В. Томсоном, у тепловій машині тепло перетворюється в рух тільки за рахунок певних втрат і марною дисипацією. Якісної порівняльної оцінки втрат і роботи для теплових машин не існувало. Але інших подібних машин на той час не було. Зіставляти було ні з чим [7, 8]. Незважаючи на те, що вже у ХХ столітті стало ясно, що такий вид енергії пов'язаний з величезним навантаженням на навколишнє природне середовище, це не стало гальмувати суспільство. З'явилися інші джерела, що виробляють роботу - електрика, гідравліка і пневматика, термоелектричні, п'єзо-, фото- і віброефекти і ін. У ХХ столітті І. Пригожин, реалізувавши відоме рівняння $dS = d_e S + d_i S$, сміливо розділив необоротне розсіювання енергії, ентропію на приріст її оборотної частини $d_e S$ і на рівноправно вироблену, але незворотну частину $d_i S$, і відповідно останню поставив відповідальною за економічну частину енергоефективності. Але з цього не було зроблено розумні практичні висновки про вкрай неефективне використання теплових машин для виробництва енергії, руху, роботи [9]. Ми протягом величезного періоду часу вперто тримаємося саме за малоефективні теплові та подібні їм машини, приводячи до них майже всі інші джерела енергії - АЕС, ТЕС, ДВС та ін.

Основна частина роботи.

На сьогодні витрати енергії на видобуток одиниці об'єму нафти у співвідношенні з її продуктивністю, як палива становлять 1: 5, 20 % нафти у вигляді енергії витрачається на її видобуток. Уже через 20 років ця цифра приблизно буде становити 1: 1. А якщо буде потрібно видобувати "недоступну" нафту, витрати зростуть у рази. Сенс видобутку нафти втратиться, якщо не буде інших джерел енергії. Можемо бути впевненими, що ми станемо свідками того, що подальший видобуток вуглеводнемістких продуктів енергетично затратний, він буде здійснюватися тільки заради сировини для виробництва унікальних матеріалів, але не заради енергії.

Спалювання вуглеводнів поступово стає як економічно, так і термодинамічно не виправданим процесом майже у всіх його проявах. Тому що в будь-якому випадку, сконцентрована енергія сировини перетворюється в енергію за допомогою найбільш

неефективних методів: горіння, нагрівання пари або іншого теплоносія. Ентропія процесу при цьому, як правило, дуже висока. Велика частина енергії розсіюється у вигляді тепла, забруднює навколишнє середовище і втрачається, як матеріальна субстанція, для подальшого використання.

Будь-яка система отримання корисної енергії в певний період своєї роботи приходить у стан сильної нерівноваги, оскільки тільки такий режим дозволяє системі позбутися зростання ентропії (мінімізувати її) і бути спрямованою на протилежні їй репаративні процеси отримання власне корисного продукту [7, 10].

При загальній невизначеності та величезній кількості теплових та інших процесів, що дозволяють отримувати корисну енергію, сформуємо для них область феноменологічних кривих Л. Онсагера за запропонованою методикою (рис. 3) від стану $X_1 = X_2 = X_3 = 0$ (мінімум дисипації, крива 1) до $X_1 \neq X_2 \neq X_3 \neq 0$ (максимальна ентропія процесу, крива 2). І будемо вимагати власних співвідношень репаративних і дисипативних процесів для різних способів отримання корисної енергії, у тому числі, за допомогою лише механічних зусиль (використовуючи закони Ньютона, Архімеда, крива 3), тепломеханічних перетворювальних процесів (в основі лежить закон Фур'є, крива 4), фотоелектричного синтезу (закон Столетова, крива 5) і керованого термоядерного синтезу (крива 6).

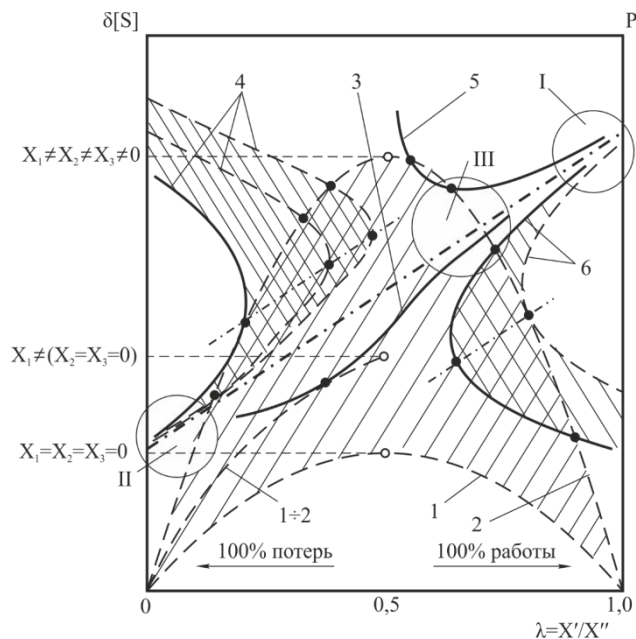


Рисунок 3 – Відображення стійкості і нерівноважності в різних системах отримання корисної енергії (позначення по тексту)

З огляду на те, що феноменологічні криві Л. Онсагера покликані описувати слабонерівноважні лінійні системи (розташовані поблизу області рівноваги), у так званих "співвідношеннях взаємності", а отримання корисної енергії, за І. Пригожиним, має відноситися до сильно нерівноважних процесів [11], на нашу думку, заслуговують на увагу тільки ділянки асимптотичних зближень I, II і III (див. рис. 3), далекі від атракцій. Тобто там, де можна вважати процеси отримання енергії відносно стійкими. Відомо, що стійкість

термодинамічної системи для отримання енергії відбивається перетином енергетичних кривих $P(\lambda)$ (3 ÷ 6) з однією з феноменологічних кривих $\{\delta[S](\lambda)\}$ Л. Онсагера. Екстремуми, які показані (максимуми термодинамічних потенціалів) задаються станами-аттракторами, до яких мимовільно прагне енерговиробна термодинамічна система, якщо при цьому виконуються граничні умови в області слабкої нерівноваги.

Розрахункові дані показують, що термодинамічна ефективність усіх сукупних теплових процесів отримання енергії, пов'язаних, у першу чергу, зі спалюванням вуглеводнів, в інтегральному показнику не може перевищувати позначку $\lambda = 0,5$ навіть у нестійкому режимі. Стійкий режим робить цю позначку ще менше (див. рис. 3, крива 4, зліва). І навпаки, термодинамічна ефективність термоядерного синтезу, фотоелектричного синтезу відбувається практично при $\lambda > 0,5$ і в окремих випадках навіть при $\lambda > 0,9$ (див. Рис. 3, криві 5 і 6, праворуч). Ці процеси здійснюються з мінімальною дисипацією енергії, що витрачається, або з мінімальним для таких систем приростом ентропії $d_e S$. Такий підхід дозволяє оцінити можливі варіанти економічно ефективного отримання енергії з позицій її втрат.

З одного із зазначених вище проблем, а саме, з енергетичними відходами, пов'язаний стан довкілля суб'єкта енергокористування, а саме, людини. Так само, як і вплив на кліматичні умови на планеті, виснаження природних ресурсів, зокрема, вуглеводнів, які за інших умов могли б стати величезним джерелом матеріальних багатств тощо. Сучасна енергетика лідирує у забрудненні навколишнього середовища відходами газів. А якщо до цього додати сучасний транспорт, в основі якого також здебільшого лежить спалювання вуглеводневого палива, і пов'язані з ним теплові процеси, то можна спостерігати пряму й дуже високу кореляцію кількості вивільненої з вуглеводнемісткими матеріалами енергії та забруднення навколишнього середовища. Динаміка зростання CO_2 , найбільш типового забруднювача атмосфери, пов'язаного з горінням вуглеводневого палива, досить красномовна і прогнози до 2030 року вкрай невтішні (рис. 4).

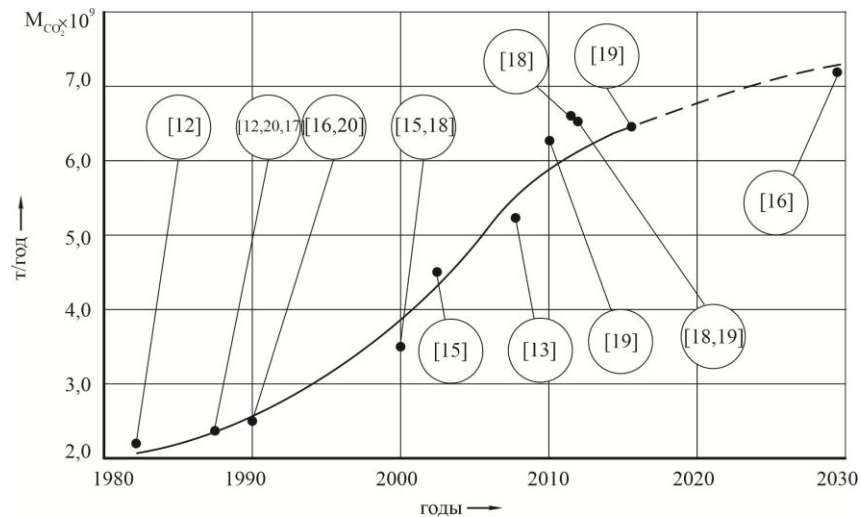


Рисунок 4 – Динаміка зростання викидів CO_2 , в атмосферу за останні 35 років (За даними міжнародних джерел, див. Перелік літератури на графіку)

Тільки цей фактор мав би орієнтувати суспільство на відмову від застосування подібних джерел енергії та інтенсивні пошуки альтернативи. Використовуючи нафту, газ, ми неефективно і варварськи спалюємо потенційні високоцінні матеріали, які іншими способами

не одержати, зокрема, пластмаси, синтетику, лаки, фарбу та ін. (словами У. Черчілля - "опалюємо банкнотами").

Таким чином, формується висока сукупна, у тому числі економічна ціна за сучасні вуглеводневі способи виробництва енергії, яка споживається, що вже сьогодні робить цю галузь господарювання фактором **глухого кута розвитку** для людства.

Величезна кількість машин і механізмів, технологічних процесів, обладнання та матеріалів створені на основі застосування вуглеводнів. В основі абсолютної більшості з них лежать теплові процеси. Двигуни внутрішнього згоряння, дизельні та газові двигуни автомобілів, турбіни різноманітних видів, реактивні двигуни літаків, технології отримання чавуну і сталі, прокату й аміаку, пластичних мас і численних синтетичних речовин, гумових виробів вимагають значної кількості вуглеводнемістких матеріалів. З кожних 100 патентів, які оформлюються у світі, 13 стосуються пристроїв і способів спалювання або переробки вуглеводнемістких палив і речовин.

Перші двигуни внутрішнього згоряння, які й донині переможно крокують планетою, з'явилися приблизно 100 років тому. Паливом був газ. Пізніше - рідке паливо. З'явилися електромобілі, покликані скоротити кількість викидів у навколишнє середовище насамперед міст. Енергетична ефективність електричних двигунів досить висока, 90-95% перетворення проведеної електроенергії на корисну роботу. Проте, в системі "електромобіль - електроенергія" нарівні з екологічно чистим автомобілем існує ще одна підсистема - теплоелектростанція, яка виробляє цю електроенергію. Ми отримуємо добуток ККД теплоелектростанцій і ККД власне електричного двигуна. А це вже цифри порядку $(0,40 \cdot 0,55) \cdot (0,9 \div 0,95) = 0,36 \div 0,52$. Та й за викидами в навколишнє середовище теплоелектростанції, як підсистеми даної системи, посідають провідні позиції в світі. У кращому випадку це далеко від ідеалу.

Інакше кажучи, у подібній системі інтегральне забруднення природи просто перерозподіляється між підсистемами, що є одним з ознак глухого кута розвитку таких систем.

З деякими уточненнями можна стверджувати, що на сучасному рівні розвитку науки і суспільства глобальне виробництво енергії з вуглеводневого палива шляхом активізації теплової енергії або енергії нагрітої пари є стратегічною науково-технічною помилкою. Те, що визнавалося як прогрес в минулому столітті, у нинішньому столітті має розглядатися як глухий кут, з якого необхідний вихід: інженерний, технологічний, економічний. Науковий вихід з такого глухого кута давно існує у вигляді розробок інших джерел енергії, крім вуглеводневих.

Сучасною наукою створено безліч так званих неуглеводневих джерел енергії. Їх провісником була атомна енергетика, початок якої було покладено в 1954 році будівництвом Обнінської АЕС в СРСР. З тих пір атомна енергетика набула промислового значення. У 32 державах світу налічується більше 190 діючих АЕС, загальною потужністю 393 ГВт. Величезні надії фізики поклали на керований термоядерний синтез, прототипом якої стали перші Токамаки.

З 2011 року існують розробки в області так званого низькоенергетичного ядерного синтезу (ефект E-cat або генератори Россії). Технологія LENR заснована на ефекті резонансного злиття нанопорошкового нікелю з атомами водню і подальшим утворенням атомної міді та заліза. У результаті екзотермічної ядерної реакції за наявності певного каталізатора вивільняється близько 10 мегаелектронвольт енергії, що в 10^7 разів більше, ніж

Екологічна безпека

при спалюванні водню в термоядерному реакторі (1,5 ЕВ). Розрахунки та експериментальні демонстрації (наприклад, на конференції в Лугано, 2014 р.) показують, що маса палива 1 г дозволила за 32 діб провести 1600 кВт ч теплової енергії в 3 кВт, при потужності, яка безперервно генерується. Джерелом є нікель. Декларована вартість 1 кВт енергії - 1 цент [22, 23].

Існує цілий науковий напрям, який називається водневої енергетикою. У основі її використання один із найбільш поширених елементів на Землі – водень, як засіб для виробництва, акумулювання і споживання енергії. Водень має одну з найвищих теплоту згоряння, і продуктом його згоряння є вода. Він безпечний для навколишнього середовища, не токсичний для людини, вкрай енергоємний. Все це робить водень перспективним замінником вуглеводневих джерел енергії. Сучасні наукові дослідження пропонують людству величезний ресурс підземного водню [24, 25, 26]. Природа постаралася для людини, природним шляхом відокремила вкрай високоенергетичний водень зі складу підземної води і упакувала його в так звані металогідридні конгломерати. При цьому людині залишилося тільки отримати цей вільний водень із зон рифтогенезу на поверхні планети і включити його до складу власних енергоресурсних продуктів. Причому такого палива, яке не забруднює навколишнє середовище, людству вистачить на сотні мільйонів років.

Немає потреби знову повторювати аргументи щодо наявних альтернативних джерел енергії, які знаходять все більше застосування.

Людству є з чого обирати, щоб скласти раціональну репаративну альтернативу вуглеводневому паливу. При цьому виникає нове завдання - створення абсолютно нових підходів до інженерно-технічного забезпечення взаємодії з новими джерелами енергії, що є метою багатьох майбутніх поколінь фахівців в галузі інженерії.

ВИСНОВКИ

Сучасна енергетика позиціонується не тільки як ресурс можливостей для добробуту сучасного суспільства, але і як джерело величезної кількості забруднень, що впливають на середовище проживання людини. Ресурси вуглеводневої енергетики, незважаючи на відомі побоювання, скінчаться ще не скоро, у силу їх різноманіття і поширеності на планеті, але вже сьогодні стає очевидним нераціональність їх використання в технологічних процесах і для побутових потреб. Розробка нових неуглеводневих джерел енергії потребує свого розвитку незалежно від сформованої структури економічних і соціальних відносин, спрямованих на застосування вугілля, нафти, природного газу. Певною мірою це стає однією з найбільш актуальних завдань для сучасної інженерії.

Список використаних джерел:

1. *Голубенцев, А. Н.* Термодинамика процесса производства / *А. Н. Голубенцев.* – Киев : Техника, 1969. – 182 с.
2. *Волошин В. С.* Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах / *В. С. Волошин, П. М. Семенченко.* – Донецк : Донеччина, 1997. – 71 с.
3. *Александров, Е. А.* Основы теории эвристических решений. Подход к изучению естественного и построению искусственного интеллекта / *Е. А. Александров; под ред. П. Г. Кузнецова.* – М. : Сов. Радио, 1975. – 256 с.

4. Цибульский, В. Ф. Энергетический индикатор состояния экономики / В. Ф. Цибульский // Вести в электроэнергетике. 2013. – № 4. – С. 37–41.
5. Энергетика в экономике XXI века / Е. П. Велихов, А. Ю. Гагаринский, С. А. Субботин, В. Ф. Цибульский. – М. : ИздАТ. 2010. – 176 с.
6. Потребление нефти странами мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://iformatsiya.ru/tab1/539-potreblenie-nefti-stranami-mira.html>
7. *Elkana, Y.* The Discovery of the Conservation of Energy / *Y. Elkana.* – London, Hutchinson Educational, 1974. – 213 p.
8. *Elkana, Y.* Helmholtz's Kraft : An Illustration of Concepts in Flux / *Y. Elkana* // Historical Studies in the Physical Science. – 1970. – Vol. 2. – P. 263–298.
9. *Prigogine, I.* Étude thermodynamique des phénomènes irréversibles / *I. Prigogine.* – Paris : Dunon 1947.
10. *Prigogine, I.* Etude Thermodynamique des Phénomènes Irréversibles. Thèse D'agrégation présentée en 1945 à l'Université Libre de Bruxelles // *I. Prigogine.* – Paris : Dunon 1947.
11. *Prigogine, I.* The Second Law as a Selection Principle : The Microscopic Theory of Dissipative Processes in Quantum Systems / *I. Prigogine, C. George* // Proceeding of the National Academy of Science. – 1983. – Vol. 80, July. – P. 4590–4594.
12. Нухаус, Ф. Влияние производства энергии на концентрацию в атмосфере газов, обуславливающих парниковый эффект [Электронный ресурс] / Ф. Нухаус, Э. Янсита // Бюллетень МАГАТЭ. – 1989. – N 2. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/31204091220_ru.pdf
13. Загрязнение атмосферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.globaltrouble.ru/ekologiya_atmosfery_gidrosfery_pedosfery/zagryaznenie_atmosfery.html
14. Выбросы двуокиси углерода в результате сжигания ископаемого топлива на душу населения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gks.ru/bgd/regl/b09_66/isswww.exe/stg/04-20.htm
15. Глобальные последствия загрязнения окружающей среды [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studbooks.net/2987/ekologiya/globalnye_posledstviya_zagryazneniya_okruzhayushey_sredy
16. Защита атмосферы Земли - международная проблема : промежуточный отчет Комиссии по социологическим исследованиям 11-й сессии Бундестага. – Бонн, 1988.
17. Атом в промышленности: радиационные технологии на службе развития [Электронный ресурс]. – Бюллетень МАГАТЭ. – 2015. – Сентябрь. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/bull563_sept2015_ru.pdf
18. Дискуссии о парниковом эффекте : взгляд изнутри. Вопросы энергетики и обсуждение проблемы глобального потепления [Электронный ресурс] // Бюллетень МАГАТЭ. – 2000. – Декабрь. – С. 2–5. – Режим доступа: https://www.iaea.org/sites/default/files/vol42_no4_russian_ru.pdf
19. Лемыш, А. Нефть получила тепловой удар [Электронный ресурс] / А. Лемыш. – Режим доступа: <http://www.chitalnya.ru/work/1406582>
20. *Larin, V. N.* Hydridic Earth : the New Geology of Our Primordially Hydrogen-rich Planet / *V. N. Larin.* – [S. l.] : Polar Publishing, 1993. – 273 p.

21. Ларин, В. Н. Наша Земля : (происхождение, состав, строение и развитие изначально гидридной Земли) / В. Н. Ларин. – М. : Агар, 2005. – 248 с.
22. Белов, С. Н. Чистое топливо будущего [Электронный ресурс] / С. Н. Белов // Российские недра. – 2006. – № 18 (31). – С. 3. – Режим доступа: <http://www.asgeos.ru/article/320.html>
23. BP Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>
24. Трегуб, О. А. Податок за розміщення відходів як складова економіко-правового забезпечення поводження з ними [Електронний ресурс] / О. А. Трегуб // Юридичний науковий електронний журнал. – 2016. – № 4. – С. 97–100. – Режим доступу: http://lsej.org.ua/4_2016/27.pdf
25. Податковий кодекс України [Електронний ресурс] : від 02.12.2010 р. № 2755-VI (із змінами, редакція від 17.11.2020 р.). – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2755-17>
26. Энергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність» [Електронний ресурс] : схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>
27. Мельник, Л. Г. Синергетическая методология исследования экономических систем / Л. Г. Мельник // Вопросы политической экономии. – 2014. – № 4 (13). – С. 69–95.

Волошин В. С.

ТЕРМОДИНАМИКА ОТХОДООБРАЗОВАНИЯ И СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

На основании и многочисленных литературных данных выполнен анализ роли и эффективности современного энергетического потенциала с позиций эффективности производства как товарной продукции, так и отходов, отнеся к ним и энергетические потери и связанную с ними эффективность использования различных источников энергии. Показана роль энергетической зависимости общества в обеспечении его совокупного благосостояния. Предложен подход к анализу эффективности известных источников энергии с позиций их влияния на качество существующих технологических процессов, в частности, на процессы отходаобразования. Сделана попытка обосновать дальнейшую неперспективность углеводородной энергетики для будущих технологий. Рассмотрены некоторые энергетические альтернативы.

Ключевые слова: энергоэффективность, энергезависимость, энергопотребление, термодинамика, неравновесные процессы, альтернативные источники энергии, перспективы современных технологий.

WASTE THERMODYNAMICS AND DEVELOPMENT STRATEGY MODERN ENERGY TECHNOLOGIES

On the basis of numerous literature data, the analysis of the role and efficiency of modern energy potential from the standpoint of production efficiency of both marketable products and waste, including energy losses and related efficiency of various energy sources. The role of society's energy dependence in ensuring its overall well-being is shown. An approach to the analysis of the efficiency of known energy sources from the standpoint of their impact on the quality of existing technological processes, in particular, on the processes of waste generation. An attempt is made to substantiate the further unpromising nature of hydrocarbon energy for future technologies. Some energy alternatives are considered. Hydrocarbon combustion is gradually becoming both economically and thermodynamically unjustified process in almost all its manifestations. Because in any case, the concentrated energy of raw materials is converted into energy by the most inefficient methods: combustion, heating of steam or other coolant. The entropy of the process is usually very high. Most of the energy is dissipated in the form of heat, pollutes the environment and is lost as a material substance for further use. It is concluded that modern energy is positioned not only as a resource of opportunities for the well-being of modern society, but also as a source of a huge amount of pollution that affects the human environment. Resources of hydrocarbon energy, despite known fears, will not run out soon, due to their diversity and prevalence on the planet, but today it becomes clear the irrationality of its use in technological processes and for domestic use. The development of new hydrocarbon energy sources requires its development regardless of the existing structure of economic and social relations aimed at the use of coal, oil and natural gas. To some extent, this is becoming one of the most pressing challenges for modern engineering.

Keywords: *energy efficiency, energy dependence, energy consumption, thermodynamics, nonequilibrium processes, alternative energy sources, the prospects of modern technologies.*

Рецензент:

Стаття надійшла