

ТАРАСЕНКО МИКОЛА

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-6080-4367>e-mail: tarasenko_mykola@ukr.net

КОЗАК КАТЕРИНА

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

<https://orcid.org/0000-0001-7267-8492>e-mail: kozakateryna@gmail.com

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АТОМНОЇ ЕНЕРГІЇ В МИРНИХ ЦІЛЯХ

У статті проаналізовано питання майбутнього мирного використання атомної енергетики та термоядерної енергії, яка є майже ровесницею створення атомної бомби. Визначено існуючі переваги і недоліки експлуатації атомних електростанцій та спрогнозовано майбутнє цивільної атомної енергетики і можливість реалізації незатухаючого термоядерного синтезу.

Ключові слова: атомні електростанції, мирний атом, термоядерна енергія, термоядерний синтез, дефектна маса, ядерні відходи, гравітаційне утримання, прискорювач, уран 235, уран, 238, енергоблок, замкнений цикл, торієві електростанції, гелій, організація економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР), ресурси та запаси.

TARASENKO MYKOLA, KOZAK KATERYNA

Ternopil National Ivan Puluj Technical University

PROSPECTS OF PEACEFUL USE OF NUCLEAR ENERGY

The article analyzes the issue of the future peaceful use of atomic energy, which is the same age as the creation of the nuclear bomb. These projects were implemented quite quickly one after the other. In July 1945, the United States, as part of the Manhattan Project, which began in 1942, tested the first atomic bomb, and the first nuclear power plant (NPP) was launched in the USSR in the city of Obninsk in July 1954 and only 9 years separated the military use of uranium decay from the peaceful atom. This whole program was about the decay of heavy elements, but the problem of nuclear fusion of light elements with the release of energy immediately involved not only military but also peaceful use. US and USSR thermonuclear bombs detonated 10 months apart in 1952 and 1953. It seemed that the idea of peaceful use of thermonuclear energy would be implemented very quickly, in a few years. It remained to solve the main question of how to make an installation for keeping hot plasma. Such well-known physicists as Robert Oppenheimer, Ihor Kurchatov, the discoverer of the spontaneous fission of uranium nuclei, Ihor Dmytrovych Sakharov, co-creator of the hydrogen bomb, Yuliy Borisovych Khariton, etc., dealt with the problem. More than 70 years have passed since that time, and humanity has not yet learned to manage a self-sustaining thermonuclear reaction. While on the Sun, thermonuclear fusion has existed for millions of years, and to do something similar is the main dream of mankind because the natural reserves of hydrocarbons are gradually being depleted. The idea of fusion is to add up the mass of two hydrogen nuclei and two particles related to them so that the total mass is greater than that of the atomic nucleus of helium formed from these four particles (this is called the mass defect), the excess mass (this is the difference between the sum of the masses of all nucleons contained in the nucleus and the mass of the nucleus). When these four particles fuse with the helium nucleus, this defective mass is transformed into energy, which will be greater than that of the helium atomic nucleus formed from these four particles.

Keywords: nuclear power plants, peaceful atom, thermonuclear energy, thermonuclear fusion, defective mass, nuclear waste, gravitational containment, accelerator, uranium 235, uranium, 238, power unit, closed cycle, thorium power plants, helium, organization of economic cooperation and development (OECD), resources and reserves.

Постановка проблеми

Автори роботи поставили за мету на основі аналізу існуючих переваг і недоліків експлуатації атомних електростанцій визначити майбутнє цивільної атомної енергетики і можливість реалізації незатухаючого термоядерного синтезу.

Аналіз останніх джерел

Діюча модель світової економіки не розрахована на згорання споживання енергетичних та матеріальних ресурсів. Навпаки, єдиною умовою всесвітнього економічного процвітання є зростання споживання [1]. Без надійних енергетичних джерел, вартість яких постійно змінюється, це зробити практично неможливо і саме тому «кінець світу» в одній окремо взятій країні може статися в будь-який момент часу якщо ціна на нафту впаде з \$100 до \$70, а тим більше до \$ 9,8 то буде катастрофа в одній окремо взятій країні [2]. А ціна на нафту може впасти в будь який момент як це сталося в колишньому СРСР на початку 1980 років коли вартість бареля нафти впала до \$12. Це призвело до розпаду держави. Таке може статися і в тому випадку коли хтось винайде не тільки альтернативне але й дешеве джерело енергії. Таким чином будь який винахідник, який винайде альтернативні високоєфективні та дешеві джерела енергії перейде в ранг ворога для тих хто займається видобутком і експортом викопних джерел енергії [3, 4]. Це, в першу чергу, Саудівська Аравія, яка отримує \$1 мільярд прибутку щодня, Росія Газпром, Пекін Китайська народна республіка (КНР), Великобританія (Лондон), Гаага (Нідерланди), США та Франція. І це не зважаючи навіть на те, що викопна енергія дійсно поступово вичерпується, що вказує на необхідність використання нових енергоємних і надійних джерел енергії, до яких в першу чергу відноситься атомна енергетика [5, 6, 7], яку можна поглибити і розвинути, використовуючи результати її поступового розвитку і формування на енергетичному секторі воєнно-промислового комплексу і добре опанованих промислових реакторах, які використовувалися на підводних човнах з залученням вже створеного для цих цілей ядерного

паливного циклу, набутих знань і значному досвіді [8–11]. Додатковим поштовхом до переходу до мирного атома послужила нафтова криза 1973 року коли ціна на нафту різко збільшилася із трьох до дванадцяти доларів за барель та залежністю її поставок від політичних чинників. Це змусило багатьох країн світу переглянути свої енергетичні програми щодо розвитку цивільної атомної енергетики [12]. З двох основних типів енергетичних ядерних реакторів на теплових і швидких нейтронах найпоширенішими в світі стали реактори на теплових нейтронах. Розроблені різними країнами типи та конструкції реакторів з різними уповільнювачами та теплоносіями стали основою національної енергетики. Так, у США основними стали водо-водяні реактори під тиском і киплячі реактори, у Канаді – важководні реактори на природному урані. У колишньому СРСР – водо-водяні реактори під тиском (ВВЕР) й урано-графітові киплячі реактори (РВПК) тощо [13]. Недовіра до атомної енергетики поступово трансформувалася в довіру. Стало зрозуміло, що зростаюче виробництво різноманітних товарів і кількості людей на планеті при відсутності доброї волі з часом може знищити людство не тільки за рахунок перенаселення але й за рахунок виснаження вуглеводневих енергоресурсів та утворення великої кількості різноманітних відходів які довго розкладаються.

Президент Південного технологічного університету Китаю, член Китайської Академії наук Сюэ Цікун прогнозує що запаси нафти на Землі виснажаться через 50 років. За іншими даними доведених запасів нафти і газу у світі, за умови нинішнього рівня споживання та видобутку, вистачить на 54 і 64 роки відповідно. Зникнення нафти означатиме революцію в промисловості. Під загрозу знищення може попасти і авіація, тому що надійної альтернативи гасу (продукту перегонки нафти), який використовується в авіації поки що не знайдено [14]. А існуючі альтернативи приблизно в 3 рази дорожче, ніж звичайне авіаційне паливо. Не виключено, що в майбутньому літаки можуть зникнути з неба, а з ними і десятки тисяч робочих місць. Але вчений ядерник, доктор технічних наук, професор Ігор Миколайович Острецов переконаний, що такого сценарію розвитку можна уникнути якщо сконцентрувати увагу вчених на створення і розвиток торієвих атомних електростанцій (АЕС) та АЕС побудованих на урані 238. Він стверджує, що всі проблеми людства обумовлені і будуть завжди обумовлюватися дефіцитом енергії. З кожним днем вона буде ставати все дорожче. Без неї людську цивілізацію поглине темрява і навіть якщо ми коли небудь переселимося на інші планети, все одно ми будемо залежати від неї, від енергії. З цим важко не погодитися. Згідно даних Світового банку (World Bank) для забезпечення гідного рівня життя необхідно щоб на кожну людину припадало не менше двох кВт встановленої потужності (найбільшої активної потужності, з якою електроустановка може тривалий час працювати без перевантаження). Якщо кількість людей, які проживають в даний час на планеті Земля (а їх 7,951 мільярд) помножити на 2 кВт встановленої потужності то ми отримаємо 15,9 ТВт. В той час як за даними МАГАТЕ на кінець 2022 року загальна світова ядерна енергетика становила 393,8 ГВт а потрібно 15,9 ТВт. Як бачимо дефіцит дуже великий. В перерахунку на мільйони блоків потужністю кожного з яких 2000 кВт це приблизно 200 блоків, а потрібно як мінімум в 7 разів більше тобто 14 ТВт. А в середині століття, коли за прогнозами ООН на планеті Земля буде проживати 10 мільярдів людей необхідно буде виробляти у 20 раз більше енергії. І все б було добре якщо б вчені ядерники при створенні мирної атомної енергетики не пішли тим самим шляхом що і при створенні атомної бомби. Тобто мирна атомна енергетика була створена на базі тих самих технологій що і атомна бомба. Так само як і атомна бомба вона працює в теперішній час на урані 235 і плутонії [15]. Тобто це додаток до ядерної програми направленої на створення ядерної зброї. Ті вчені, які створили атомну бомбу (Роберт Опенгеймер, Жоліо Кюрі, Ігор Курчатов, Сахаров Ігор Дмитрович, Харитон Юрій Борисович тощо) зробили ще один подарунок людству. Цей подарунок гарний не тільки з точки зору безпеки, але й розмірів. Він дуже маленький. Тобто його частка в енергетичному балансі запасів енергоресурсів складає лише 0,4% і вона близька до вичерпності.

Українські електростанції в електрогенеруючій частині виробляють приблизно стільки ж енергії як і весь світ – в середньому 15-16 %, а частка електроенергії складає приблизно 10-12%. Якщо одне на друге перемножимо то побачимо що це в загальному балансі буде близько 2,5%. Є і локально залежні від атомної енергії країни. Наприклад Франція і Вірменія. Остання має лише одну атомну АЕС, а Франція знаходиться в скрутному становищі, тому що має високий процент генерації електроенергії – 80%. Високий процент залежності і у Японії. Це пояснюється тим що високо розвинуті країни світу які не мали і не мають достатньої кількості вуглеводних викопних енергоносіїв були вимушені піти при створенні мирної атомної енергетики тим самим шляхом що і при створенні атомної бомби. Так само як і атомна бомба мирна цивільна ядерна енергетика працює і в теперішній час на урані 235 і плутонії. Світовими лідерами у виробництві ядерної електроенергії є: США (788,6 млрд кВт·год/рік), Франція (426,8 млрд кВт·год/рік), Японія (273,8 млрд кВт·год/рік) і Німеччина (158,4 млрд кВт·год/рік). Не зважаючи на це атомна енергетика займає в процесі генерації електроенергії скромні 10%, в найкращі часи у 1996 році вона дорівнювала 17,5%, в той час як вугілля дає майже половину енергії світу 37% світової енергетики Чому так? Справа в тому, що атомна енергетика, крім плюсів, має і декілька мінусів а саме: розпадаючись в реакторі уран 235 крім електроенергії виробляє ще й десятки різних ізотопів, багато з яких у природі взагалі не зустрічаються і є не тільки сильними отрутами але й джерелом потужного рентгенівського випромінювання, що може призводити до мутацій ДНК та смерті. Низка ядерних аварій та інцидентів (в Чорнобилі, Фукусімі, Трі – Майл-Айленді, Віндскейлі, Киштімі, на узбережжі Ірландського моря тощо) показали що атомна енергія не прощає легковажного ставлення до себе. Але це не значить що від неї треба відмовитися. Друга проблема

Полягає в тому, що урану на планеті Земля не так вже й багато, як вугілля, газу або навіть нафти. Його запаси у всьому світі оцінюються у 5 млн тон. Однак вони безперервно змінюються і становлять трохи менше одного млн. тон. При щорічному споживанні 75 тисяч тон його вистачить приблизно на 13 років. Ще стільки ж урану згідно даних МАГАТЕ міститься у малорентабельних родовищах. Тобто вже до 2040 року ціна електроенергії, що виробляється на АЕС, може зрости щонайменше вдвічі. А після 2045 року урану 235 практично не залишиться. Третя проблема – це ядерні відходи. Сотні мільйонів тон радіоактивних відходів, що утворюються внаслідок роботи АЕС суттєво накопичилися у світі за час використання атомної енергії. За нинішнього рівня виробництва кількість відходів у найближчі кілька років може подвоїтись. При цьому жодна із 34 країн атомної енергетики не знає, як вирішити проблему відходів. Справа в тому, що більшість відходів зберігає свою радіоактивність до 240 тисяч років і має бути ізольована на весь цей час. Спочатку цьому питанню не приділяли належної уваги і ядерні держави скидали радіоактивні відходи в ріки, моря, океани та у вироблені штольні. Зараз вже розроблені спеціальні технології за якими радіоактивні відходи розміщують у герметичні капсули, які зберігаються в спеціальних сховищах. Ці три проблеми настільки серйозні, що з кожним роком дедалі менше країн зможуть підтримувати повний цикл атомної енергетики (всю послідовність виробничих процесів, що повторюються, починаючи від видобування палива і закінчуючи утилізацією радіоактивних відходів. У зв'язку з цим Британія будує перший в Європі завод для виробництва ядерного палива нового покоління. Новий тип палива буде необхідний для живлення наступного покоління ядерних енергетичних проєктів.

У США Вже кілька десятиліть продовжується справжня перманентна криза в ядерній галузі. В той час як в Японії ядерна енергетика залишається темою, що викликає глибокі розбіжності в країні з огляду на сумне минуле атомних бомбардувань Хіросіми та Нагасакі наприкінці другої світової війни. Проте гострий дефіцит енергоресурсів почав поступово змінювати настрої у суспільстві. Тепер більшість парламентаріїв наполягають перезапустити атомні електростанції та повністю відмовитися від вуглеводневого палива до 2050 року. Це пояснюється значною залежністю Японії від викопного палива (нафти, вугілля, скрапленого природного газу тощо), велика частина яких імпортується з закордону і вразлива до ринкових цін. Все це підштовхує владу до відродження в Японії атомної енергетики. До перезапуску готують близько 20 реакторів. За планом, вже у 2030 році АЕС будуть виробляти від 20 до 22% електроенергії в країні. Не забувають в Японії і про обеззараження своєї території. Так 24 серпня 2024 року, згідно з планом, воду з резервуарів розбавили морською водою, щоб знизити концентрацію радіонуклідів, що залишилися і почали повільно скидання понад мільйона тон очищеної води в море з пошкодженої АЕС Фукусіма в Тихий океан. Це скидання стало першим із чотирьох, запланованих на період до кінця березня 2024 року. Весь процес займе щонайменше 30 років. Найактивніше ядерною енергетикою займаються Росія та Євросоюз. Вони продовжують розвивати свою атомну енергетичну програму. Їх мрія, як і мрія сучасних ядерників – енергетика без радіоактивних відходів. Це коли відпрацьований матеріал переробляється і знову стає паливом для реакторів різного типу. При цьому знижується потреба у збагаченні дорогого урану. Питання про відмову від ядерної енергії перестало бути актуальним. Це тому що таблетка збагаченого урану вагою лише 4,5 грама реально виділяє енергію еквівалентну енергії спалювання чотирьохсот кілограм вугілля. А от питання як зробити установку щодо утримання гарячої плазми як стояло і стоїть дуже гостро. Це обумовлено тим, що природні запаси вуглеводнів поступово вичерпуються в той час як попит невпинно зростає. Виробництво електроенергії всіма країнами світу (211 найменувань) згідно довідника ЦРУ становить 19894777 ГВт год і воно постійно зростає. Це вказує на те, що відмова від атомної енергетики абсолютно не на часі. Потрібно реалізувати ідею термоядерного синтезу. Для цього потрібен дейтерій або тритій *щоб реалізувати* процес злиття двох атомів, тільки не приєднанням їх один до одного (як два атоми водню утворюють молекулу H₂), а саме злиттям їх у єдине ціле. Якщо скласти масу двох ядер водню та двох споріднених їм частинок, то ця маса буде більшою, ніж у атомного ядра гелію, отриманого з цих чотирьох частинок (це називається дефектом маси), зайва маса. При злитті цих чотирьох частинок з ядром гелію ця дефектна маса відповідно до формули Ейнштейна $E = m \cdot c^2$ перетворюється на енергію. На Сонці, як і на будь-якій іншій зірці, запустити термоядерну реакцію набагато простіше ніж на Землі. Це обумовлено тим, що Сонце дуже велике, (радіус Сонця у 110 раз більше за радіус Землі і приблизно дорівнює 695500 км) і тому своєю власною гравітацією воно створює величезний тиск у надрах. У ядрі Сонця густина речовини становить приблизно 150 000 кг/м³ що в 150 разів більше густини води і приблизно в 6,6 разів перевищує густину найщільнішого металу на Землі - осмію), а температура в центрі ядра понад 14 млн градусів К. Отримати такі показники на Землі вчені не змогли хоча і намагалися це зробити за рахунок високої температури. Це пояснюється тим що в земних умовах здавлювати електрони та протони дуже складно. Та й нема чого. В якості термоядерного палива вчені можуть використати дейтерій, це протон і один нейтрон та тритій один протон і два нейтрони. При величезній температурі ці два ядра можуть подолати сили електричного відштовхування позитивних протонів і тоді з цієї конструкції вийде ядро гелію і залишаться зайві нейтрони. Вони відлетять геть, несучи з собою величезну енергію, яку можна перетворити в бажану для нас електроенергію. А чи може виникнути дефіцит урану? І якщо може то коли він настане? Таке питання поставив перед собою у 2009 році швейцарський фізик Мікаель Діттмар. Якщо дефіцит не за горами, то нема сенсу продовжувати дослідження в цьому напрямку. Саме так міркував вчений. Для цього він провів масштабне дослідження та встановив, що в найближчі декілька років світова енергетика може стикнутися з дефіцитом урану починаючи з 2013 року (саме такий термін був встановлений вченим) в таких

країнах- імпортерах радіоактивного палива як Японія та подібних до неї держав. По-друге, щорічно на виробництво електроенергії витрачається 65 тисяч урану.

Щодо дефіциту урану, то тут вчений помилився в прогнозах тому що не врахував його дволікості, яка передбачає не тільки мирне але й військове його використання. Лише у США та Росії його накопичилося близько 500 тисяч тон. (Пік виробництва ядерної енергетики був зафіксований у 2006 році – 2660 ТВт год. У зв'язку з тим, що ядерного палива і на теперішній момент вистачає, можна прийти до висновку що військові таки діляться своїми запасами з зацікавленими особами. Це підтвердив і президент російського наукового центру Курчатівського інституту Євген Веліхов. Він підкреслив, що урану набагато менше ніж нафти. Його і потрібно менше, але закінчується і одне і друге. Уран закінчиться ще скоріше. Частка ядерної енергетики в глобальному виробництві електроенергії знизилась з 17,6% в 1966 році до 10,7% в 2015 році. 164 реактора були закриті. З'явилися країни, які почали відмовлятися від ядерної енергетики. США після 1987 року не побудувала жодної АЕС. А Німеччина повністю відмовляється від АЕС, в той час як Китай будує десяток нових реакторів. Відношення до цивільної атомної енергетики неоднозначне. Одні підкреслюють, що атомна енергія це добре, інші кажуть, що це погано, бо вони мають низку проблем, а саме: суттєвий вплив на екосистеми розташованих поряд водних об'єктів, використання великої кількості питної води для охолодження і генерації електроенергії, дефіцит якої в світі постійно зростає у зв'язку з зміною клімату і активної діяльності людини. Це призводить до скорочення водних ресурсів через забруднення прісноводних екосистем а також з наслідками урбанізації та змін у землі використанні. За останні півстоліття площа зрошуваних полів у світі подвоїлася і становить 20 % усіх сільськогосподарських угідь, які виробляють 40 % усієї їжі – як для людей, так і для худоби, труднощами з утилізацією відходів. Перевагами ядерної енергетики перед енергетикою інших видів є велика теплотворна здатність ядерного палива (у 2 млн разів більша, ніж у нафти, і в 3 млн разів більша, ніж у вугілля), кращі економічні показники і менше забруднення довкілля. Щодо вартості виробленої електроенергії, то найдешевша електрична енергія генерується саме на АЕС та гідроелектростанціях. Станом на 21.06 2022 р середня ціна за 1кВт годину електроенергії в Україні становила \$0,57 а найвища-;\$062. Крім того атомна енергетика не виробляє парникових газів, які є основною причиною глобального потепління.

До переваг АЕС відноситься і їх компактність, що дає можливість зводити їх в безпосередній близькості до прилеглих міст. Реактори здатні працювати довше і не залежать від погоди і пори доби, інтенсивності сонячного випромінювання та наявності повітряного потоку, що характерно для відновлюваних джерел енергії. Завдяки цьому ставлення до власних ресурсів, в тому числі й урану, на сьогоднішній день змінюються. Держави прагнуть забезпечити себе з енергетичної точки зору, почавши розробляти власні ресурси, щоб не бути занадто залежними від ринку. Україні щорічно потрібно близько 2,5 тисяч тон урану для того, щоб наші електростанції відновлювали паливні збірки і їх експлуатували. В теперішній час Україна виробляє всього 30-35% потрібного нам урану. В експлуатації перебувають Ватутинське, Мічуринське і Новокоптянтинівське родовища. В резерві Северинське. Решту ми купуємо за зовнішніми контрактами за валюту. Україна відмовилася від послуг Росії. Першу партію видобутого урану «Енергоатом» відправив нашому новому більш надійному ніж Росія канадському стратегічному партнеру для виробництва ядерного палива на потреби українських АЕС. З вище викладеного випливає, що всі традиційні джерела енергії вичерпні і тому на порядку денному повинно стояти питання термоядерного синтезу, за допомогою якого вчені прагнуть забезпечити людство енергією, яка базується на принципі її вивільнення шляхом злиття атомних ядер, а не шляхом їхнього розщеплення, як у випадку реакцій поділу, завдяки яким і працюють всі існуючі атомні електростанції. В якості палива для реакторів використовується низько збагачений уран з вмістом менше 5%, який не псується і може безпечно зберігатися протягом багатьох років. Але останнім часом такі держави як Росія, Іран, Північна Корея, Індія, Пакистан Почали використовувати торгівлю енергоносіями у якості зброї. Це підштовхнуло низку країн світу (навіть Японію, яка зовсім недавно пережила аварію на АЕС» Фокусіма 1) до перезапуску атомної програми. Почато оновлення близько 20 реакторів. За планом, вже у 2030 році АЕС будуть виробляти 20-22% електроенергії. шляхом замкнутого паливного циклу. Розробляється технологія в якій можна буде використовувати уран 238. Якщо навчитися спалювати уран 238 то з точки зору отримання необхідної кількості енергії, а не з точки зору безпеки все буде добре. Росатом пропонує будувати реактори на швидких нейтронах. А що таке реактор на швидких нейтронах? В ньому уран 238 переводиться в плутоній 239 який так само добре горить як і уран 235 в сучасних реакторах. Для цього потрібно напрацювати уран плутоній 239 в реакторі, потім вилучити тепловиділяючі елементи (твेलі), які він напрацював. Після цього вилучити плутоній, баластувати його знову ураном 238 і завантажити в реактор. Тепер в цьому циклі буде обертатися один мільйон кВт 20 тон плутонію. А бомбу можна зробити і з 6 кг. При цьому радіотехнічний завод буде знаходитися на станції. Треба також мати на увазі що час подвоєння (отримання палива від цього плутонію) складає не менше 50 років. Тобто якщо реактор вже побудований, то два нових можна буде збудувати лише через 60 років. Це обумовлено тим, що час подвоєння (напрацювання) зайвого палива, що виходить для другого реактора, потрібну кількість ми отримаємо лише через 50 років. Це тому що напрацювання палива відбувається дуже повільно. А чотири реактора можна буде побудувати тільки в наступному столітті. Це означає що за часом подвоєння ми не встигнемо в цьому столітті їх впровадити. Відповідно це проблема, яку потрібно вирішити вже зараз.

Що ж до термоядерної реакції то її реалізувати в найближчому майбутньому не вдасться нікому, не

зважаючи на те, що відомий фізик ядерник Курчатов Ігор Васильович був упевнений що друга половина двадцятого століття буде століттям термоядерної енергії. На жаль, він помилився. В найближчому майбутньому реалізувати таку реакцію не вдасться, тому що реакція повинна протікати при температурі 20 мільйони градусів, шнур, тверда стінка через яку йдуть потоки нейтронів з енергією 400 мега електрон вольт, які далі виділяють енергію, або направляють тритій, тобто якимось чином утилізують. Електропровідність лише 12%. Таку стінку створити неможливо. Дослідний термоядерний реактор, який був створений у Франції обійшовся у 15 мільярдів доларів. Були проведені і оприлюднені результати досліджень, в яких мова йшла про нейтрони (а нейтрони можуть мати різну природу), а от про інертний газ гелій який утворюється в термоядерному реакторі в результаті спалювання дейтерію і літію, який є прямим і безпосереднім свідком того що термоядерна реакція дійсно ефективно проходила не згадали. Це вказує на те, що термоядерної реакції не було і не буде. Це обумовлено тим, що гравітаційна реакція можлива тільки при гравітаційному утриманні, як це відбувається на Сонці, де все це тримається не в магнітних полях, а за рахунок гравітаційних сил. Таким чином відбувається реакція. Ну а якщо ми маємо нейтрони високої енергії, то можна ділити уран 238, який за енергетичними запасами становить 90 % всього іншого (вугілля, нафти, газу, торфу). А ось урану 235 мало. Тому треба навчитися його ділити. Для цього потрібні прискорювачі, пристрої, в яких використовуються електромагнітні поля для прискорення заряджених частинок та фокусування їх у пучках. Але звичайні прискорювачі дуже великі. Для одного Гіга електрон-вольт потрібно приблизно 1 км простору. Ну, а якщо потрібно 10 мега електрон-вольт, то для електростанцій це буде 10 км. Але з часом 'ясувалося що компактний прискорювач на 3–4 Гіга електрон-вольт існує. Його можна розмістити в літак Руслан для транспортування в потрібну точку. Його розробником став вчений Олексій Богомолів. Він отримав на нього патент і пройшов апробацію. Але 27 лютого 2022 року літак Руслан був заарештований одразу після того як Україна приєдналася до санкцій проти російської федерації. Що ж до термоядерної реакції, то вона не працюватиме ніколи, не зважаючи на те, що з'явилося повідомлення про те що в Національній лабораторії імені Лоуренса Лівормора в Каліфорнії успішно пройшла реакція ядерного синтезу, що призвело до чистого приросту енергії. Експеримент додав 2,05 МДж енергії до мішені та в результаті отримав 3,15 МДж енергії термоядерного синтезу, виробивши на 50% більше енергії, ніж було використано. Поки що це тільки повідомлення, яке не спростовує вище наведеного обґрунтування неможливості підтримання керуваного термоядерного синтезу.

Висновки

Перевагами ядерної енергетики перед енергетикою інших видів є велика теплотворна здатність ядерного палива (у 2 млн разів більша, ніж нафти, і в 3 млн разів більша, ніж вугілля), кращі економічні показники, менше забруднення довкілля. Швеція та Бельгія, які раніше провадили політику поступової відмови зараз переглянули та скасували свої попередні плани. Філіппіни відновили свою ядерну програму 28 лютого 2022 року і незабаром можуть запустити законсервовану Батаанську станцію. Для усунення інших існуючих проблем необхідно: розробляти більш безпечні та більш ефективні реактори четвертого покоління, які повинні бути абсолютно стійкими до аварій і використовувати відпрацьоване паливо, зменшуючи кількість ядерних відходів. Знижувати вартість будівництва та експлуатації нових АЕС шляхом використання модульних реакторів малої потужності (SMR). Використовувати замкнений паливний цикл, який дозволяє переробляти відпрацьоване паливо і зменшувати кількість радіоактивних відходів. Розширювати співпрацю між країнами для спільної розробки та впровадження нових технологій і безпекових стандартів. Аналогом може служити американський реактор "АПі-1000" – це реактор останнього покоління з найсучаснішими технологіями який не має вад в управлінні ядерною реакцією при реалізації тепловиділення. З вище викладеного випливає доцільність і перспективність подальшого розвитку атомної енергетики.

Література

1. Острецов І. М. Енергетичні проблеми людства та способи їх вирішення / І. М. Острецов // Науковий вісник Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. – 2018. – № 2. – С. 17–282.
2. Острецов І. М. Нова енергія століття / І. М. Острецов // Вісник Національного технічного університету України / Київський політехнічний інститут. – 2010. – № 3. – С. 12–25.
3. Шевченко Т. Економічні аспекти розвитку атомної енергетики в Україні / Т. Шевченко, В. Грищенко // Журнал економічних досліджень Харківський національний університет ім. В.М. Каразіна.. – 2023. – № 2. – С. 10–20.
4. Зайцев О. Технічні інновації в атомній енергетиці / О. Зайцев, М. Лисенко // Вісник ОНПУ. – 2022. – № 1. – С. 45–53.
5. Бобро Д. Г. Диверсифікація постачань ядерного палива в контексті енергетичної незалежності держави. Аналітична записка. Національний інститут стратегічних досліджень України. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1735/12>.
6. Уманець М. Час не чекає / М. Уманець // Вісн. НАН України. – 2017. – № 11. – С. 81–85.
7. Шендерович В. Атомна енергетика України: Часу для суб'єктивних оцінок не залишилося. Укрінформ. 2018. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2406172-atomna-energetika-ukraini-casu-dla>

subektivnih-ocinok-ne-zalislisa.html.

8. Павлович В. М. Фізика ядерних реакторів: навчальний посібник / В. М. Павлович. – Чорнобиль (Київ. обл.) Ін-т проблем безпеки АЕС: НАН України, Ін-проблем безпеки АЕС, 2009. – 224 с.
9. Іваненко І. Перспективи атомної енергетики в Україні / І. Іваненко, О. Петров // Вісник КПІ. – 2022. – № 3. – С. 15–27.
10. Norwitz, Jeffrey H. The Four Faces of Nuclear Terrorism / Norwitz, Jeffrey H., Ferguson, Charles D., Potter, William C. // Naval War College. – 2005. – Vol. 58. № 2. – P. 145-157.
11. Острецов І. М. Фізичні основи сучасної атомної енергетики : навчальний посібник / І. М. Острецов. – МЕІ імені Баумана, 2007. – 310 с.
12. Зайцев О. Технічні інновації в атомній енергетиці / О. Зайцев., М. Лисенко // Вісник ОНПУ. - 2022. - № 1. - С. 45-53.
13. Савченко Д. Безпека експлуатації атомних електростанцій / Д. Савченко, І. Поліщук // Наукові записки НУБіП. - 2021. - № 5. – С. 12-30.
14. Sainati T. Small Modular Reactors: Licensing constraints and the way forward / T. Sainati, G. Locatelli, N. Brookes // Energy. – 2015. – P. 1092–1095.
15. Erich A. Long-Term Uranium Supply Estimates review / A. Erich, C. Schneider and William // Nuclear Technology. – 2008. – Vol. 162. - P. 379-387.
16. Тарасенко М. Енергоефективність та екологічність атомних електростанцій та вітроенергетичних установок / М. Тарасенко, К. Козак / Вісн. Нац. техн. ун-ту «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність. – 2023. – С. 1 (6). – С. 90–98.

References

1. Ostretsov I. M. Enerhetichni problemy liudstva ta sposoby yikh vyrishennia / I. M. Ostretsov // Naukovyi visnyk Chernivetskoho natsionalnoho universytetu imeni Yurii Fedkovycha. – 2018. – № 2. – S. 17–282.
2. Ostretsov I. M. Nova enerhiia stolittia / I. M. Ostretsov // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukrainy / Kyivskiy politekhnichnyi instytut. – 2010. – № 3. – S. 12–25.
3. Shevchenko T. Ekonomichni aspekty rozvytku atomnoi enerhetyky v Ukraini / T. Shevchenko, V. Hryshchenko // Zhurnal ekonomichnykh doslidzhen Kharkivskiy natsionalnyi universytet im. V.M. Karazina.. – 2023. – № 2. – S. 10–20.
4. Zaitsev O. Tekhnichni innovatsii v atomnii enerhetytsi / O. Zaitsev, M. Lysenko // Visnyk ONPU. – 2022. – № 1. – S. 45–53.
5. Bobro D. H. Dyversyfikatsiia postachan yadernoho palyva v konteksti enerhetychnoi nezalezhnosti derzhavy. Analitychna zapyska. Natsionalnyi instytut stratehichnykh doslidzhen Ukrainy. URL: <http://www.niss.gov.ua/articles/1735/12>.
6. Umanets M. Chas ne chekaie / M. Umanets // Visn. NAN Ukrainy. – 2017. – № 11. – S. 81–85.
7. Shenderovych V. Atomna enerhetyka Ukrainy: Chasu dlia subiektyvnykh otsinok ne zalyshylosia. Ukrinform. 2018. URL: <https://www.ukrinform.ua/rubric-economy/2406172-atomna-energetika-ukraini-casu-dlia-subiektyvnykh-ocinok-ne-zalislisa.html>.
8. Pavlovych V. M. Fyzyka yadernykh reaktoriv: navchalnyi posibnyk / V. M. Pavlovych. – Chornobyl (Kyiv. obl.) In-t problem bezpeky AES: NAN Ukrainy, In-problem bezpeky AES, 2009. – 224 s.
9. Іваненко І. Перспективи атомної енергетики в Україні / І. Іваненко, О. Петров // Вісник КПІ. – 2022. – № 3. – С. 15–27.
10. Norwitz, Jeffrey H. The Four Faces of Nuclear Terrorism / Norwitz, Jeffrey H., Ferguson, Charles D., Potter, William C. // Naval War College. – 2005. – Vol. 58. № 2. – P. 145-157.
11. Ostretsov I. M. Fyzichni osnovy suchasnoi atomnoi enerhetyky.: navchalnyi posibnyk / I. M. Ostretsov. – MEI imeni Bauman, 2007. – 310 s.
12. Zaitsev O. Tekhnichni innovatsii v atomnii enerhetytsi / O. Zaitsev., M. Lysenko. // Visnyk ONPU. - 2022. - № 1. - S. 45-53.
13. Savchenko D. Bezpeka ekspluatatsii atomnykh elektrostantsii / D. Savchenko, I. Polishchuk // Naukovi zapysky NUBiP. - 2021. - № 5. S. 12-30.
14. Sainati T. Small Modular Reactors: Licensing constraints and the way forward / T. Sainati, G. Locatelli, N. Brookes // Energy. – 2015. – P. 1092–1095.
15. Erich A. Long-Term Uranium Supply Estimates review / A. Erich, C Schneider and William // Nuclear Technology. – 2008. – Vol. 162. - P. 379-387.
16. Tarasenko M., Enerhoefektyvnist ta ekolohichnist atomnykh elektrostantsii ta vitroenerhetychnykh ustanovok / M. Tarasenko, K. Kozak / Visn. Nats. tekhn. un-tu «KhPI». Serii: Enerhetyka: nadiinist ta enerhoefektyvnist. – 2023. – S. 1 (6). – S. 90–98.