# РЕФЕРАТ

**НА ТЕМУ:**

**”Розвиток Енергетики”**

## Атомна енергетика — стала технологія

А чому, власне, атомна? Нам що, мало чорнобильської трагедії? Приблизно так багато хто відреагує на заголовок цієї статті. Давайте, однак, відкинемо емоції і подивимося на енергетику через призму концепції сталого розвитку. У 1987 році Комісія Брундтланд[[1]](#footnote-1) дала загальноприйняте на сьогодні визначення, сформулювавши сталий розвиток як такий, що «задовольняє потреби і сподівання теперішнього покоління та не наражає на небезпеку здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби». Згідно з цим принципом при оцінці сталості енерговиробництва необхідно враховувати такі фактори:

1. доступність і ефективність палива;
2. землекористування;
3. екологічні наслідки розміщення відходів;
4. можливості повторного енергетичного циклу;
5. доступність і конкурентоспроможність, включаючи сюди зовнішні та соціальні витрати;
6. кліматичні зміни.

Подивимось, чи враховує ці фактори атомна енергетика.

**Доступність і ефективність палива.** Основа ядерного палива — уран, який, крім атомної енергетики, не має іншого конструктивного застосування. Природно-біологічні процеси спираються на кисень, водень, вуглець та азот. Використання урану не втручається до жодного з них і, таким чином, залишає цінні ресурси для інших застосувань. Україна має власні поклади урану. Також уранові родовища є в багатьох політично стабільних країнах. Величезна кількість урану міститься у морській воді. За оцінками фахівців, його світових запасів вистачить на декілька тисячоліть.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Вид палива** | **Дерево** | **Вугілля** | **Нафта** | **Уран** |
| Енергія, отримувана від одного кілограма палива | 1 кВтґг | 3 кВтґг | 4 кВтґг | 50 000 кВтґг |

**Землекористування.** Україна має високорозвинуте сільське господарство, а тому питання відчуження ґрунтів під промислові об’єкти є вельми гострим. З наведеної на наступній сторінці таблиці видно, що АЕС вимагають найменшої площі у порівнянні з іншими електростанціями. Треба також зважати на те, що сонячна та вітрова енергії можуть з максимальною ефективністю використовуватися тільки у місцях із сприятливими природними умовами (в інших місцях потрібні великі вкладення у підтримуючі виробничі потужності). У нашій країні такі умови є лише у південних областях (Миколаївська, Херсонська, Одеська) та у Криму. Використання біомаси для широкомасштабного виробництва енергії можливе тільки у малонаселених країнах із сприятливими кліматичними умовами. Клімат у нас добрий, але, спрямовуючи свою політику землекористування переважно на виробництво продуктів харчування, Україна не може собі дозволити відводити великі площі для вирощування енергопостачальної біомаси.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип електростанції** | **АЕС** | **Сонячна** | **Вітрова** | **З використан­ням біомаси** |
| Площа відчужуваних земель для 1000-мегаватної станції | 1—4 км2 | 20—50 км2 | 50—150 км2 | 4000—6000 км2 |

**Екологічні наслідки розміщення відходів.** Технологічні відходи електростанцій або упаковують у контейнери, або «розсіюють». Досить малі за об’ємами відходи ядерної енергетики ніколи не викидали в повітря, у тепловій же енергетиці велика частина відходів розпорошується в атмосфері. При цьому оксиди сірки й азоту з’єднуються з атмосферною вологою і спричинюють кислотні дощі; вуглекислий газ сьогодні визнаний головною складовою парникових газів; а важкі метали і арсен (миш’як) осідають на ґрунт. Усі ці шкідливі речовини ми вдихаємо, споживаємо їх разом з овочами, годуємо забрудненим сіном домашніх тварин, отруюючи їхнє молоко і м’ясо. Окрім цього, треба пам’ятати, що тоді як рівень радіації з часом понижується і врешті-решт зникає зовсім, токсичні матеріали (важкі метали) існують вічно.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Тип електростанції** | **АЕС** | **Вугільна\*** |
| Об’єм відходів 1000-мегаватної електростанції за рік | 20 тонн відпрацьованого палива | 900 тонн SO2  4500 тонн NОx \*\*  6,5 млн тонн CO2  400 тонн важких металів (включаючи ртуть) і небезпечних елементів (включаючи арсен) |

\* Тут наводяться показники для найчистішої на сьогодні вугільної технології. Але велика частина вугільних електростанцій і досі працює за «дідівською» технологією, часто без елементарних пиловловлювачів.

\*\* Маються на увазі різні оксиди азоту

**Кліматичні зміни.** Зростання СO2 в атмосфері, пов’язане з людською діяльністю, на 75% викликане спаленням органічного палива, а значна частина решти 25% — масштабним зменшенням площі лісів. На сьогодні лише ядерна та гідроенергетика є серйозними джерелами безвуглецевого та економічного виробництва енергії. В той час, як росте наукове розуміння процесів глобального потепління, треба все більше спиратися на джерела енергії, що не викидають до атмосфери парникових газів – такі як поновлювані джерела[[2]](#footnote-2) та атомна енергія.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип електростанції** | **АЕС\*** | **Газ** | **Нафта** | **Вугілля** |
| Викиди вуглекислого газу при виробництві 1 млн кВтґг | 1 тонна | 360—400 тонн | 700—800 тонн | 850 тонн |

\* Тут ураховується повний паливний цикл, у тому числі автомобільні перевезення палива й устаткування.

**Конкурентоспроможність.** При економічній оцінці будь-якої технології енерговиробництва необхідно враховувати повні зовнішні та соціальні витрати, зокрема екологічні ефекти для паливного циклу, вплив на суспільство (в т. ч. на зайнятість, здоров’я тощо) у локальному, регіональному та глобальному вимірах. Широкомасштабний проект **ExtrnE**, здійснений Європейською комісією спільно з Департаментом Енергії США, вивчав зовнішні фактори для повних енергетичних циклів (див. таблицю на наступній сторінці).

Експлуатаційні та фінансові витрати для різних технологій залежать у різних країнах від місцевих умов та прийнятих облікових ставок. Зовнішні витрати в ядерній енергетиці покривають потенційні витрати у випадку великих аварій, при тому імовірність таких аварій не є великою.

Якщо враховувати лише експлуатаційні та фінансові витрати, то найдешевшими є ядерна енергія та природний газ. Якщо брати до уваги ще й зовнішні витрати, то найпривабливішою стає ядерна енергія.

Оцінки зовнішньої вартості емісії СО2 (ефект кліматичних змін) не є усталеними й варіюються від 10 до 25 євро на тонну вугілля. Якщо прийняти цю вартість як 15 євро за тонну, то це дасть внесок у зовнішню вартість для вугілля 0,5 цента євро за кВтґг, а для природного газу – 0,3 цента. Якщо ж брати більш високу вартість, то ці числа дуже помітно збільшаться. Це робить ядерну енергію найбільш економічно вигідною альтернативою у випадку врахування всіх витрат.

***Повна вартість виробництва електроенергії у центах євро за кВтґг***

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Технологія** | **Зовнішні витрати** | Фінансові витрати | **Загалом** |
| Вугілля | 2,0 | 5,0 | 7,0 |
| Нафта | 1,6 | 4,5 | 6,0 |
| Газ | 0,36 | 3,5 | 3,9 |
| Вітер | 0,22 | 6,0 | 6,2 |
| Гідроенергія | 0,22 | 4,5 | 4,7 |
| Ядерна енергія | 0,04 | 3,5 | 3,5 |

## Трохи теорії

Уран — дуже поширений хімічний елемент на Землі. Його вміст у земній корі становить у середньому 4·10-6 г/г породи, у морській воді — 1,3·10-6 г/л. Природний уран складається з трьох ізотопів: 233U, 235U та 238U. При цьому вміст ізотопів дуже різний: на 140 частин 238U припадає одна частина 235U і незначна кількість 233U. При опроміненні нейтронами ізотопи виявляють себе по-різному. Так, при поглинанні нейтрону ядро 235U переходить у нестабільний стан і розпадається на два осколки з виділенням енергії та випусканням т. зв. вторинних нейтронів. Якщо нейтрон знову потрапляє в ядро 235U, то відбувається ще одне ділення. Якщо нейтрон потрапляє в ядро 238U, то відбувається інша реакція: новоутворене ядро 239U випускає **β**-частку та перетворюється на нептуній (239Np), який за наступного **β**-розпаду перетворюється на плутоній (239Pu). Плутоній є ядерним паливом і здатний ділитися та перетворюватися під дією нейтронів на важчі ізотопи:

30% 240Pu + n > 241Pu

239Pu + n

70% осколки (продукти ділення)

Так само як і 235U, 233U теж є матеріалом, який ділиться і розпадається при поглиненні нейтрону. Ресурси 233U у природі вельми малі, отож його напрацьовують у ядерних реакторах з торія (Th), вміст якого у земній корі — близько 12·10-6 г/г породи —значно перевищує вміст урану. Щоправда, в океанічній воді торія міститься лише близько (1-2)·10-9 г/л — приблизно в тисячу разів менше, ніж урану. Однак у процесі вироблення 233U утворюються домішки баластних ізотопів 232U та 234U, які не діляться. Ізотоп 232U має період піврозпаду 72 роки й утворюється за кількома ядерними реакціями при опроміненні нейтронами природного торія; його присутність погіршує радіаційну обстановку, бо його продукти є **α-**, **β-** і **γ-** активними. Тому у порівнянні з 235U паливо на основі 233U вимагає акуратнішого поводження.

Щоб проникнути в ядро 238U і викликати його перетворення на 239U, потрібні швидкі, а щоб викликати ділення 235U — повільні нейтрони. Реактори, в яких основну роботу здійснюють швидкі нейтрони, називаються швидкими, а реактори, котрі працюють на повільних нейтронах, — тепловими. У якості сповільнювача нейтронів у теплових реакторах використовуються графіт, вода або важка вода. Звідси й назви — уран-графітові, легководні, важководні реактори.

У процесі роботи в паливі утворюються довгоживучі радіонукліди: америцій (Am), кюрій (Cm), нептуній (Np), технецій-99 (99Tc) та йод-129 (129I). На сьогодні розроблені і випробувані технології, завдяки яким довгоживучі радіонукліди (з періодом піврозпаду в десятки й сотні тисяч років) вилучаються з відпрацьованого ядерного палива і піддаються трансмутації у швидких реакторах. У такому випадку замкнений ядерно-паливний цикл стає екологічно прийнятним, бо вимагає контролю за збереженням вилучених високоактивних відходів (у тому числі стронція-90 (90Sr) і цезія-137 (137Cs)) протягом лише 100—200 років. Після падіння активності ці відходи заховуються з дотриманням принципу радіаційно-міграційної еквівалентності (згідно з цим принципом, разом з відходами у земних глибинах ховається така ж кількість радіонуклідів, як і в добутому природному урані)[[3]](#footnote-3).

## Негативні сторони ядерної енергетики

Однак у сучасної атомної енергетики є й істотні недоліки. Вона дає значно менше відходів, ніж інші енергогенеруючі технології (а потім ще й ізолює їх), але відходи все ж такі існують. Безпека поховання великої кількості радіоактивних відходів (РАВ[[4]](#footnote-4)) на десятки і сотні тисяч років викликає сумнів через надійність таких довготривалих фізично-геологічних прогнозів.[[5]](#footnote-5) Невідомо також, яку роль ці штучні поклади небезпечних речовин відіграють у життєдіяльницьких процесах наступних земних цивілізацій...

Більшість АЕС у світі використовують теплові легководні реактори (LWR). До цього класу належать усі нині діючі українські енергоблоки. LWR вимагають збагаченого урану, що зумовлює залежність неядерних країн[[6]](#footnote-6) від постачальників ядерного палива. Тому деякі держави (зокрема Румунія) будують важководні реактори (HWR), де використовується паливо з природного (незбагаченого) урану. Однак глибина вигоряння палива у HWR у 4—6 разів менша, ніж у LWR, а це збільшує об’єми відпрацьованого (опроміненого) ядерного палива (ОЯП) та зумовлює відповідну потребу у місткіших сховищах. Далі: існуючі на сьогодні технології переробки ОЯП передбачають вилучення з нього плутонію, а створення власних збагачувальних комбінатів і потужностей для переробки ОЯП у неядерних країнах дає їм можливість напрацьовувати збройовий уран і плутоній на основі цілком легальних каналів атомної енергетики.

Ще одним недоліком LWR є те, що в якості палива в них використовується 235U, а його запасів у розвіданих на сьогодні родовищах вистачить лише на 50—100 років. Тому треба ширше запроваджувати в енергогенеруючі процеси 238U, запасів якого вистачить на кілька тисячоліть.

За всю історію атомної енергетики світу були дві аварії-катастрофи: Виндскейл (7 жовтня 1957 р.) і Чорнобиль (26 квітня 1986 р.). Першу з них фактично вдалося «зам’яти», друга ж завдала величезного удару по самій ідеї «мирного атома». Головним психологічним наслідком Чорнобиля стала масова радіофобія, коли все пов’язане з ядерною енергетикою почало сприйматися некритично, різко негативно. Доходило до «чорного» комізму. Так, через рік після чорнобильської аварії лікарі у Німеччині повідомляли про серйозні випадки фізичного виснаження людей, котрі харчувалися тільки консервами з датою виготовлення до 26 квітня 1986 р.

## Атомна енергетика XXI століття

Щоб продуктивно розвиватися далі, атомна енергетика має відповідати цілій низці вимог, серед яких:

1. необмежене забезпечення людства паливними ресурсами шляхом ефективного використання природного урану, а надалі і торію;
2. унеможливлення важких аварій із радіаційними викидами (які тягнуть за собою евакуацію населення) за будь-яких відмов устаткування, помилок персоналу та зовнішніх впливів (таке унеможливлення має досягатися передусім за рахунок *природної безпеки* реакторів, яка, у свою чергу, має ґрунтуватися на грамотній експлуатації *природних якостей та закономірностей* паливних компонентів);
3. екологічно безпечні виробництва енергії й утилізації відходів шляхом замкнення паливного циклу зі спаленням у реакторі довгоживучих актиноїдів[[7]](#footnote-7) і продуктів ділення, з радіаційно еквівалентним похованням РАВ без порушення природного радіаційного балансу;
4. перекриття каналу поширення ядерної зброї, пов’язаного з ядерною енергетикою, через поступове виключення з неї технологій вилучення плутонію з ОЯП і збагачення урану, а також через забезпечення фізичного захисту ядерного палива від крадіжок;
5. економічна конкурентоздатність за рахунок зниження вартості та відтворення палива, підвищення ефективності термодинамічного циклу, розв’язання проблем безпеки АЕС без ускладнення їхніх конструкцій і висунення особливо жорстких вимог до персоналу та устаткування.

Сьогодні в різних країнах ведеться активний пошук ядерних технологій для майбутнього. Багато хто повернувся до реакторних концепцій, від яких раніше відмовився на користь швидких реакторів. Це такі концепції, як: цикл Th-U; циркулювання рідкосольового палива; використання підкритичних реакторів з прискорювальними або іншими джерелами нейтронів тощо. Інші продовжують роботу над швидкими реакторами традиційного типу, розраховуючи на зниження їхньої вартості шляхом оптимізації конструкції і переходу до серійного будівництва... Але навряд чи можна сподіватися на технічну розробку і демонстрацію усієї величезної кількості досліджуваних варіантів. Малоймовірно також, що розрізнені, не об’єднані хоча б єдиним розумінням мети, дослідження «самі собою» приведуть до оптимального варіанту. Отож зусилля вчених світу щодо розробки нової довгострокової концепції ядерної енергетики треба скоординувати та сконцентрувати.

В ідеалі треба було б сподіватися на вироблення концептуальної технології, згідно з якою паливом слугував би природний незбагачений уран, а рівень радіаційної небезпеки отримуваних відходів не перевищував відповідного початкового рівня руди (і водночас при всьому цьому щоб не було аварій).

Теоретична можливість створення великомасштабної ядерної енергетики, яка б відповідала згаданим критеріям, є вельми реальною. За основу такої енергетики могли б послужити великопотужні швидкі реактори в циклі U-Pu з коефіцієнтом відтворення КВ≈1. Тобто у такий реактор завантажується так зване рівноважне паливо із суміші природного урану та плутонію. У процесі роботи плутоній вигоряє як паливо, а під дією утворюваних нейтронів із 238U напрацьовується знову ж таки плутоній. Таким чином, після закінчення роботи у відпрацьованому паливі виявляється стільки Pu, скільки було завантажено, а тому при новому завантаженні реактора плутоній не треба ні витягати, ані додавати. Для коригування складу палива слід лише додавати U — задля компенсації спаленої частини. Отже, технологія зводиться тут в основному до очищення палива від продуктів ділення. При цьому довгоживучі радіонукліди повертаються в реактор для трансмутації, а високоактивні Sr та Cs повинні витримуватися у тимчасовому сховищі 100—200 років. Після зниження активності ці відходи навічно ховатимуться згідно із згадуваним вище принципом радіаційно-міграційної еквівалентності. Окрім усього іншого, у швидкому реакторі можна допалювати і радіоактивні відходи з теплових (“повільних”) реакторів.

Отже, швидкі реактори мають багато переваг. Щоправда, за минулі роки склалося уявлення про швидкі реактори, як обов’язково дорогі. Але ситуацію можна поліпшити. За фізичними й технічними принципами конструкції і керування великопотужні швидкі реактори з рідкометалічним охолодженням значно простіші від LWR та інших теплових реакторів, а крім того, куди ефективніше використовують паливо та енергію. Таким чином, проблема їхнього здешевлення полягає лише у випрацюванні оптимальних технічних рішень. Головною причиною високої вартості першого покоління швидких реакторів було використання в них у якості теплоносія хімічно високоактивного натрію. Для запобігання його контакту з водою і повітрям при нормальній експлуатації та на випадок аварії використовуються триконтурна схема охолодження, страхувальний корпус, численні системи контролювання та захисту парогенераторів, перевантаження палива. Усе це «нагромадження» допоміжного устаткування дуже ускладнює всі технологічні процеси та удорожчує конструкцію. А можливість займання та закипання натрію при аваріях не дозволяло повною мірою реалізовувати властиві швидким реакторам якості безпеки.

Не вдаючись у технічні подробиці, відзначимо лише, що описані реактори з КВ>1 (тобто у процесі роботи цього реактора утворюється більше плутонію, ніж його було завантажено) у радянський час створювалися в першу чергу для напрацювання збройового плутонію. Маючи короткий час подвоєння Pu, вони потребували легкого й теплопровідного теплоносія, здатного відводити від палива високі теплові потоки, що і визначило вибір натрію. А для реакторів із рівноважним паливом і помірними навантаженнями можливий інший, менш активний і менш дорогий теплоносій. У свою чергу, це зменшить кількість допоміжних технічно-конструктивних заходів безпеки.

## Зразок швидкого реактора природної безпеки

Нещодавно у Росії розпочата державна програма «Екологічно чиста енергетика». Її мета — зменшення впливу на навколишнє середовище усіх ланок паливно-енергетичного комплексу. Зокрема, передбачається нарощування екологічно чистого виробництва електроенергії атомними станціями і створення безпечної й економічної моделі АЕС, яка стане базою розвитку ядерної енергетики у великих масштабах.

У рамках програми розробляється проект реактора на швидких нейтронах з охолодженням рідким свинцем. Ця модель називається БРЕСТ (быстрый реактор со свинцовым теплоносителем). Забезпечення безпеки її експлуатації досягається не стільки створенням нових або удосконаленням уже застосовуваних захисних бар’єрів, скільки за рахунок оптимального врахування фундаментальних фізичних та хімічних властивостей ядерного палива, теплоносія й інших компонентів, що дає змогу реалізувати принцип *природної безпеки*.

У конструктивному плані БРЕСТ істотно відрізняється від експлуатованих нині зразків. Його реакторна установка належить до басейнового типу, коли в шахту з теплоізоляційного бетону заливається свинець, а в нього «вставляються» активна зона, парогенератор, насос та інші системи забезпечення. Циркуляція свинцю в контурі здійснюється за рахунок створюваної насосами різниці рівнів нагрітої та «охолодженої» речовини.

До особливостей БРЕСТа слід віднести і конструкцію його тепловидільних елементів (ТВЕЛів). За традиційною технологією вирівнювання тепловиділення по радіусу реактора досягається за рахунок зміни збагачення у ТВЕЛах, а в БРЕСТі просто застосовуються ТВЕЛи різного діаметру. У якості палива використовується мононітридна композиція уран-плутонію (UN-PuN) та мінорних актиноїдів. Реактор здатний за одну кампанію спалювати до 80 кг як «власних» актиноїдів, так і отриманих із ОЯП теплових АЕС.

Іншою істотною особливістю проекту є прилягання комплексу з переробки ОЯП безпосередньо до реакторної установки. Це дає можливість одразу ж передавати ОЯП із газового простору реактора на переробку — без дорогого і небезпечного транспортування відходів на далекі відстані.

Поєднання природних властивостей свинцевого теплоносія, мононітридного палива, фізичних характеристик швидкого реактора, вдалих конструкторських рішень активної зони та контурів охолодження виводить БРЕСТ на якісно новий рівень безпеки і забезпечує його стійкість навіть під час найтяжчих аварій без спрацьовування активних засобів захисту. Рівноважний склад палива робить фізично неможливим «розгін» реактора, як це було в Чорнобилі. За будь-яких можливих варіантів розвитку подій, навіть таких найтяжчих, як уведення в дію повного запасу реактивності або відключення всіх насосів за одночасної відмови систем захисту, БРЕСТ не робить радіоактивних викидів. Не аналізуються тільки дві ситуації (та їх, мабуть, і нема рації розглядати): ракетно-ядерний удар та падіння величезного астероїду. Від усього іншого реактор захищений, навіть від диверсій на рівні оперативного персоналу.

На сьогодні в Росії виконано 1-й етап технічного проекту демонстраційного блоку АЕС БРЕСТ-300 з паливним циклом. Завершення технічного проекту демонстраційного блоку разом з основними розрахунковими і дослідними обгрунтуваннями намічено на 2002 рік. Спорудження блоку планується на майданчику Білоярської АЕС (Свердловська область) до 2010 р. На базі БРЕСТ-300 передбачається розробити проект комерційного великопотужного енергоблоку АЕС природної безпеки, що його можна буде покласти в основу великомасштабної ядерної енергетики майбутнього. Мінатом Росії запрошує зацікавлені країни (насамперед ті, що розвиваються, потерпають від дефіциту палива і прагнуть енергетичної незалежності) до науково-технічної і фінансової участі у програмі «реактора природної безпеки». Витрати на програму у сьогоднішніх цінах становлять близько 5 млрд доларів.

## А що ж Україна?

За сумарною потужністю своїх реакторів Україна посідає 8-е місце у світі і 5-е — в Європі. На всіх українських АЕС діють легководні реактори серії ВВЕР (водо-водний енергетичний реактор). На Хмельницькій та Рівненській АЕС добудовуються два енергоблоки ВВЕР-1000.

Участь України у міжнародному проекті «реактора природної безпеки» та будівництво в ній цього реактора зумовили б такі позитивні наслідки:

1. Запровадження передового безпечного методу виробництва електроенергії, яким можна було б замінити діючі сьогодні екологічно шкідливі теплові (насамперед вугільні[[8]](#footnote-8)) електростанції.
2. Незалежність від постачальників збагаченого урану[[9]](#footnote-9). Перше закладення палива в реактор БРЕСТ вимагає уран-плутонієвої композиції, якої у нас нема, але це *одноразова* залежність — на відміну від *постійної* залежності щодо палива для теплових реакторів.
3. Значне послаблення проблеми РАВ. По-перше, вже сама організація роботи реактора БРЕСТ дає менше РАВ (до того ж підготовлених до утилізації з дотриманням принципу радіаційно-еквівалентного поховання), а по-друге, БРЕСТ здатний допалювати РАВ, отримані на теплових реакторах.
4. Виникнення додаткових робочих місць, зокрема для висококваліфікованих українських фахівців (інженер має займатися своєю справою, а не торгувати на базарі).

Беручи участь у проекті реактора природної безпеки, треба зважати на суспільно-політичні реалії життя Росії: загальновідомі події в Чечні, протистояння центру і регіонів, хиткі економіка і політика тощо. Ці та/або інші обставини можуть у будь-який момент спричинити внутрішньополітичну дестабілізацію Росії і як наслідок — невиконання нею своїх зобов’язань, зокрема і по міжнародних програмах. На випадок подібного розвитку ситуації Україна повинна подбати про запобіжні заходи, основними з яких, гадається, мають бути:

1. Участь українських фахівців у проекті на *всіх* його етапах розробки та реалізації, одержання українською стороною усієї технічної документації одночасно з Мінатомом Росії.
2. Будівництво дослідного блоку в Україні паралельно з будівництвом блоку на Білоярській станції. У нас блок можна розмістити поблизу Чорнобильської станції, що сполучить його в єдиний комплекс із підприємством переробки РАВ (яке там зараз будується) і надасть змогу значно пом’якшити проблему працевлаштування атомників Славутича.

В атомній галузі Росії працює багато фахівців українського походження. Частина з них потрапила туди ще за радянські часи, частина – зовсім недавно[[10]](#footnote-10). Деякі з них хотіли б повернутись в Україну, але тут їх поки що ніхто не чекає, їхня кваліфікація не знаходить застосування. У випадку сильної дестабілізації становища в Росії бажання повернутись буде тільки зростати, але через несприятливий стан в Україні вони змушені будуть їхати у США, Францію чи ще кудись. Тому Кабінет міністрів України повинен мати підготовлений план прийому переселенців з Росії — фахівців високотехнологічних сфер (ракетно-космічної, комп’ютерної, авіаційної і, звичайно ж, ядерної), їхньої адаптації та розгортання за їхньою участю науково-технічного виробництва у нашій країні.

## УЗАГАЛЬНЮЮЧІ ВИСНОВКИ

1. Велика енергетика потребує поступової відмови від теплових електростанцій і переходу на екологічно чистіші (зокрема ядерні) методи отримання енергії.
2. Орієнтація ядерної енергетики тільки на теплові реактори не вирішує багатьох проблем, як-от: залежності від постачальників збагаченого урану, переробки і збереження відходів, обмеженості світових запасів 235U.
3. Уявляються необхідними участь України в міжнародному проекті Мінатома Росії «реактор природної безпеки» та запровадження в Україні передових ядерних технологій, насамперед швидких реакторів.
4. Беручи участь у вищезгаданому проекті, Україна повинна мати програму превентивних заходів на випадок невиконання Росією своїх міжнародних зобов’язань під час її можливої внутрішньополітичної дестабілізації.

## Спеціальні абревіатури:

**АЕС —** атомна електростанція

**БРЕСТ** — быстрый реактор со свинцовым теплоносителем (швидкий реактор із свинцевим теплоносієм)

**ВВЕР** — водо-водний енергетичний реактор

**ОЯП** — опромінене (відпрацьоване) ядерне паливо

**КВ** — коефіцієнт відтворення (мається на увазі відтворення плутонію під час роботи швидкого реактора)

**КВА** — коефіцієнт відтворення активності (мається на увазі, як співвідносяться активність палива, що завантажується до реактора, та активність ОЯП, що вилучається після роботи)

**РАВ** — радіоактивні відходи

**ТВЕЛ** — тепловидільний елемент

**HWR** — heavy-water reactor (важководний реактор)

**LWR** — light-water reactor (легководний реактор). До цього типу належать усі українські реактори серії ВВЕР

## Позначення хімічних елементів (в порядку зростання атомної маси):

|  |  |
| --- | --- |
| N — азот  Kr — криптон  Sr — стронцій  Tc — технецій  I — йод  Cs — цезій  Ba — барій | Th — торій  Pa — протактиній  U — уран  Np — нептуній  Pu — плутоній  Am — америцій  Cm — кюрій |

1. “Комісія Брундтланд” (Brundtland Commission) – Комісія ООН з навколишнього середовища та розвитку, головою якої було призначено пані Ґро Гарлем Брундтланд (Gro Harlem Brundtland) – міністра довкілля, а згодом прем’єр-міністра Норвегії. Комісія працювала з 1984 по 1987 р. і підготувала звіт у вигляді книги “Наше спільне майбутнє”, в основу якої покладено концепцію сталого розвитку. [↑](#footnote-ref-1)
2. Незважаючи на поширену думку, гідроенергія не є вже такою екологічно чистою. Насправді гідроелектростанції можуть бути екологічно чистими лише у гірських районах (за умов невеликої потужності), а також екологічно чистими є припливні електростанції (ті, що використовують енергію припливів та відпливів). Будівництво гідроелектростанції на рівнинах викликає багато екологічних проблем, а саме: відчужується величезна кількість сільськогосподарських земель, локально погіршується клімат, виснажуються ріки, різко зменшуються рибні ресурси, виникають проблеми у постачанні населення прісною водою. Як тут не згадати відомий вислів, що “гідроенергетика перетворила Дніпро на ланцюг брудних калюж”. Крім того, мало хто замислюється, що треба буде робити, коли закінчиться термін експлуатації греблі ДніпроГЕСу, і скільки на це знадобиться грошей. А чекати, коли гребля почне саморуйнуватися, залишилось не так вже й багато.

   У той же час при проектуванні АЕС та розрахунку вартості електрики із самого початку беруться до уваги витрати на майбутній демонтаж станції та утримання радіоактивних відходів. [↑](#footnote-ref-2)
3. Для нефахівців зайвий раз поясню: це означає, що радіоактивність відходів, що ховаються, є такою ж, як і радіоактивність первісної уранової руди. [↑](#footnote-ref-3)
4. У кінці статті подані специфічно-професійні абревіатури, вживані у сфері ядерної енергетики. [↑](#footnote-ref-4)
5. Нинішня атомна енергетика орієнтується на відкритий паливний цикл, у якому задля зниження активності відпрацьованого палива воно 30—50 років витримується у спеціальних проміжних сховищах, а вже після цього ховається під землею на дуже тривалий термін. Окремі компоненти РАВ зберігатимуть радіоактивність протягом тисяч років. [↑](#footnote-ref-5)
6. “Ядерними” прийнято називати країни, що володіють атомною зброєю. Саме в них є заводи зі збагачення урану, бо для ядерної зброї потрібний уран із вмістом 235U біля 80-90%. В природному урані його 0,07% , а в ядерному паливі для LWR – близько 4% . [↑](#footnote-ref-6)
7. Актиноїди – хімічні елементи з порядковими номерами від 89 до 103. До актиноїдів відносяться нептуній, америцій, кюрій та інші. [↑](#footnote-ref-7)
8. У розрахунку на одиницю згенерованої електроенергії, у процесі її вироблення на основі вугілля руйнується здоров’я приблизно в 1000 разів більше людей, ніж під час її вироблення на АЕС (див. «Ядерна альтернатива» // Перехід-IV, 2-2000). [↑](#footnote-ref-8)
9. Нагадаємо, що паливо для LWR вимагає збагаченого урану. Заводи зі збагачення природного урану є стратегічними об’єктами, необхідними для виробництва ядерної зброї. [↑](#footnote-ref-9)
10. Так, наприклад, після закриття Чорнобильської АЕС почалося активне вербування українських висококваліфікованих фахівців для роботи на російських АЕС з реакторами РБМК (із 29 російських працюючих енергоблоків 11 є блоками РБМК, тобто “чорнобильського типу”). Підготувати фахівця такого рівня – справа тривала й дорога. Росія належним чином оцінює наших фахівців, а Україні вони виявилися начебто непотрібними. [↑](#footnote-ref-10)