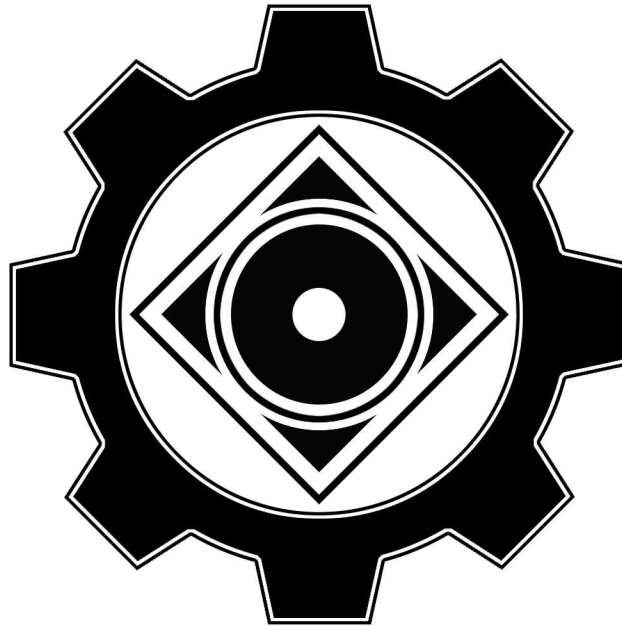


Українська технократична партія



**Реактори на швидких нейтронах:
енергія та зброя на тисячі років вперед**

<http://ukrtp.org/>

<https://t.me/ukrtp>

Жовтень 2022

Отримуючи платіжки за електроенергію і особливо опалення, ми і в мирний час були обурені драконівськими тарифами на комуналку. Війна ще більш загострила питання енергетичної безпеки. Вихід з цього становища — ядерна енергетика нового покоління.

Ця стаття призначена для широкого кола читачів, а не лише для фізиків-ядерників!

Енергія та зброя

Енергетична війна вже добре знайома українцям на прикладі газової війни з росією. Питання тут просте: чим топити пічку в холодну зиму та що спалювати щоб отримати електроенергію? Залежність в питанні енергії від зовнішніх постачальників означає ризик опинитись в холодній хаті без світла якщо постачальник раптом виявиться навіженим агресором.

Так звана “зелена енергетика” — не вихід. Найтяжча ситуація з енергією в Європі зараз в Німеччині. Там в останні десятиліття провадили планомірну політику відмови як від вугільної, так і від ядерної енергії. Ці стабільні джерела енергії німці встигли частково замінити вітряками, які не працюють без вітру, та сонячними панелями, які не працюють вночі та в хмарну погоду. Компенсувати таку нестабільність довелось значним збільшенням газової генерації та імпортом електроенергії з Франції (де більшість електрики робиться на АЕС). В нинішню військову кризу Німеччина увійшла, сидячи на російській газовій голці та з можновладцями високого рівня, корумпованими Кремлем. Не дивно, що німці так не хотіли давати Україні зброю, а коли нарешті почали давати — зіткнулись зі значним зменшенням постачання російського газу та ввели режим жорсткої економії газу. Не просто так канцлер Німеччини Ангела Меркель в 2014 наполягала на тому, щоб Україна ні в якому разі не чинила силовий спротив російській окупації Криму.

Крім енергії, реактори на швидких нейтронах значно спростять виробництво плутонію для ядерної зброї. Путін за кілька днів до повномасштабного вторгнення казав: ***“Обзавестись тактическим ядерным оружием Украине гораздо проще, чем другим государствам — особенно, при технологической поддержке из-за рубежа. При появлении у Украины ОМП ситуация в мире, Европе изменится кардинальным образом”***. Це той випадок, коли з хуйлом важко не погодитись. Цього разу Україні вдалось відбити напад на Київ, і про капітуляцію України в найближчому майбутньому не йдеться. Але тверду гарантію безпеки Україні дасть лиш ядерний паритет з росією. Без сотень (а в ідеалі тисяч або більше) ядерних зарядів жоден підпис на жодному папері, жоден вступ до НАТО та

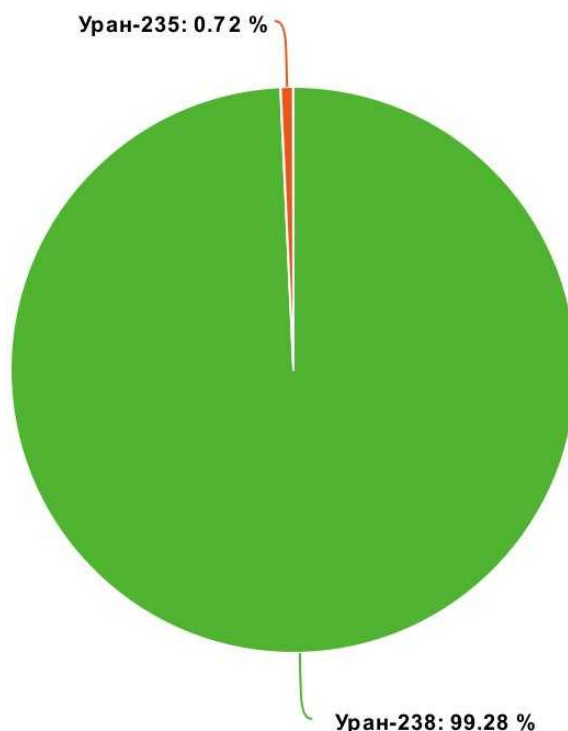
ЄС, жодна стурбованість ООН не відіб'є російському (і не тільки російському) агресору бажання нападати на Україну.

Природний уран, уран-235, уран-238

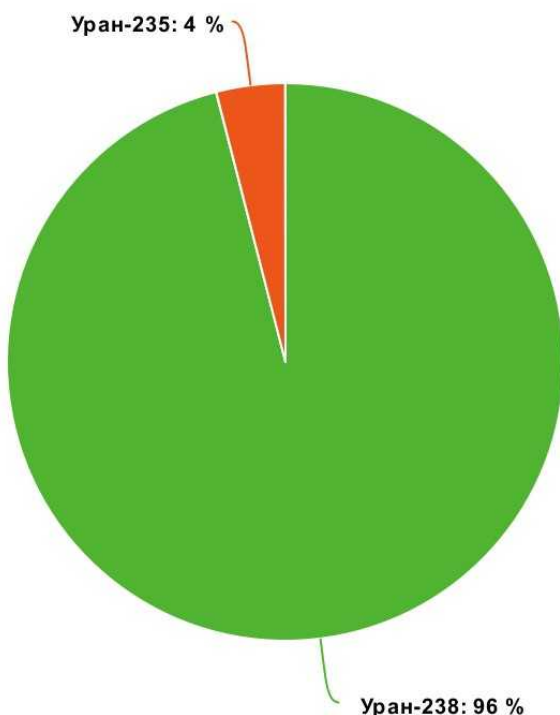
В урану, як і в більшості хімічних елементів, є кілька різновидів (ізотопів). Вони в хімічних реакціях поведуться однаково, але зовсім по-різному поведуться в ядерних реакціях. В урану є два основних ізотопи.

Уран-235 — найбільш “ядерний” ізотоп, який безпосередньо використовується в атомних бомбах (необхідна концентрація 90% урану-235). Він же використовується як паливо в працюючих на нинішніх українських АЕС реакторах типу ВВЕР (необхідна концентрація 4% урану-235).

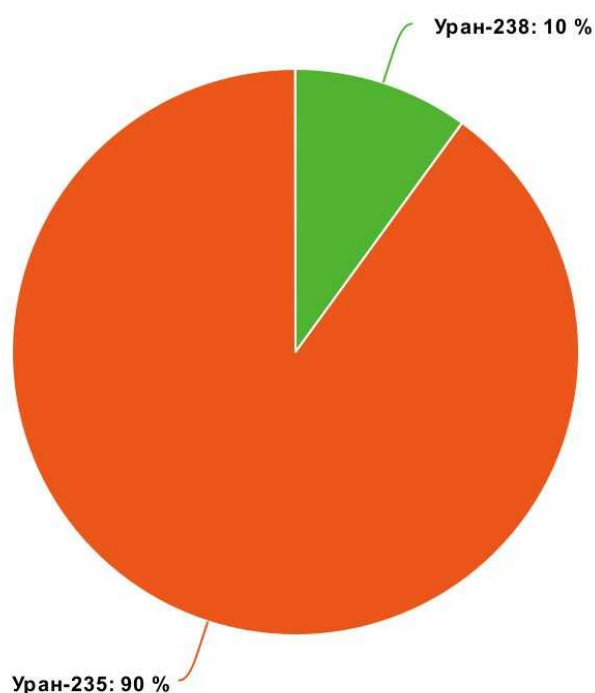
Природний уран



Реактор ВВЕР



Атомна бомба

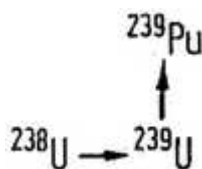


В природному урані (урановій руді) урану-235 лише 0,72%. Така мізерна концентрація означає, що уран-235 треба виділяти з природного урану до потрібної концентрації (4% для реакторів типу ВВЕР та 90% для атомної бомби). Це і є те саме **збагачення урану** — складний процес, масово налагоджений лиш в ядерних державах.

Уран-238 — **весь природний уран** не рахуючи урану-235 (99,28% мінус незначна кількість другорядних ізотопів). Для ядерної зброї уран-238 безпосередньо не приданий. В реакторах типу ВВЕР уран-238 не відіграє суттєвої ролі і в основному йде у відходи.

Швидкі нейтрони, уран-238, плутоній-239

При зіткненні зі швидкими нейтронами, **уран-238** через ядерні реакції перетворюється на **плутоній-239**.



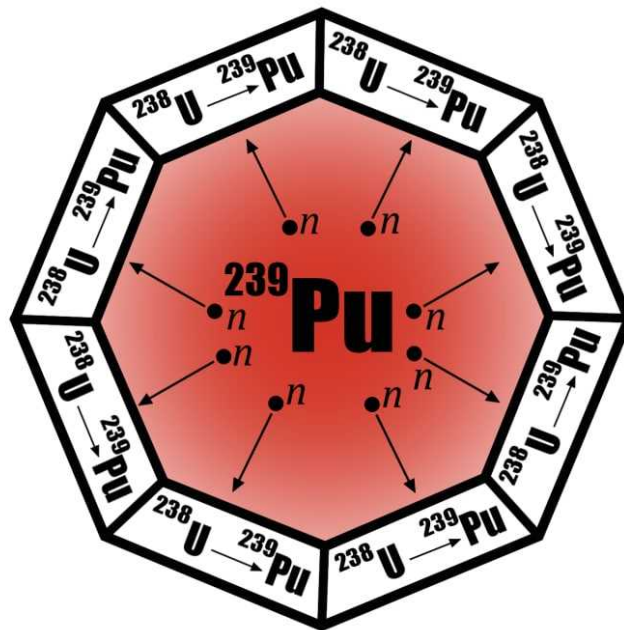
Утворення плутонію-239 з урану-238

Плутоній-239 використовується і в ядерній зброї, і як паливо для атомних реакторів. Ще раз: щоб його отримати, достатньо всього лиш опромінити уран-238 (більшість природного урану та відходи звичайних АЕС) швидкими нейтронами.

Реактори типу ВВЕР (водно-водяний енергетичний реактор), які зараз використовуються на українських АЕС, дуже погано підходять для видобування плутонію-239 з урану-238. Реактори ВВЕР заповнені водою. Вода гальмує нейтрони, через що водяні реактори називають реакторами на теплових (повільних) нейтронах. Теплові нейтрони вступають в ядерну реакцію тільки з ураном-235 і погано зачіпають уран-238, тобто наявні в Україні ядерні реактори **здатні спалювати лише 0,72% природного урану** — і то лиш після збагачення до 4%, яке зараз відбувається в росії або США.

В реакторах на швидких нейтронах швидкість нейтронів не обмежується тому що замість води в них використовується розплав

металу, найоптимальніше — натрій-калієвий сплав (рідина при кімнатній температурі). Ядра розплаву металу, на відміну від води, не збивають нейтронам швидкість і швидкі нейтрони долітають до ядер урану-238, перетворюючи їх на плутоній-239.



Активна зона з плутонієм-239 генерує нейтрони, які летять на блоки з ураном-238, який перетворюється на плутоній-239

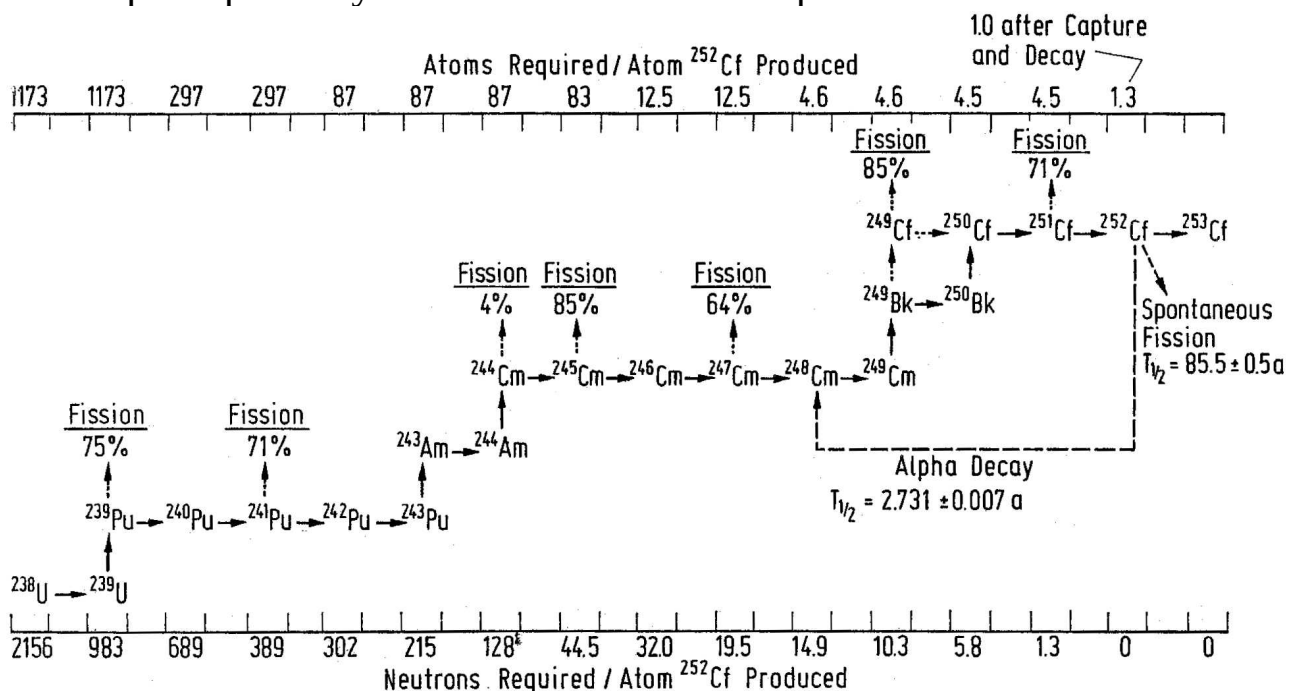
В центрі реактора на швидких нейтронах активна зона з плутонію-239 (або урану-235) генерує швидкі нейтрони. Нейтрони швидко розлітаються по блокам з вмістом природного урану, де відбувається перетворення урану-238 на плутоній-239. Через деякий час роботи реактора блоки міняються і з них хімічно виділяється плутоній-239. Виділяється на десятки % більше, ніж треба спалити плутонію-239 в активній зоні для генерації швидких нейтронів. Коефіцієнт розмноження плутонію, залежно від конструкції реактора, може бути 120% або більше.

Отриманий плутоній йде на заправку активної зони тих самих реакторів або в атомні бомби. Таким чином, всі 100% природного урану можна використати і як паливе для реакторів, і в ядерній зброї. Так само можна використати уран-238 з ядерних відходів водяних реакторів і перетворити його на плутоній-239.

В реакторах на швидких нейтронах лишається значно менше ядерних відходів: більшість радіоактивних ізотопів спалюється швидкими нейтронами. Лишаються в основному або короткоживучі, які швидко розпадаються, або довгоживучі, які повільно розпадаються і через це мало фонять. Проблема ядерних відходів в порівнянні з водяними реакторами більшою частиною усувається.

Каліфорній-252, мініатюрна атомна бомба

Каліфорній-252 при діленні виділяє не 2-3 нейтрони як уран-235 або плутоній-239, а цілих 15. Для ядерного вибуху достатньо лиш **6 грам каліфорнію-252**. Це дає змогу вмістити маленьку атомну бомбу в об'єкт розміром з кулю або мобільний телефон.



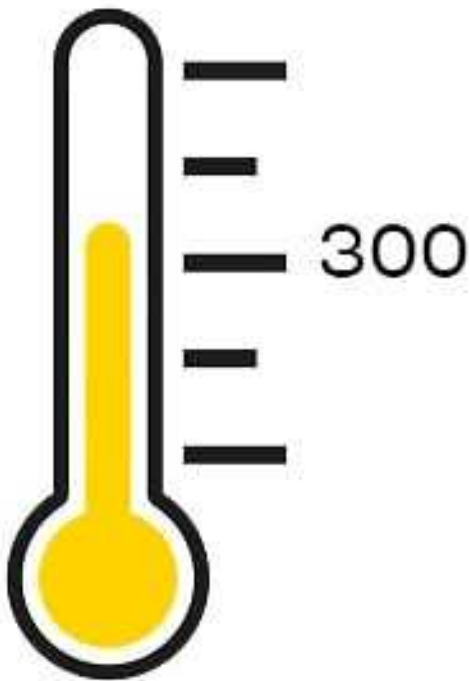
Ланцюг ядерних реакцій перетворення урану-238 на каліфорній-252

Каліфорній-252 так само як плутоній-239 можна отримувати в реакторі на швидких нейтронах з урану-238. Як бачимо, ланцюг реакцій довший ніж для плутонію-239, але суть така сама: **каліфорній-252 можна отримувати в реакторах з природного урану**. При отриманні кілограмів плутонію-239 будуть отримуватись грами каліфорнію-252, тобто крім звичайних плутонієвих атомних бомб можна отримувати на додачу ще й мініатюрні каліфорнієві бомби.

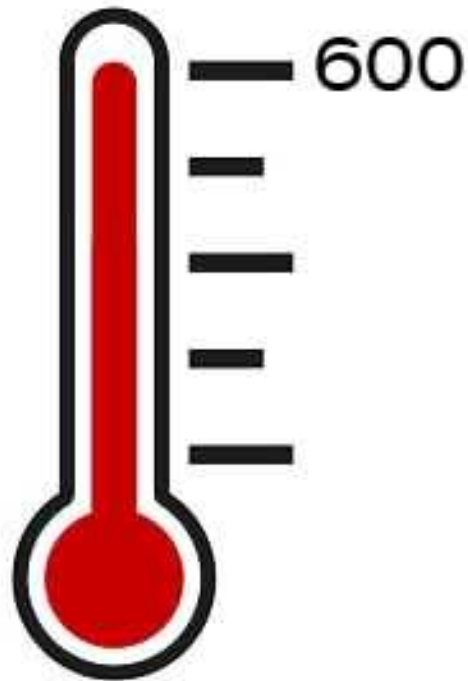
Тепловий режим та безпека

Реактори типу ВВЕР (водяні реактори на повільних нейтронах) працюють на **300 градусах** (тут і далі — Цельсію). Це значно нижче, ніж стандартні для теплових (вугільних, газових ітп) електростанцій **600 градусів**.

Водяний реактор



Реактор на швидких нейтронах



150 атмосфер



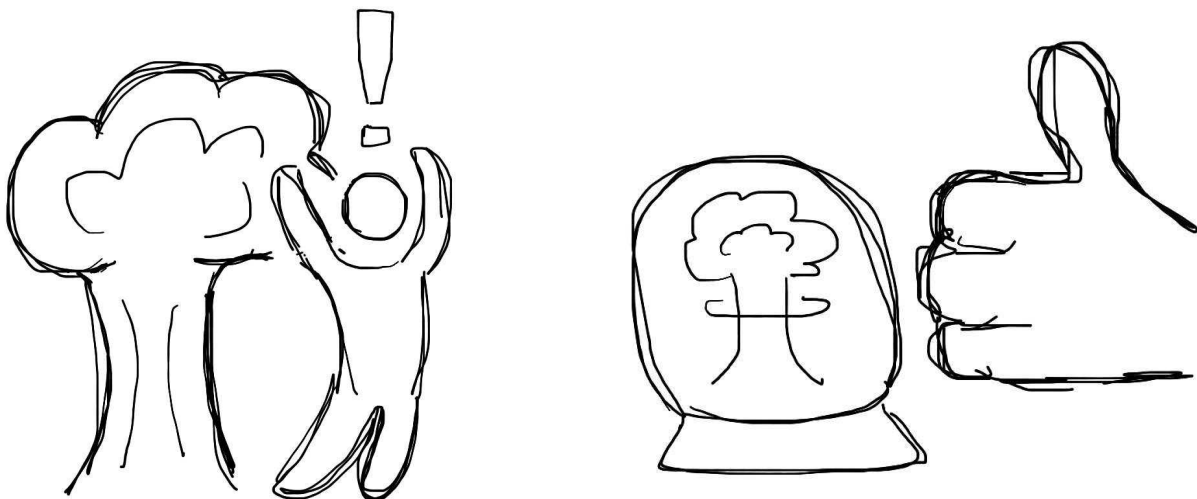
1 атмосфера



В теплових електростанціях використовують температуру 600 градусів тому що чим вище температура — тим вище ефективність теплової машини. Неефективний тепловий режим 300 градусів для водяних реакторів продиктований властивостями води: навіть при 300 градусах треба підтримувати тиск **150 атмосфер**, щоб вода не закипіла.

До чого призводить кипіння води в водяному реакторі, видно на прикладі 4 енергоблоку Чорнобильської АЕС: всередині реактора утворилась водяна пара і через це стався той самий катастрофічний вибух. Таким чином, всі водяні реактори з тепловим режимом 300 градусів (в тому числі нині **працюючі на українських АЕС ВВЕР-1000**) — **вибухонебезпечні**.

Водяний реактор Реактор на швидких нейтронах



Високий тиск та низька температура створюють в водяних реакторах на повільних нейтронах ряд складнощів, не властивих реакторам на швидких нейтронах. **Через високий тиск потрібен товстостінний корпус**, здатний десятки років витримувати високий тиск, знаходячись під постійним нейтронним бомбардуванням. Це серйозно ускладнює проблему ресурсу АЕС.

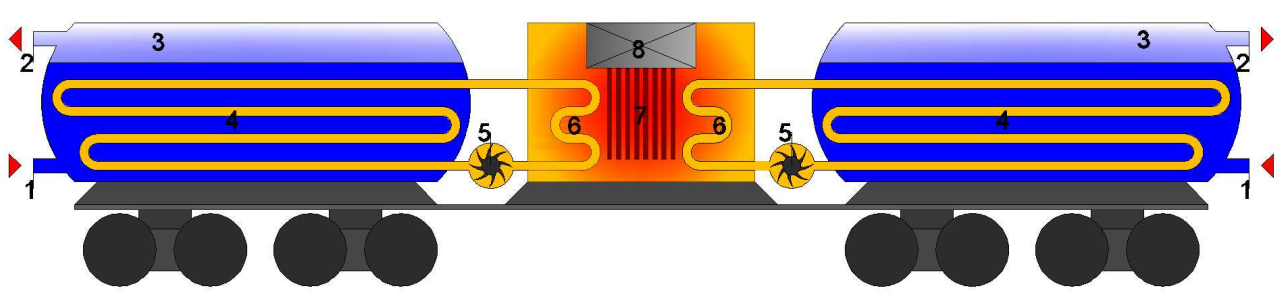
Тепловий режим **300 градусів** в водяних реакторах на повільних нейтронах створює **складність з турбінами**: звичайні 600-градусні турбіни для ТЕС не підходять і треба будувати спеціальні для АЕС.

Натомість, в реакторах на швидких нейтронах (з теплоносієм у вигляді розплаву металів замість води) тепловий режим **600 градусів, як на звичайних ТЕС**. А тиск розплавів металів при цій температурі — всього лиш **одна атмосфера**. **Низький тиск виключає можливість вибуху реактора а-ля Чорнобиль**, тобто безпека ядерної енергії виходить на новий рівень.

Тепловий режим 600 градусів в реакторах на швидких нейтронах дає змогу використовувати **турбіни, призначені для звичайних ТЕС**. Це дає можливість додати реактори на швидких нейтронах навіть до існуючих ТЕС і частково або повністю перевести їх на ядерну енергію.

Атомний котел залізничного габариту

Будівництво традиційної АЕС на великих енергоблоках — складний процес, який триває не один рік, не кажучи вже про вартість. Максимально спростити і здешевити впровадження ядерної енергії дасть змогу атомний котел залізничного габариту.



Атомний котел залізничного габариту.

- 1 *Подача води*
- 2 *Виведення пари*
- 3 *Пара під високим тиском*
- 4 *Нагрівач води*
- 5 *Насос*
- 6 *Забір тепла від реактора*
- 7 *Активна зона*
- 8 *Система управління*

Атомний котел залізничного габариту являє собою залізничний вагон з реактором на швидких нейтронах посередині та двома котлами-кип'ятильниками на кінцях. В реакторі генерується тепло (під 650 градусів), яке передається воді в кип'ятильниках. Двостороння симетрія з двома незалежними контурами охолодження значно підвищує безпеку та надійність.

Вмістити атомний котел в залізничний габарит дозволяють описані вище властивості реактора на швидких нейтронах. Низький тиск полегшує конструкцію реактора і підвищує його безпеку: реактор не може вибухнути а-ля Чорнобиль. В найгіршому випадку, якщо реактор піде в рознос з неконтрольованим підвищенням температури, теплоносій активної зони проплавить дно (з температурою плавлення нижче ніж в інших частин корпусу реактора) і витече в уловлювач, де буде механічно розділений на кілька підкритичних частин, не здатних підтримувати подальшу ядерну реакцію.

В основному варіанті застосування вагон-реактор ставиться в залізничне стійло при стаціонарній електростанції і кип'ятить воду, генеруючи пару для її турбін. Вагону-реактору не потрібен реакторний зал з персоналом для роботи безпосередньо на місці генерації — достатньо залізничного стійла в укріпленому тунелі залізничного габариту з підведенням тепла та виведенням пари.

По відпрацюванні ядерного пального вагон-реактор везеться залізницею на заправку, а на його місце ставиться інший. Один цех заправки може обслуговувати десятки-сотні реакторів, які можуть доставлятися туди залізницею. Простота експлуатації на місці значно спростить і здешевить масове впровадження ядерної енергії.

Електростанції на атомних котлах

В габаритах вагона-реактора при ширині 3,75 м (максимальний габарит для українських залізниць) за попередніми прикидками може вміститись реактор принаймні 200 мегават теплової потужності, які з урахуванням коефіцієнту корисної дії турбін перетворяться на, як мінімум, 60 мегават електричної потужності.

Така потужність означає, що для переведення, наприклад, одного 300-мегаватного енергоблоку Бурштинської ТЕС на ядерну енергію потрібно 5 таких вагонів-реакторів. Однаковий тепловий режим з турбінами ТЕС означає можливість реконструкції енергоблоку ТЕС під можливість роботи від атомного реактора (з залишенням можливості частково або повністю робити і від звичайного паливного котла). Достатньо додати залізничні стійла для ядерних реакторів при енергоблоку ТЕС. З урахуванням війни, залізничні стійла, скоріш за все, будуть у вигляді укріплених підземних залізничних тунелів.

Після реконструкції ТЕС під ядерну енергію на атомних котлах, можна буде поступово виводити з експлуатації застарілі АЕС на водяних реакторах з вичерпаним терміном служби. Для заміни одного енергоблоку ВВЕР-1000 традиційних АЕС треба 16 вагонів-реакторів. 16 вагонів, які можна робити серійно на конвеєрі, замість багаторічного монументального будівництва енергоблоків. Навіть спорудження укріплених тунелів для стійл з атомними котлами буде значно простіше й дешевше за будівництво традиційного енергоблоку з реактором на штиб ВВЕР.

Інші застосування атомних котлів

Крім стаціонарних електростанцій, атомні котли можливо застосовувати і в інших застосуваннях, де потрібно багато 600-градусного тепла.

В **нафтопереробці** сира нафта нагрівається до 600 градусів, після чого нагріта нафта в ректифікаційній колоні розділяється на фракції.

В **хімічних виробництвах** є техпроцеси, які потребують багато 600-градусного тепла, яке зараз забезпечується газом.

В **розкладенні чорноморського сірководню** на сірку та водень (температура розкладання 400 градусів). Таким чином, отримується водневе пальне та сірка, а також поступово зменшується кількість отруйного та вибухонебезпечного сірководню в Чорному морі.

У **великих кораблях** потужністю 60 мегават та більше (вантажопідйомність сотні тисяч тонн).

Скоріш за все, це будуть потужні ядерні буксири, які будуть тягати важкі баржі (несамохідні судна без двигуна та реактора) або навіть каравани з барж. Буксир, доставивши баржу в порт, може одразу взяти іншу, не чекаючи завантаження-вивантаження. Таким чином, буксирів з ядерним реактором треба буде утримувати дещо менше, ніж треба було б утримувати звичайних великих кораблів.

Пасажирська баржа в ролі великого круїзного лайнера дасть свободу компонування, небачену для традиційного корабля з двигуном. А в разі потреби така “круїзна баржа” може бути використана і як пришвартований плавучий готель — зі значно меншими витратами ніж у випадку звичайного круїзного лайнера з інтегрованим двигуном. Таким чином, є перспектива післявоєнного відродження українського суднобудування та торговельного флоту з отриманням найкращих в світі круїзних лайнерів.

Чи використовуються реактори на швидких нейтронах в США та ЄС?

Реактори на швидких нейтронах наразі малопоширені. Майже всі АЕС світу будуються на водяних реакторах. Найбільше реактори на швидких нейтронах застосовувались і застосовуються в СРСР та росії: найпотужніші в світі реактори на швидких нейтронах знаходяться на Білоярській АЕС (РФ). В читача, далекого від ядерної фізики, особливо того, який пропустив фізико-технічні міркування, викладені вище, може виникнути питання: “Чому, якщо реактори на швидких нейтронах такі класні, на них досі не перейшов весь світ?”.

В особливо меншовартісному розумінні це питання звучить так: “Чому в цивілізованих країнах цю технологію не застосовують?”. Деякі “особливо обдаровані” скептики навіть не вірять в існування реакторів Білоярської АЕС (мов, це кацапська брехня). Меншовартість полягає в тому, що, з точки зору “особливо обдарованих”, цивілізовані тільки США та їхні союзники, а інші країни (в тому числі Україна) — нецивілізовані та відсталі за замовчуванням в будь-яких технологіях. Така меншовартість породжує вторинність та несаможітність в мисленні: “Якщо в США

таких реакторів нема, значить ця технологія неробоча, їм же видніше”. Ця **вторинність була успадкована українцями від СРСР**, в якому ще зі сталінських часів влада значно більше любила “наздоганяти” США по технологіям, ніж займатись власними розробками.

Зокрема, **в Харківському фізико-технічному інституті ще в 1940 був готовий проект атомної бомби**. Але радянська бюрократія не дала йому ходу з формулюванням “дуже багато фантастичного”. Атомну бомбу в СРСР почали робити вже після 1945, коли США на прикладі японських міст Хіросима та Нагасакі показали всьому світу силу ядерної зброї. Тільки це змогло переконати радянську владу, що треба робити власну ядерну програму. Те ж саме було з радянськими ракетами, тепловозами, літаками, аерокосмічними системами, комп’ютерами: іноземним прикладам радянська влада довіряла значно більше ніж своїм фахівцям. Докладніше **меншовартісне копіювання СРСР американських технологій** та зразків техніки описане в ідеологічних засадах української технократії (1.3. Критика радянського та пострадянського ладу): <https://ukrtp.org/5ideology.html>

Ми, українські технократи, не совки. Ми мислимо в першу чергу суто фізико-технічними категоріями. Саме це дасть нам змогу першими втілювати проривні технології, а не весь час сліпо “наздоганяти” США, як це робили в СРСР. Фізико-технічні міркування нас цікавлять в безліч разів більше, ніж використання або невикористання реакторів на швидких нейтронах в США, країнах ЄС і взагалі будь-де.

І, все ж таки, чому реактори на швидких нейтронах так мало поширені?

Основна причина малої поширеності реакторів на швидких нейтронах, очевидно, військово-політична. Атомні електростанції на водяних реакторах та збагаченому на ~4% урані є в багатьох країнах, в тому числі неядерних, але всі вони залежні від постачання пального з ядерних держав, здатних збагачувати уран. Ядерним державам, монополістам зі збагачення урану (в основному росія та США), очевидно, не вигідно щоб в таких країн як Україна чи Словаччина з’явилась можливість просто так з природного урану отримувати

плутоній-239 для своїх АЕС та ядерної зброї — і не платити за це ядерним державам. В себе ядерні держави теж не будують АЕС на реакторах на швидких нейтронах: їм і так добре, в них і без того монополія на збагачення урану та виробництво ядерного пального, нащо показувати неядерним країнам ефективність цієї простої та дієвої технології? Виняток з цього правила — росія, але й там це не так масово. В основному — на Білоярській АЕС, на якій ще з радянських часів є реактори на швидких нейтронах.

Одним з основних аргументів на користь згортання програми реакторів на швидких нейтронах в США було нерозповсюдження ядерної зброї. Нам же навпаки потрібна ядерна зброя, тому нам потрібні і реактори на швидких нейтронах.

Отримувати збройний плутоній з природного урану і при цьому ще й отримувати енергію та тепло — перспектива, від якої жоден українець зі здоровим глуздом не відмовиться. Проблема лиш в тому що більшість українців тупо не знають про це. Тому дуже важливо поширити цю інформацію серед якомога більшого кола українців.

Прочитав сам — передай іншим!