

ЩО ТАКЕ
ПАЛИВО ДЛЯ
АЕС

ГОЛОВНІ
ВІДМІН
ЯДЕРН
ОРГ

ПРОЦЕС
ОТРИМАННЯ
ЯДЕРНОЇ
ЕНЕРГІЇ

ЕРНА
ЕРГЕ
ВТТІ

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА ПРОСТІ ПИТАННЯ

ЯК
ДОБУВА
УРАН В
УКРАЇНІ?

ЩО
ЦЕ ДРОТІЧН
ТРИЛЕГЛИХ ДО
РОДОВИЩА
ТЕРИТОРІЙ

ЯДЕРНИЙ
ПАЛИВНИЙ
ЦИКЛ В
УКРАЇНІ - ЧИ
МОЖЛИВО ЦЕ?

УРАН? СКІЛЬКИ
УРАНУ НА
ЗЕМЛІ?



РІВНЕНСЬКА МІСЬКА ГРОМАДСЬКА ОРГАНІЗАЦІЯ «ЕКОКЛУБ»

Адреса офісу: вул. Відінська 39, каб. 310, м. Рівне

Адреса для листування: а/с 73, м. Рівне, 33023.

тел/факс +38 0362 237024

Адреса сайту: www.ecoclubrivne.org

Електронна адреса: office@ecoclubrivne.org.

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА: ПРОСТІ ПИТАННЯ

Підготувала: Лящук Ольга

За редакцією: Мартинюка Андрія

Літературна правка: Купчик Вікторія

Верстка: Василь Першогоуб

Цей документ було підготовлено за фінансового сприяння

Global Greengrants Fund

a/c 2840 Wilderness Place, Suite A

Boulder, CO 80301 – USA

Тел: +1 303 939 9866

Факс: +1303 939 9867

info@greengrants.org,

www.greengrants.org.

ЗМІСТ

1. РАДІОАКТИВНІСТЬ ТА ЇЇ ВИДИ	5
2. ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ	6
3. ЯК ВИМІРЮЄТЬСЯ ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА РАДІОАКТИВНІСТЬ	6
4. ДОЗА ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА В ЧОМУ ВОНА ВИМІРЮЄТЬСЯ	7
5. ДОЗИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ ОТРИМАНІ ЛЮДИНОЮ	8
6. СПІВВІДНОШЕННЯ ДОЗ ОТРИМАНИХ ЛЮДИНОЮ ВІД РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ РАДІАЦІЇ.	9
7. ЗАГРОЗЛИВІ ДЛЯ ЛЮДИНИ ДОЗИ	10
8. ХТО ТА ЯК ВСТАНОВЛЮЄ ГРАНИЦІ РАДІАЦІЙНИХ ДОЗ ДЛЯ ЛЮДИНИ	11
9. ГОЛОВНА ПРИЧИНА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ НА ЛЮДИНУ	11
10. ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЛЮДИНУ	12
11. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА В СВІТІ (короткі факти)	13
12. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ	15
13. ФІЗИЧНА ОСНОВА ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. АТОМНА ЕНЕРГІЯ	16
14. ПРОЦЕС ОТРИМАННЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ	16
15. ПЕРША АЕС. ЯК І ЧОМУ ПОЧАЛА РОЗИВАТИСЯ ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА	17
16. ЯДЕРНИЙ ПАЛИВНИЙ ЦИКЛ	18
17. ЯДЕРНИЙ ПАЛИВНИЙ ЦИКЛ В УКРАЇНІ – ЧИ МОЖЛИВО ЦЕ?	19
18. ПАЛИВО ДЛЯ АЕС	19
19. ГОЛОВНІ ВІДМІННОСТІ ЯДЕРНОГО ТА ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА	21
20. ЧОМУ САМЕ УРАН? СКІЛЬКИ УРАНУ НА ЗЕМЛІ?	21
21. ЯК ДОБУВАЮТЬ УРАН ?	22
22. ЯК І ДЕ ДОБУВАЮТЬ УРАН В УКРАЇНІ?	23
23. БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ, ПРИЛЕГЛИХ ДО РОДОВИЩ ТЕРИТОРІЙ	24
24. ПЕРЕТВОРЕННЯ УРАНУ У ЯДЕРНЕ ПАЛИВО	25
25. ПЕРЕРОБКА УРАНОВОЇ РУДИ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ НАСЛІДКИ	26
26. ЗБАГАЧЕННЯ УРАНУ	27
27. МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТВЕЛІВ	28
28. ВИКОРИСТАННЯ ІНШИХ МАТЕРІАЛІВ В ЯКОСТІ ЯДЕРНОГО ПАЛИВА	29
29. АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ	30
30. ЯК ПРАЦЮЄ ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР	31
31. ВИДИ РЕАКТОРІВ ТА ЩО ОЗНАЧАЮТЬ ЇХ НАЗВИ	31

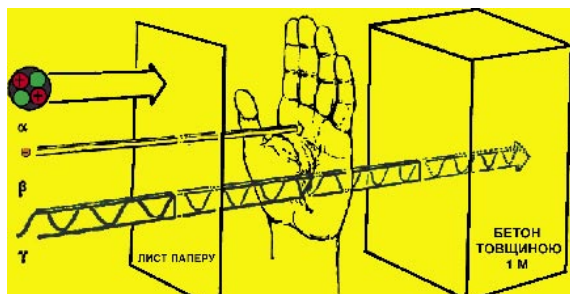
32. РИЗИКИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ	34
33. ПРИНЦИПОВА СХЕМА ОДНОКОНТУРНОЇ ТА ДВОКОНТУРНОЇ АЕС	35
34. ГРАДИРНЯ ТА СТАВОК-ОХОЛОДЖУВАЧ	36
35. ЧОМУ ВСІ НИНІШНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ НЕ ГАРАНТУЮТЬ ВІДСУТНІСТЬ АВАРІЙ	37
36. РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ	38
37. ПОВОДЖЕННЯ З РАВ (загальні аспекти)	39
38. ЩО РОБИТИ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ	39
39. ЧАСТКОВО РЕАЛІЗОВАНІ ПРОЕКТИ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗАХОРОНЕННЯ РАВ	40
40. СИТУАЦІЯ З РАВ В УКРАЇНІ	41
41. ПЕРЕРОБКА ТА ЗБЕРІГАННЯ РАВ В УКРАЇНІ	42
42. ВІДПРАЦЬОВАНЕ ЯДЕРНЕ ПАЛИВО ТА ЙОГО ВІДМІННІСТЬ ВІД РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ	43
43. ПІДХОДИ ДО ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ВЯП	44
44. ПОВОДЖЕННЯ З ВЯП В УКРАЇНІ	45
45. ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ СХОВИЩЕ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА РЕАКТОРІВ ВВЕР АЕС УКРАЇНИ	46
46. ПРОЕКТИ ДОВГОТРИВАЛИХ СХОВИЩ РАВ ТА ВЯП	47
47. ТРАНСПОРТУВАННЯ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ	48
48. СОБИВАРТІСТЬ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	50
49. ЧИ МОЖЕ АТОМНА ПРОМИСЛОВІСТЬ ДІЙСНО ДОПОМОГТИ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЗМІНИ КЛІМАТУ?	51
50. ВІРОГІДНІСТЬ ПОШИРЕННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ	52
51. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ, В УКРАЇНІ	53
52. УМОВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	54
ВИКОРИСТАНІ МАТЕРІАЛИ	57
ІЛЮСТРАЦІЇ	58

Радіоактивність – це властивість радіонуклідів спонтанно перетворюватися в атоми інших елементів (нукліди чи радіонукліди), внаслідок переходу ядра з одного енергетичного стану в інший, що супроводжується іонізуючим випромінюванням.

Радіоактивність була відкрита у 1896 р. Антуаном Анрі Беккерелем. Радіоактивність властива для близько 40 природних елементів (всі хімічні елементи з порядковим номером, більшим за 83).

Види радіоактивності:

Альфа-випромінювання — потік альфа-частинок, тобто ядер гелію-4. Альфа-частинка складається з 2 протонів і 2 нейтронів. Швидкість альфа-частинки під час вильоту з ядра становить від 12 до 20 тис. км/сек. У вакуумі альфа-частинка могла б обігнути земну кулю по екватору за 2 сек. Проникаюча здатність альфа-частинки становить у повітрі 2,5 см, а у біологічній тканині – 0,03 мм. Вона може бути легко зупинена листом паперу. При зовнішньому опроміненні загрози для людини практично немає, проте при проникненні до організму (наприклад, при диханні) небезпека значно зростає. Щільність іонізації альфа-частинок в декілька тисяч разів вища ніж у бета-та гамма- випромінювання.



Проникаюча здатність радіоактивного випромінювання

Під час проходження 1 см повітря альфа-частинки створюють до 100 000 пар іонів.

Бета-випромінювання — це потік електронів, що виникає при бета-розпаді; швидкість вильоту бета-частинок з ядра - 270 000 км/сек. Це найпоширеніший вид радіоактивного розпаду, фактично кожний

хімічний елемент схильний до бета-розпаду. Довжина пробігу бета-частинок у повітрі може сягати кількох метрів, у воді – 2,6 мм, алюмінії – 9,7 мм. Проникаюча здатність вища ніж у альфа-частинок, але щільність іонізації менша. При проходженні 1 см повітряного середовища вони створюють 50–150 пар іонів.

Гамма-випромінювання – це потік фотонів. Це найбільш небезпечно випромінювання, яке має набагато більшу проникаючу здатність ніж альфа- та бета-частинки. Проте, щільність іонізації в нього значно менша. Гама-частинки вільно проникають крізь тіло людини та більш суттєві перешкоди. Для захисту ефективні важкі елементи (наприклад, свинець).

Нейтронне випромінювання.

Нейтрони – це нейтральні елементарні частинки з масою, як у протона. Залежно від енергії розрізняють нейтрони повільні (енергія 0,025 MeV), резонансні (енергія до 0,05 MeV), проміжні (0,05–0,5 MeV), швидкі (0,5–2,0 MeV), дуже швидкі та надшвидкі (енергія до 300 MeV та більше). У разі взаємодії нейтронів з речовиною (середовищем) можуть спостерігатися декілька типів процесів: поглинання нейтронів ядрами, розсіювання та виникнення ядерних реакцій, у тому числі – реакції поділу важких ядер. Цей вид взаємодії лежить в основі так званої ланцюгової реакції, яка виникає під час атомного вибуху. Проникаюча здатність нейтронного випромінювання приблизно така сама, як і гамма-променів. [31]

2

ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЕННЯ

Іонізуюча радіація - потоки електромагнітних хвиль або частинок речовини, що здатні при взаємодії з речовиною утворювати в ній іони. Іонізуючим є все випромінювання, що супроводжує радіоактивний розпад та ядерні реакції – альфа-, бета-, гамма- та нейтронне випромінювання. Тобто, радіоактивне випромінювання, є одним з видів іонізуючих випромінювань. Під радіацією розуміють потоки елементарних частинок і квантів, проходження яких через речовину викликає її іонізацію. Іонізуюче випромінювання надходить із радіоактивних матеріалів, рентгенівських трубок, прискорювачів частинок і присутнє у навколишньому середовищі. [31]

3

ЯК ВИМІРЮЄТЬСЯ ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА РАДІОАКТИВНІСТЬ

Активність джерела іонізуючого випромінювання – це кількість ядерних перетворень, що відбувається в ньому за одиницю часу. Радіоактивний розпад характеризуються часом життя радіонукліда та його активністю, тобто швидкістю розпаду. Показником часу життя радіонукліда, швидкості його розпаду є період напіврозпаду. Період напіврозпаду ($T_{1/2}$) – час, протягом якого половина радіоактивних атомів розпадається і їх кількість зменшується вдвічі.

Періоди напіврозпаду радіонуклідів різні – від долі секунди (короткоживучі радіонукліди) до мільярдів років (довгоживучі).

Активність – це кількість ядерних перетворень (розпадів) за одиницю часу (як правило, за секунду). Одиницями виміру активності є Беккерель і Кюрі.

Беккерель (Бк) – це один розпад за секунду (1 розп/сек). Це системна одиниця. На практиці частіше використовують кілобеккерель (кБк) чи мегабеккерель (МБк).

Кюрі (Ки) – $3,7 \times 10^{10}$ Бк (розп/сек). Ця одиниця виникла історично і є позасистемною: таку активність має 1 грам радію-226 у рівновазі з дочірніми продуктами розпаду. 1Ки дорівнює $3,7 \times 10^{10}$ Бк.

Питома активність (вагова або об'ємна) – це активність одиниці маси (ваги) або об'єму речовини. Або, точніше, активність радіонукліда (або суміші радіонуклідів) в одиниці ваги або об'єму речовини. [31]

ДОЗА ВИПРОМІНЮВАННЯ ТА В ЧОМУ ВОНА ВИМІРЮЄТЬСЯ

4

Ми сконцентруємось перш за все на впливі іонізуючого випромінювання на людину, її оточення та продукти харчування. Різні джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) по-різному впливають на різні речовини. Основним показником, що характеризує ДІВ є його іонізуюча здатність (енергія, яку він втрачає під час проходження через речовину і яка поглинається речовиною). Для виміру іонізуючого випромінювання прийнято користуватися поняттям «доза».

Експозиційна доза характеризує іонізуючу спроможність випромінювання в повітрі, вимірюється в кулонах на 1 кг (Кл/кг); позасистемна одиниця — рентген (Р); $1 \text{ Кл/кг} = 3,88 \times 10^3 \text{ Р}$. За експозиційною дозою можна визначити потенційні можливості іонізуючого випромінювання.

Поглинена доза характеризує енергію іонізуючого випромінювання, що поглинається одиницею маси опроміненої речовини. Вона вимірюється в греях Гр ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$). Застосовується і позасистемна одиниця – рад ($1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр} = 0,01 \text{ Дж/кг}$). Доза, яку одержує людина, залежить від виду випромінювання, енергії, щільності потоку і тривалості впливу. Проте, поглинута доза іонізуючого випромінювання не враховує того, що вплив на біологічний об'єкт однієї і тієї ж дози різних видів випромінювань неоднаковий. Щоб врахувати цей ефект, введено поняття еквівалентної дози.

Еквівалентна доза є мірою біологічного впливу випромінювання на конкретну людину, тобто індивідуальним критерієм безпеки, зумовленим іонізуючим випромінюванням. За одиницю вимірювання еквівалентної дози прийнятий зіверт (Зв). 1 Зіверт дорівнює еквівалентній дозі, при якій добу-

ток величини поглиненої дози в Гр на коефіцієнт К буде дорівнювати 1 Дж/кг. Позасистемною одиницею служить бер (біологічний еквівалент рада). 1 бер = 0,01 Зв.

Ефективна еквівалентна доза враховує різну чутливість різних тканин організму до опромінення і дорівнює еквівалентній дозі, отриманій конкретним органом, тканиною (з урахуванням їх ваги), помноженої на відповідний зважувачий фактор тканини.

Для організму в цілому цей коефіцієнт прийнято вважати за 1, а для деяких органів і тканин він має різне значення. Таким чином, різні тканини і органи мають різну радіочутливість.

Для оцінки повної ефективної дози, отриманої людиною, розраховують ефективні дози для кожного органа і потім їх підсумовують.

Коллективна доза – сумарна радіаційна доза, отримана популяцією. Визначається як добуток числа опромінених осіб на їхню середню дозу. Обчислюється в людино-зівертах.

Потужність дози – доза, отримана за одиницю часу (секунда, година).

Фон – потужність експозиційної дози іонізуючого випромінювання в даному місці.

Природний фон – потужність експозиційної дози іонізуючого випромінювання, створюване всіма природними джерелами іонізуючого випромінювання. [31]

5 ДОЗИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ ОТРИМАНІ ЛЮДИНОЮ

Розрізняють внутрішнє і зовнішнє опромінення.

У випадку, якщо їжа чи вода, яку споживає людина, повітря, яким вона дихає, вміщують в собі радіоактивні речовини, то таке опромінення називають внутрішнім опроміненням.

У випадку надходження радіоактивних елементів зовні – говорять про зовнішнє опромінення.

Перш за все, людина отримує опромінення від природних джерел радіації. Їх джерелом є речовини земної кори та різні види випромінювань, які отримує планета з Космосу. Рівень природної радіації різний на різних територіях і в деяких місцях може бути вищий від середнього (наприклад, в межах залягання порід з підвищеним вмістом радіоактивних елементів). На рівні моря величина дози опромінення менша, ніж у гірських районах, оскільки атмосфера слугує своєрідним екраном. Використання різноманітної техніки людиною спричинює появу техногенного радіаційного фону.

Величина дози отриманої людиною від природного та техногенного фону головним чином залежить від місця проживання людини та способу життя. Так використання різних видів палива призведе до отримання різної дози радіації. Так само при використанні різних будівельних матеріалів, різних продуктів харчування, різних умов проживання, використанні різних приладів. [31]

СПІВВІДНОШЕННЯ ДОЗ ОТРИМАНИХ ЛЮДИНОЮ ВІД РІЗНИХ ДЖЕРЕЛ РАДІАЦІЇ.

6

Людина може отримати опромінення від різних джерел радіації. Часто це прості і звичні для нас речі, про які ми не думаємо, що вони можуть стати джерелом загрози.

Джерело	Річна доза		Доля від природного фону
	МБер	мЗв	
Медичні прилади, установки (флюорографія) 370 мБер. Рентгенографія зуба 3 мБер, рентгеноскопія легенів 2-8 мБер.	100-150	1,0-1,5	50-75
Політ в літаку (відстань 2 тис. км., висота 12 км., 5 разів у рік)	2,0-2,5	0,02-0,025	1,0-2,5
Телевізор (4 години в день)	1,0	0,01	0,5

7 ЗАГРОЗЛИВІ ДЛЯ ЛЮДИНИ ДОЗИ

Для одноразового опромінення:

Доза	Вплив
0,25 Гр	Зазвичай не викликає помітних відхилень у загальному стані та складі крові.
0,25 - 0,5 Гр	Можуть виникати окремі зміни у складі крові
0,5 - 1 Гр	Виражені зворотні зміни у крові, порушення функцій нервової системи.
1 Гр (100 рад)	Порогова доза одноразового опромінення, що здатна спричинити гостре променево ураження.
1 - 2,5 Гр	Променева хвороба у легкій формі.
2,5 - 4 Гр	Променева хвороба середньої ступені тяжкості.
4 - 5 Гр	Тяжка форма променевої хвороби (без належного лікування гине 50% опромінених).
5 - 10 Гр	Дуже тяжка форма променевої хвороби (зберегти життя можливо лише за умови активного лікування у спеціалізованому стаціонарі).

Тривале опромінення відносно малими дозами може призвести до хронічної променевої хвороби. Її прояви спостерігаються протягом 1–3 років після початку променевого впливу.

Хронічна променева хвороба – це комплекс клінічних синдромів, що розвиваються після довготривалої (від 3–6 місяців) дії проникаючої радіації. Як правило, проявляє себе кістково-мозковими змінами. Розвивається при професійному опроміненні в дозах, вищих за професійні ліміти. Випадки хронічної променевої хвороби були виявлені у працівників атомної галузі СРСР, що постраждали під час аварії на Південному Уралі у 40–50 роках ХХ ст.

Віддалені наслідки променевої хвороби можуть з'явитися через тривалий час (10–20 років) після опромінення. До таких наслідків належать, зокрема, захворювання, пов'язані зі змінами генетичного апарату, злоякісні пухлини, хвороби крові, скорочення тривалості життя та ін. Ця проблема є дуже актуальною і для тих верств населення, які внаслідок різних обставин деякий час (місяці, роки) отримували опромінення у дозах, менших за ті, що спричиняють променево хворобу, але більших за природний фоновий рівень у 2–3 рази та більше. [31]

ХТО ТА ЯК ВСТАНОВЛЮЄ ГРАНИЦІ РАДІАЦІЙНИХ ДОЗ ДЛЯ ЛЮДИНИ

8

Граничні дози опромінення розробляються Міжнародною комісією з радіологічного захисту, яка діє під егідою ООН.

Але, Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) у травні 1959 р. підписала угоду з Міжнародним агентством з атомної енергії (МАГАТЕ) на основі якої, фахівці МАГАТЕ отримали право застосовувати вето щодо будь-яких дій ВООЗ, які стосуються атомної енергетики. Так, наприклад, після Чорнобильської катастрофи Урядова комісія прийняла рішення установити на час виконання робіт з ліквідації наслідків аварії (ЛНА) сумарну граничну індивідуальну дозу опромінення, що дорівнювала 25 бер (0,25 Зіверт). Міністерство охорони здоров'я СРСР (12 липня 1986 р.) закріпило це рішення, прийнявши тимчасові санітарні вимоги безпеки при виконанні робіт з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. На даний момент для населення максимальна еквівалентна доза становить 2 мЗв в рік (для окремих органів людини вона може бути вищою). Причому дози, які отримує людина від природного випромінювання не враховуються, як і від медичних процедур. [31]

ГОЛОВНА ПРИЧИНА НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЕННЯ НА ЛЮДИНУ

9

Внаслідок дії іонізуючого випромінювання на організм людини іонізовані живі тканини, у першу чергу – вода, протоплазми клітин, її іони, вступають у взаємодію з киснем тканин, створюючи пероксидні з'єднання, що самі є сильними окислювачами і призводять до змін і загибелі живих клітин, утворення “вільних радикалів” і через них до порушення обмінних процесів, пригнічення ферментних і окремих функціональних систем, тобто порушення життєдіяльності всього організму.

Під час попадання на мембрану клітини випромінювання порушуються молекулярні зв'язки, атоми перетворюються в іони. Крізь зруйновану мембрану в клітину починають надходити сторонні (токсичні) речовини, робота її порушується. Якщо доза випромінювання невелика, відбувається рекомбінація електронів, тобто повернення їх на свої місця. Молекулярні зв'язки відновлю-

ються і клітина продовжує виконувати свої функції. Якщо ж доза опромінення висока, або дуже багато разів повторюється, то електрони не встигають рекомбінуватися; молекулярні зв'язки не відновлюються; виходить з ладу велика кількість клітин; виходить з ладу орган; нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Специфічність дії іонізуючого випромінювання полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій підвищується, у них втягуються багато сотень і тисяч молекул не порушених опроміненням. Таким чином, ефект дії іонізуючого випромінювання обумовлений не кількістю поглиненої енергії об'єктом, що опромінюється, а формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична та ін.), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче випромінювання.

Також необхідно зазначити деякі особливості дії іонізуючого випромінювання на організм людини:

- органи чуття не реагують на випромінювання;
- малі дози випромінювання можуть підсумовуватися і накопичуватися в організмі (кумулятивний ефект);
- випромінювання діє не тільки на даний живий організм, але й на його нащадків (генетичний ефект);
- різні органи організму мають різну чутливість до випромінювання.

Найсильнішому впливу піддаються клітини червоного кісткового мозку, щитовидна залоза, легені, внутрішні органи, тобто органи, клітини яких мають високий рівень розподілу. Природно, що при одній і тій же дозі випромінювання у дітей вражається більше клітин, ніж у дорослих. Це пов'язано з тим, що у дітей всі клітини знаходяться в стадії розподілу, а клітини дорослої людини перебувають у трьох різних стадіях розподілу. [31]

10 ВПЛИВ РАДІАЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЛЮДИНУ

Детерміністичні ефекти. Гостра променева хвороба, хронічна променева хвороба, локальні місцеві ураження. При високих дозах опромінення нанесені uszkodження не підлягають відновленню і є досить серйозними для того, щоб перешкодити клітинним функціям. Клітини можуть або негайно відмирати, або гинути після кількаразового поділу. Такі ефекти проявляються протягом короткого часу (не більше місяця) після опромінення. Швидка загибель клітин при високих дозах радіації може загрожувати життю людини в короткостроковому плані, саме такі “детерміністські” наслідки пояснюють велику

кількість смертей відразу ж після Чорнобильської аварії. Усі детерміністські ефекти – граничні. Вони обов’язково виникають при досягненні визначеної доз великої, граничної дози (не менш 0,25 Гр) і з її ростом підсилюються, що і зрозуміло, тому що збільшується число клітин, що гинуть. Наприклад, при місцевому опроміненні від дози (5–10 Гр) виникає лише почервоніння шкіри, а зі збільшенням дози може розвинути поверхнева, потім глибока виразка, аж до враження кістки. Типовим прикладом детерміністського ефекту загального опромінення при дозах, що перевищують 10 Гр, є гостра променева хвороба, що, у залежності від дози, може бути різного (I–IV) ступеня тяжкості.

Стохастичні ефекти. Скорочення тривалості життя, злякисні новоутворення, порушення розвитку плода, генні мутації, хромосомні аберації. При низьких рівнях (дозах) опромінення клітина може виявитися здатною відновити отримані ушкодження. При низьких дозах відмирання клітин може супроводжуватися дією природних механізмів, що регулюють клітинну регенерацію. Однак, при цьому клітинна регенерація може бути неповною або дефектною, а в цьому випадку клітина може підлягати мутації, що в майбутньому (можливо, досить віддаленому) може призвести або до неконтрольованого розмноження перероджених соматичних клітин, або до трансформації клітин зародкової тканини статевих залоз (“стохастичні” ефекти). У першому випадку існує імовірність захворювання самої опроміненої людини раком, у другому – можуть проявитися спадкові (генетичні) дефекти у її нащадків. Такі віддалені наслідки можуть виникнути в результаті змін однієї клітини. Вони не мають дозового порогу. Зі збільшенням дози наростає тільки ймовірність стохастичних ефектів, а не ступінь їхнього прояву. Це і зрозуміло, тому що рак або є, або його немає, половини раку не буває. Вважається, що наслідки дії низьких доз опромінення визначити безпосередньо неможливо, тому оцінки віддалених медичних наслідків ґрунтуються на прогнозах, зроблених на базі вимушених допущень і екстраполяцій. Ризик стохастичних ефектів розраховують на підставі теоретичних, експериментальних і радіаційно-епідеміологічних досліджень. [31]

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА В СВІТІ (КОРОТКІ ФАКТИ)

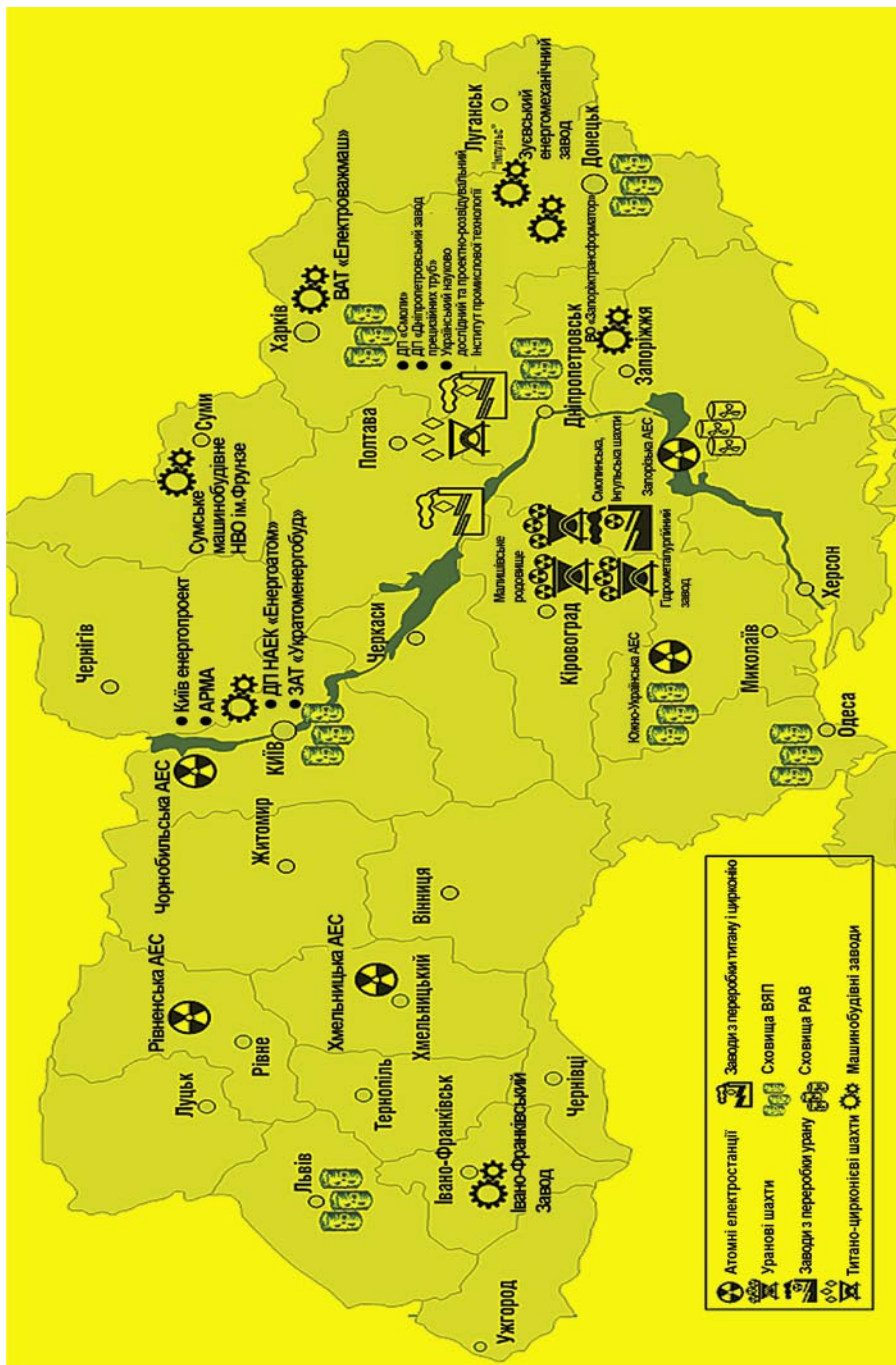
11

За даними Nuclear Energy Institute та МАГАТЕ на початок 2010 року у світі:

Кількість працюючих блоків АЕС – 436

Кількість країн, що мають АЕС – 29

Кількість блоків АЕС, що будується – 35



Кількість країн в яких будуються АЕС - 14

Частка атомної енергії в світовому виробництві електроенергії - 14%

Кількість діючих дослідних реакторів - 245

Виробництво атомної енергії в 2008 році – 370,407 МВт.

Середній вік працюючих АЕС – 25 роки.

Середня вартість палива на 2008 рік – 0,49 центів/кВт.

Найшвидше розвивається атомна енергетика в Китаї, Індії, Україні та Росії.

При цьому «найшвидший розвиток» означає пуск 1- 2 блоків на рік в усьому світі.

ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА В УКРАЇНІ 12

Працюючих АЕС – 4 Кількість блоків – 15:

Зупинених АЕС – 1 (3 блоки)

Недобудовані АЕС – 1



Запорізька АЕС – 6 блоків ВВЕР-1000. Встановлена потужність – 6000 МВт.



Рівненська АЕС – 2 блоки ВВЕР-1000 та 2 блоки ВВЕР-440. Встановлена потужність – 2835 МВт.



Хмельницька АЕС – 2 блоки ВВЕР-1000. Встановлена потужність – 2000 МВт.



Южно-Українська АЕС – 3 блоки ВВЕР-1000. Встановлена потужність – 3000 МВт.

Діючі сховища відпрацьованого ядерного палива – 2
Дослідницькі реактори - 2
Загальна встановлена потужність діючих енергоблоків – 13 835 МВт.
Частка виробництва електроенергії на АЕС – 46,8% за 2008 рік.
В 2009 році АЕС України виробили 83155,3 млн. кВт.

13 ФІЗИЧНА ОСНОВА ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. АТОМНА ЕНЕРГІЯ

Атомна енергія – це енергія, що виділяється під час перетворень атомних ядер.

Фізичною основою ядерної енергетики є реакція поділу важких ядер (наприклад - урану). Під час поділу ядра виділяється велика кількість тепла (екзотермічна реакція). Ці перетворення можуть відбуватися спонтанно (цим зумовлюється природна радіоактивність) або керовано. Ланцюгова реакція в реакторній зоні відбувається таким чином: ядро урану під впливом нейтрона ділиться на два осколкових ядра. При цьому вивільняються нові нейтрони, які викликають поділ інших ядер урану. Причому деякі з нейтронів поглинаються матеріалами конструкції чи реактора і виходять за межі активної зони. Якщо хоча б один з нейтронів, що утворився, візьме участь у наступному поділі атомних ядер, то розпочнеться ланцюгова реакція. При умові можливості керування ланцюговою реакцією виникає можливість використовувати тепло, що виділяється. Використовуючи різні системи збору тепла, енергію ядерного поділу використовують в ядерній енергетиці. Енергія поділу ядер урану та плутонію використовується і у військових цілях. При поділі 1 граму ізотопів урану або плутонію вивільняється 22500 кВт енергії, що еквівалентно енергії, яка міститься у 2800 кг умовного палива.

14 ПРОЦЕС ОТРИМАННЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ

Зазвичай, коли говорять про отримання атомної енергії, мають на увазі ядерний реактор, проте цей процес набагато довший. Нижче перераховані основні етапи отримання ядерної енергії. Всі ці етапи будуть більш ґрунтовно розглянуті в подальшому.



В процесі всього ядерного циклу відбувається транспортування тих чи інших радіоактивних речовин (транспортування уранової руди, палива, відходів і т.д.).

ПЕРША АЕС. ЯК І ЧОМУ ПОЧАЛА РОЗИВАТИСЯ ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА 15

Перша атомна електростанція в світі була введена в експлуатацію в 1954 році, в СРСР в м. Обнїнськ, Калузької області. Її основою був ураново-графітний реактор типу АМ (“Атом мирный”), який мав потужність 5 МВт.

Можна виділити як мінімум дві головні ідеї через які почався форсований розвиток атомної енергетики в світі. Перш за все – це військовий інтерес до ядерної зброї. На атомну енергетику почали працювати колосальні наукові та виробничі потужності, пов’язані з виробництвом атомної зброї. Досить часто ті самі комерційні атомні енергетичні установки напряму використовувались для різних робіт пов’язаних з атомною зброєю. В результаті не лише в період становлення, а й в подальшому, атомна енергетика отримувала величезні урядові субсидії. [27] Так, наприклад, у Франції така підтримка виявилась еквівалентною 30 млрд доларів, в США – біля 50 млрд. [27] Другим фактором була думка, поширена у більшості країн світу у 50-60-ті роки, що розвиток

суспільства обов'язково потребує збільшення енергоспоживання. Насправді, в світі дійсно, до середини 80-х років спостерігалось зростання споживання енергії, проте, після піку – у 1980-1985 роках, почався спад. Енергозбереження виявилось більш вигідним з точки зору економіки, ніж освоєння нових джерел енергії. Таким чином, один з головних аргументів, який постійно висувався атомниками при агітації за будівництво нових АЕС – нестача енергії для розвитку суспільства, що насправді являє собою лише зручне прикриття експансії ядерних технологій. [27]

16 ЯДЕРНИЙ ПАЛИВНИЙ ЦИКЛ

Ядерний паливний цикл – це всі процеси та всі операції, які необхідно здійснити для отримання ядерної енергії. Ядерний паливний цикл включає в себе всі етапи процесу отримання ядерної енергії. Розрізняють відкритий (незамкнутий) і закритий (замкнутий) типи ядерно-паливного циклу. Різниця між ними полягає у поводженні із відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП). Якщо ВЯП не переробляється, а, як і радіоактивні відходи, направляється на довгострокове зберігання, то такий цикл називають відкритим або незамкнутим. Така схема є значно простішою. Якщо ВЯП переробляється, то це замкнутий цикл. Особливості:

Замкнутий цикл – можливість неконтрольованого поширення плутонію, як ключового компонента ядерної зброї та використання екологічно небезпечного радіохімічного виробництва (а з ним і витрати на будівництво, експлуатацію, вивід з експлуатації і т.д.).

Відкритий цикл - немає проблем пов'язаних із радіохімічними заводами і менша загроза витоку радіації в зв'язку з тим, що ВЯП знаходиться у твердому стані і немає потреби його перевантажувати чи відкривати герметичну упаковку (як це робилось би на заводах з переробки). Мінусом є висока вартість сховищ ВЯП.

Загалом ядерний паливний цикл, як замкнутий, так і відкритий – це небезпечне і дуже дороге виробництво.

Зараз лише Великобританія, Індія, Росія, Франція та Японія переробляють ВЯП на своїх заводах. Решта країн або не переробляє взагалі, або віддає на переробку до інших країн. Причому лише Великобританія, Росія та Франція переробляють ВЯП інших країн. (Див. питання 42, 43 та 45).

В Україні давно існує мрія про створення замкнутого ядерного паливного циклу. Проте, Україна, як зазначено у її Конституції та Тресторонній заяві Президентів України, США та Росії (14.01.1994) є без'ядерною державою, а тому мова може йти лише про створення елементів ядерного паливного циклу (ЯПЦ).

Комплексна програма зі створення елементів ЯПЦ в Україні була розроблена ще у 1995 році, та редагована в 2001. Згідно з цією програмою в Україні не можуть бути розміщені підприємства із збагачення уранової руди та з переробки відпрацьованого ядерного палива. Ці виробництва є потенційно небезпечними з точки зору поширення ядерної зброї. Проте, передбачався розвиток цирконієвого виробництва (необхідного для виготовлення палива) і комплектуючих до тепловиділяючих збірок та виробництва уранового концентрату. Оскільки фактичне фінансування цієї програми становило від 20% до 40% планованих обсягів, то жодне із її завдань не було виконано в повному обсязі. [25] Відповідно до державної цільової економічної програми «Ядерне паливо України» (затвердженої Кабінетом міністрів України у вересні 2009 року) до 2013 року Україна має зменшити залежність від:

- імпорту концентрату природного урану з 67% до 25%;
- імпорту твелів та тепловиділяючих збірок з 100% до 20%;
- імпорту комплектувальних виробів зі 100% до 0%.

А також створити повний цикл цирконієвого виробництва.

Усього, згідно цієї програми, планується витратити 13550 млн. грн., з них 4335 млн. грн. – із спеціального фонду державного бюджету.

Ядерне паливо використовується в ядерних реакторах, де воно, зазвичай, розташовується в герметично закритих тепловиділяючих елементах (ТВЕЛ) у вигляді таблеток розміром в декілька сантиметрів.

Уранові таблетки вкладають у трубки, виготовлені із сплаву цирконію, і отримують паливні стержні, які і називають тепловиділяючими елементами (ТВЕЛ). Приблизно 200 ТВЕЛів складають разом у тепловиділяючу збірку (ТВЗ), які і завантажуються до активної зони реактора.

Для кожного типу реакторів використовуються свої ТВЗ із різними конструкційними особливостями та різними розмірами.

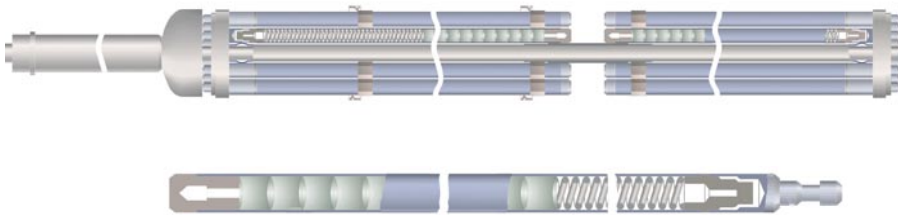
Наприклад, до реакторів типу ВВЕР-1000 завантажуються 163 ТВЗ з ТВЕ-Лами довжиною 3,5 м та діаметром 9,1 мм.

Все паливо, яке використовується українськими АЕС, постачається російською корпорацією ТВЕЛ, що ставить Україну в пряму залежність від Росії і створює великий ризик для національної безпеки. За підписаним у 1997 році контрактом, Росія буде постачати Україні паливо для 13 реакторів до 2010 року, а для двох реакторів – до завершення терміну їх експлуатації.

В 2005 році 6 тепловиділяючих збірок американської компанії Вестенхауз (Westinghouse) були встановлені в третьому реакторі ЮУАЕС. В березні 2010 року завершився перший цикл їх випробувань. Висновком є те, що дане паливо може бути використане в якості основи при конструюванні палива для АЕС України. Другим етапом випробувань буде завантаження 42 ТВЗ. [17]

Якщо другий етап пройде успішно, то з 2013 по 2015 роки американське паливо буде постачатися на 3 українські блоки, згідно пунктів підписаного контракту. Варто зазначити, що компанія Вестенхауз (Westinghouse) буде лише виробляти ТВЗ, а збагачення ядерного палива буде здійснювати Росія. До компанії Вестенхауз (Westinghouse) є багато запитань та претензій щодо палива та його використання в Україні. Найсуттєвіші з них – це те, що є приклади дострокового вивантаження ТВЗ Вестенхауз (Westinghouse) із реактора з-за технічних проблем (АЕС Темелін, Чехія).

Співпраця України з Вестенхауз (Westinghouse) викликала негативну реакцію зі сторони російської компанії ТВЕЛ. Існує думка, що саме через це співробітництво досі не підписані контракти про постачання палива в Україну. Це також значно впливає на хід переговорів, щодо побудови в Україні заводу із фабрикації ядерного палива.



ТВЕЛ та ТВЗ

ГОЛОВНІ ВІДМІННОСТІ ЯДЕРНОГО ТА ОРГАНІЧНОГО ПАЛИВА 19

Існує ряд принципових відмінностей згорання ядерного та органічного палива.

Ключовими відмінностями між цими видами палива є різна їх потреба у кисні та у повноті згорання.

Органічне паливо потребує кисень, оскільки він необхідний для протікання реакції окислення-відновлення, а це і є процес горіння. Згорання ядерного палива обумовлюється не хімічними реакціями, а тому кисень чи інший окислювач йому для згорання не потрібен.

Органічне паливо згоряє практично повністю, на відміну від ядерного палива, яке вигоряє лише приблизно на 6%. Так, ефективність використання ядерного палива в реакторах типу ВВЕР становить біля 1%. [28] Відпрацьоване ядерне паливо є високорадіоактивне. Поводження з ним потребує спеціальних заходів безпеки. Існує технологія щодо переробки та регенерації відпрацьованого ядерного палива, але це технологічно складний і дуже дорогий процес, після якого також залишаються відходи. Ці відходи необхідно ізолювати від людей та природного середовища на тисячі років. (Див. питання 43).

ЧОМУ САМЕ УРАН? СКІЛЬКИ УРАНУ НА ЗЕМЛІ? 20

Тому, що один із ізотопів урану – уран-235 добре ділиться повільними нейтронами і це єдиний ядерний матеріал з такими властивостями, який зустрічається в природі. Подібні властивості мають ще уран-233 та плутоній-239, але вони можуть бути отримані лише штучно, їх немає в природі. Уран доволі широко поширений в природі – в гірських породах, ґрунтах та водах. Він належить до розсіяних елементів, а тому є не так багато місць, де він сконцентрований.

Вміст урану в земній корі складає 0,003%, а це приблизно в 1000 разів більше, ніж золота, в 30 разів більше, ніж срібла, і майже стільки ж, скільки свинцю і цинку.

Найбільше розвіданих запасів урану мають Австралія, Казахстан та ПАР. Біля 90% світового уранового виробництва забезпечують 8 країн: Австралія,

Казахстан, Канада, Намібія, Нігер, Росія, Узбекистан та США. Лідерами з видобутку є Канада, Австралія та Казахстан.

Достовірні запаси урану складають приблизно 2,3 млн. т, а вірогідні – 2,72 млн. т. Для промислового видобутку урану використовують уранові руди. За вмістом урану їх поділяють на 5 категорій: дуже багаті руди – біля 1% урану; багаті – 1-0,5%; середні – 0,5 – 0,25%; рядові – 0,25 – 0,1% та бідні – менше 0,1%. Задля порівняння, скажемо що багатими вважаються залізні руди із вмістом заліза більше 50%, а бідними вважають ті, що містять до 25% заліза.

21 ЯК ДОБУВАЮТЬ УРАН ?

Є три методи видобутку урану: шахтний (підземний), кар'єрний (відкритий) та метод підземного вилуговування.



Уранова руда

Перших два способи є традиційними і використовуються на більшості родовищ у світі. При застосуванні цих технологій виникає ціла низка екологічних проблем.

При розробці уранової руди із вмістом урану 0,1% для отримання 1 тонни оксиду урану (U_3O_8) необхідно дістати на поверхню біля 1000 тонн руди, не враховуючи величезної кількості пустої породи.

Порожню породу виймають відкритим способом і перемішують у відвали, які містять підвищені концентрації радіонуклідів. Часто цю породу переробляють на гравій або цемент. Разом із видобутком та первинною обробкою 1 тонни уранової руди, на поверхню дістають 1,4-1,6 тонни радіоактивних відходів. [18]

Слід також згадати про повітряний перенос радіонуклідів через високе запилення під час роботи підприємства і про викиди із шахтних вентиляційних систем.

Відкачка води із шахт та її скид спричинює розповсюдження радіаційного забруднення. Так, наприклад, «...у річкових донних відкладах в районі шахт підприємства Wismut у Роненбурзі були встановлені концентрації урану та радію на рівні біля 3000 Бк/кг, що вказує на перевищення фонового природного рівня більш ніж у 100 разів». [10]

Здоров'я робітників таких підприємств також викликає серйозне занепокоєння. Через необхідність працювати в умовах високої концентрації при-

родних радіонуклідів, у багатьох з них зафіксовані тяжкі наслідки для здоров'я. Так «за період 1946-1990рр. від раку легенів вмерли 7 163 східнонімецьких шахтарів, які працювали на видобутку урану. Для 5 237 із них в якості причини захворювання визнали професійну експозицію». [10]



Жовтий кек

Підземне вилуговування - це закачування лужної рідини через свердловини до місця залягання уранової руди. Потім збагачений ураном розчин відкачують на поверхню. Ця технологія не потребує видобутку самої руди на поверхню, і в цьому її плюс. При її застосуванні спостерігається менший ризик опромінення працівників, менші хвостосховища та менші витрати. Проте, є суттєвий ризик проникнення вилуговувального розчину за визначені межі і, відповідно, забруднення ґрунтових вод. До того ж, після завершення видобутку, відновити територію до природного рівня буде неможливо. [10]

ЯК І ДЕ ДОБУВАЮТЬ УРАН В УКРАЇНІ? 22

Україна займає перше місце в Європі за розвіданими запасами урану та шосте місце в світі, маючи 1,8% всесвітнього запасу урану. [14] Проте, видобуває вона 670 тисяч тонн уранової руди на рік (2009 рік). [3] Це лише 30% від необхідного урану для українських АЕС.

За вмістом урану українська уранова руда відноситься до бідної або рядової. Вона залягає у межах Українського кристалічного щита.

Державним балансом запасів корисних копалин враховано 17 родовищ уранових руд. З них розробляються три: Ватутінське, Мічуринське та Центральне (Східна зона). [2] В Україні видобуток та промислова переробка уранових руд для отримання уранового концентрату здійснюється на Державному підприємстві «Східний гірничо-збагачувальний комбінат». Видобування здійснюється підземним способом на Інгульському та Смолінському рудниках у Кіровоградській області. А переробка уранових руд та отримання уранового концентрату здійснюється на Гідрометалургійному заводі в м. Жовті Води, Дніпропетровської області. В 2000 році було також створене Державне підприємство «Дирекція державного підприємства, що будується на базі Новокосятинівського ро-

довища уранових руд». Проте, поки що підприємство не здійснює видобутку уранової руди. [10]

23 БЕЗПЕКА НАСЕЛЕННЯ, ПРИЛЕГЛИХ ДО РОДОВИЩ ТЕРИТОРІЙ

Проживати на території, прилеглий до видобутку та збагачення уранових руд - небезпечно. Це визнає навіть держава. Наведемо без коментарів витяг із Програми радіаційного і соціального захисту населення м. Жовті Води на 2003-2012 роки, що була затверджена постановою №556 Кабінету Міністрів України: «Населення міста з 50-х років змушене проживати в зоні довготривалого техногенного радіаційного забруднення, яке перевищує норми, встановлені Нормативами радіаційної безпеки України (далі - НРБУ-97). Це викликає тим, що на території міста виконувалися роботи з видобутку і переробки уранової руди. Під час будівельних робіт здійснювалося підсипання міської території пустими породами, які мали підвищений радіаційний фон. Внаслідок цього на території міста утворилися окремі локальні ділянки (до 450) з радіаційним фоном на рівні 40-500 мкр/год. (природний фон - 15-22 мкр/год.). Виявлено забруднення ґрунтів, води та атмосферного повітря такими радіонуклідами, як уран-238, радій-236, свинець-210 і полоній-210. У поверхневому шарі ґрунту концентрація урану-238 перевищує фонову в 2-7 разів, радію-226 - у 2-9, свинцю-210 - в 2-25, полонію-210 - в 2-17 разів. У місті накопичено близько 50 млн. тонн відходів, у тому числі 1,4 млн. тонн токсичних I-IV класів безпеки.

Перевищення подвійного нормативу концентрації радону в житлових приміщеннях становить 9 відсотків, а у приватному секторі - понад 21 відсоток, що у кілька разів перевищує норми НРБУ-97. Рік у рік у місті погіршується демографічна ситуація, зростає захворюваність і смертність населення, зменшується народжуваність.

Населення міста з 1990 року скорочувалося темпами, більшими ніж у середньому по Україні в 2,1 раза (щороку майже на одну тисячу чоловік), з міста виїжджають висококваліфіковані фахівці. В 2001 році коефіцієнт смертності перевищує коефіцієнт народжуваності у 2,8 раза проти 1,96 раза по Україні. Захворюваність мешканців міста має сталу тенденцію до зростання. Рівень онкологічної захворюваності за останні 10 років зріс майже в 2 рази у чоловіків та в 1,3 рази у жінок і перевищує середні показники як по області, так і Україні в цілому, захворюваність на туберкульоз майже в 2 рази перевищує середньо-обласні. Відмічається високий рівень вроджених аномалій у дітей. Показник первинного виходу населення міста у працездатному віці на інвалідність збіль-

шився на 19,5 відсотка порівняно з 1995 роком, тоді як по Україні в цілому він зменшився на 17,6 відсотка. Провідними причинами первинної інвалідності є новоутворення та захворювання системи кровообігу»

Ще один приклад «безпечності» даної технології можна розглянути на прикладі діяльності Східного гірничозбагачувального комбінату.

Після припинення видобутку на шахті поряд із с. Довгівка (45 км від м. Жовті Води) під землею залишилось «озеро» соляної кислоти. Існує три сценарії подальшого розвитку ситуації – або воно залишиться у вихідному стані, або воно дрейфує в сторону м. Кривий Ріг (до залізрудних шахт), або на поверхню. Грунтового дослідження на цю тему так і не було проведено досі.[18]

ПЕРЕТВОРЕННЯ УРАНУ У ЯДЕРНЕ ПАЛИВО 24



Для того, щоб уран перетворився на ядерне паливо, він проходить довгий ланцюжок перетворень:

Як правило, всі стадії, що передують отриманню «жовтого кеку», проходять на підприємствах, що розташовані поряд із місцем видобування урану. Так званий «жовтий кек» (гексафторид урану) упаковують у бочки та перевозять на підприємство із збагачення урану (див. питання 26). Всі етапи даного виробництва спричинюють радіаційне забруднення навколишнього середовища. Під час подрібнення руди, найбільшу небезпеку несуть можливі викиди пилу, який має підвищену радіоактивність. В процесі переробки уранової руди утворюються відходи (хвости) із підвищеним вмістом природних радіонуклідів. Неможливо повністю виділити уран із уранової руди, тому відходи містять деяку частину урану, торій-230 та радій-226. Такі відходи містять до 85% початкової радіоактивності руди. Крім того, вони містять важкі метали і хімічні реа-

генти, які додавалися до руди у процесі виробництва. Радій-226 розпадається з утворенням радону - 222 – це газ, продукти розкладу якого, при потраплянні в організм людини, спричинюють рак легенів. Він може вивільнятися із хвостосховищ та розноситися на великі території.

З висиханням поверхні хвостосховища утворюється пил, який містить радіоактивні частки, а вітер може розносити його на прилеглі території. Тому хвостосховища необхідно щільно вкривати ізолюючим матеріалом. Хвостосховища також можуть бути причиною радіоактивного забруднення ґрунтових вод через інфільтрацію. Особливо це стосується хвостів, що утворилися від підприємств, що використовують кислоти. Таким шляхом радіоактивні речовини можуть потрапити до питної води чи риби і спричинити небезпеку для населення. Так, з хвостосховищ на угорському родовищі у Пакш, забруднений фронт ґрунтових вод мігрує із швидкістю 30-50 м/рік у напрямку колодязів питної води у місті. [10]

Слідкувати за станом хвостосховищ необхідно протягом дуже тривалого часу. На їх стан значно впливають фактори навколишнього середовища. Наприклад, дощі можуть розмити верхній шар хвостосховища, сильні зливи або повені можуть взагалі його зруйнувати. Так сталося у 1979р., у Черч Рок, штат Нью-Мексико, що призвело до розливу більше 1 000 тонн суспензій та біля 400 мільйонів літрів забрудненої води. [10]

25 ПЕРЕРОБКА УРАНОВОЇ РУДИ В УКРАЇНІ ТА ЇЇ НАСЛІДКИ

В Україні переробку уранової руди та отримання гексафториду урану здійснює Гідрометалургійний завод у м. Жовті Води, який входить в склад Державного підприємства «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» («ДП «Схід-ГЗК»).

Відходи виробництва він розміщує у хвостосховищі, що знаходиться в 5 км від цього міста. Станом на 01.10.2008 р. у хвостосховищі зберігається 3,515*10⁷ тонн відходів уранового виробництва загальною активністю 3,8*10¹⁴ Бк. [4] (Про ситуацію із радіаційним захистом населення у м. Жовті Води – див. питання 23).

В 1991 році свою діяльність припинило Виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод», (ВО «ПХЗ») що розташоване у місті Дніпродзержинськ. З 1946 року це підприємство займалося промисловою переробкою уранових руд та ураномісткої сировини з метою отримання уранового концентрату. Після закриття підприємства (в 1991 році) було створено 7 сховищ з переробленою урановою рудою (близько 42 млн. т) і два сховища з відхо-

дами уранового виробництва (0,2 млн. т).[23] Всі ці хвостосховища розташовані поряд із дорогами, населеними пунктами та полями на яких вирощуються сільськогосподарські культури. Наведемо витяг із Доповіді про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2008 році Державного комітету ядерного регулювання України в якому йде мова про ВО «ПХЗ»: «Забруднення окремих будівель та ділянок території за даними радіаційного моніторингу становить від 0,05 до >10 мкЗв/год при фонових природних значеннях у 0,02 мкЗв/год. Внаслідок цього працюючі в цих установах піддаються неконтрольованому зовнішньому та внутрішньому опроміненню.

Інженерні споруди ВО"ПХЗ", у тому числі сховища відходів уранового виробництва ... на даний час не експлуатуються, обсяг моніторингу не достатній. Більша частина цих сховищ не законсервована, зруйновані їх системи фізичного захисту та радіаційного моніторингу, що спричиняє шкідливий вплив на навколишнє середовище, населення та персонал підприємств, що знаходяться на території колишнього ВО "ПХЗ»).

Найгіршим є те, що дані хвостосховища не огорожені, а лише позначені табличками зі знаками радіаційної небезпеки.

Зовні вони виглядають привабливо, і люди приїжджають сюди на відпочинок цілими сім'ями. [23] Незважаючи на існування ряду державних програм та документів стосовно ситуації навколо Придніпровського хімічного заводу, жодна із поставлених задач щодо захисту населення та навколишнього середовища від радіаційної загрози не виконана в повному обсязі.

ЗБАГАЧЕННЯ УРАНУ 26

Для того, щоб уран можна було використати в якості ядерного палива, його необхідно збагатити приблизно до 3% урану-235. Точна величина залежить від типу реактора, в якому паливо буде використовуватись. Наприклад, для реакторів ВВЕР необхідно збагачення по урану-235 до 1,6% - 5%. Процес збагачення урану є надзвичайно складною технологією. В світі використовується два основних методи збагачення урану:

- газодифузний метод (цей метод є дуже енергоємним. Його використовують підприємства в Китаї, США та Франції);
- метод центрифугування, при якому більш важкі молекули газу гексафториду урану осідають на стінках центрифуги, а більш легкі –ізоотоп (уран-235) – концентрується близько до осі центрифуги. Цей метод використовується у Великобританії, Німеччині, Нідерландах, Росії та Японії.

Збагачення приводить до утворення великої кількості збідненого урану, який в основному є ураном-238 з незначним (менше 0,3%) вмістом урану-235.

В світі накопичилось кілька мільйонів тонн цього матеріалу. Дуже мала його кількість використовується у деяких специфічних галузях. Через економічні причини подальша доля переважаючої частини цього радіоактивного матеріалу незрозуміла.

Теоретично деяку частину гексафториду урану можна буде використати при створенні змішаного оксидного ядерного палива. Але це можливо лише при умові активного використання реакторів на швидких нейтронах, що в ближчому майбутньому вкрай сумнівно. [10] (Див. п. 31).

Світова спільнота прискіпливо контролює наявність цієї технології у країнах, що використовують ядерну енергетику. Це пов'язано з тим, що, володіючи таким підприємством, країна потенційно може виробляти збагачений уран для військових цілей. Тільки збагачувати його треба буде до 80%. Україна не володіє цією технологією і збагачує своє паливо в Росії.

27 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТВЕЛІВ

Невелику кількість додаткових матеріалів вводять до складу уранового палива для покращення його радіаційної стійкості та механічних властивостей. Ці речовини вибирають з матеріалів, що слабо поглинають нейтрони. Як правило, в уран додають невелику кількість оксидів рідкоземельних матеріалів. Як зазначено в питанні 18, ТВЕЛІ складаються з трубок, які виготовляють із сплаву цирконію (для реакторів ВВЕР).

Оскільки Україна має багаті природні запаси цирконію, то в рамках ідеї про створення власного виробництва ядерного палива, Державною програмою «Ядерне паливо Україні» передбачається створення повного циклу цирконієвого виробництва. До 2013 року планується збільшення обсягу виробництва двоокису цирконію з 190 до 270 тонн на рік, та виробляти 170 тонн цирконієвого прокату на рік. На це планується витратити 1640 млн. грн. до 2013 року.

МОКС-паливо (від англ. MOX – mixed oxides)

Спроби використовувати плутоній в якості ядерного палива тривають більше 60 років, бо експерименти використання плутонію в реакторах на швидких нейтронах або в якості змішаного МОКС-палива не призвели до успіху. Питання безпеки та радіаційного захисту для змішаного оксидного палива мають розглядатись навіть більш критично, ніж у випадку уранових паливних елементів:

- Плутоній має високу радіотоксичність, тому вдихання 0,1 чи менше мг плутонію може викликати смерть.
- Ризик утворення критичної маси під час переробки та виробництва плутонію набагато вищий, ніж у випадку урану.
- Існує чимало можливостей для викиду плутонію у нормальному технологічному процесі під час переробки палива та виготовлення оксиду плутонію, а також у випадку аварій під час переробки палива, зберігання, транспортування та обробки плутонію, виробництва змішаного оксидного палива, виготовлення та транспортування паливних елементів.
- Легководні реактори не розраховувались на завантаження палива з плутонієм в активну зону. Використання змішаного палива можливе лише у випадку зниження вимог до техніки безпеки (реактор менш надійно контролюється, його складніше вимикати).
- У випадку використання змішаного оксидного палива збільшується кількість радіонуклідів з великим терміном напіврозпаду. Через це радіологічні наслідки можуть бути більш тяжкими.
- Більш активне виділення тепла та вища інтенсивність нейтронної радіації викликає серйозніші проблеми під час транспортування, зберігання та кондиціонування відпрацьованого палива.
- Навіть на найкращому сучасному рівні розвитку технологій відпрацьоване змішане оксидне паливо неможливо переробляти у промислових масштабах. В той же час, остаточне захоронення стає більш складним через виділення тепла, нейтронну радіацію та проблеми з утворенням критичної маси. Порівняно з безпосереднім захороненням відпрацьованого уранового палива, використання змішаного палива ускладнюється, стає більш небезпечним та потребує більшого об'єму сховищ. [10]

Торієве паливо

Можливість використання торієвого ядерного циклу особливо уважно почали розглядати з 70-х років 20 століття. Найбільше зацікавились цим видом палива – Великобританія, Індія, Німеччина, Росія, США та Японія. Частково або повністю торієве паливо завантажувалося в декілька дослідних реакторів. На сьогодні торій не використовується у якості сировини для ядерного палива, оскільки видобування торію є складнішим і дорожчим ніж видобування урану, до того ж запаси урану поки що є достатніми для теперішніх потреб. Переробка опромінених торієвих ТВЕЛів складніша і дорожча за переробку уранових. Дослідження щодо використання торієвого палива тривають.

29 АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ

На атомній електростанції відбувається виробництво електроенергії. Головна її відмінність від, наприклад, теплової електростанції полягає в тому, що вона використовує ядерне паливо, а не органічне.

«Серцем» АЕС є ядерний реактор, де, використовуючи керовану ланцюгову реакцію поділу ядер урану, отримують енергію. У реакторах типу ВВЕР та легководневих реакторах енергія відводиться за допомогою води. Насоси постійного прокачують воду через активну зону теплоносія, який нагрівається ТВЕЛами. Це, так званий, перший контур. Він передає тепло другому контуру, де вода нагрівається настільки, що утворює пару. Ця пара обертає турбіну, а вона обертає генератор, який генерує електричний струм. Таким чином, ядерна енергія переходить у теплову, теплова у механічну, а механічна – в електричну енергію. Пара, яка віддала свою енергію турбіні, конденсується і знову подається в парогенератор у вигляді води. Охолоджується вона за допомогою технічного контуру - його роль грають або градирні або ставок-охолоджувач. (Див. питання 34) У результаті роботи АЕС утворюються радіоактивні відходи та відпрацьоване ядерне паливо, які є небезпечними для людини і довкілля. Вони вимагають переробки та тривалого зберігання. (Див. питання 36 та 42). АЕС створюють потенційну небезпеку радіоактивного забруднення. В Україні майже половина населення може опинитись в зонах такого забруднення.

Основним компонентом ядерного реактора є його активна зона. В активну зону реактора завантажується ядерне паливо і протікає керована ланцюгова реакція, при якій виділяється дуже багато тепла. Тепло відводиться теплоносієм. (Див. питання 33 та 34).

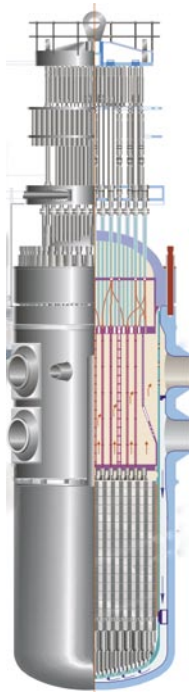
Важливим елементом ядерного реактора є сповільнювач, який може бути водним або графітовим залежно від типу реактора. Сповільнювач регулює швидкість нейтронів таким чином, щоб збільшити розщеплення атомів урану в ланцюговій реакції до максимуму. Оскільки ядерний реактор є технологічною системою, вона, як і будь-яка інша система, має свої вразливі місця, які можуть призвести до аварій. В реакторі знаходиться велика кількість радіоактивного матеріалу. Паливо необхідно постійно охолоджувати, щоб не відбулося його розплавлення. Найбільший ризик – це аварія з розплавленням активної зони реактора та ядерного палива. Це може статися в тому випадку, коли охолоджувальна система протікає. При такій аварії у навколишнє середовище може потрапити велика кількість радіації. (Аварія 1979 року на АЕС у Гаррісбурзі, Пенсильванія, США; 1986 – аварія на ЧАЕС, Україна). У 1957 в Англії (Уіндскейл) зруйнувався сердечник реактора, відбувся викид радіоактивної речовини в атмосферу. Не варто забувати про людський фактор, який є найчастішою причиною більшості техногенних катастроф.

ВИДИ РЕАКТОРІВ ТА ЩО ОЗНАЧАЮТЬ ЇХ НАЗВИ 31

Всі існуючі та розроблювальні реактори можна віднести до одного з чотирьох широких класів:

Реактори I покоління – прототипні промислові реактори, розроблені у 1950-х та 1960-х роках. Це видозмінені та збільшені моделі військових реакторів, які використовувались на підводних човнах чи виробляли плутоній.

Наприклад, ранні радянські реактори ВВЕР 440-230. Теплоносієм у цих реакторах є вода під тиском. Вони мають значні конструкційні недоліки. Через це G8 (велика вісімка) та ЄС вважають, що з економічної точки зору ці реактори неможливо довести до прийнятного рівня безпеки. Усі реактори цього типу, які експлуатуються в Центральній Європі, будуть закриті до кінця 2010 року, але ті, що знаходяться у Росії, ймовірно, експлуатуватимуться і далі. Як і в Ук-



Реактор ВВЕР

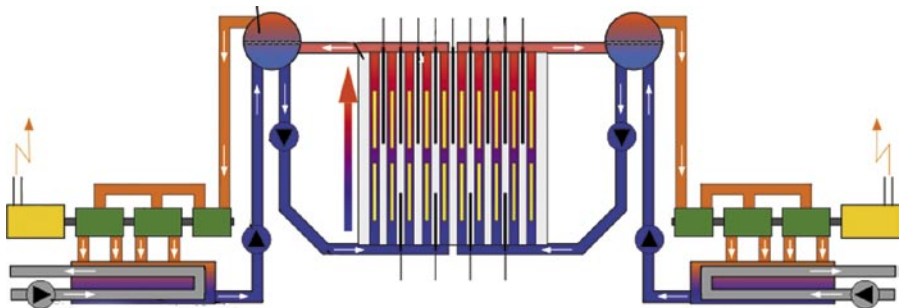
раїні – на Рівненській АЕС. Особливу тривогу викликає відсутність у цих реакторах системи вторинного утримання й адекватної системи аварійного охолодження активної зони.

Реактори II покоління – переважна більшість промислових реакторів у світі належать до цього класу.

Наприклад, РБМК - реактор з киплячою водою та графітовим сповільнювачем. Реактори цього типу використовувались на Чорнобильській АЕС. Його конструкція має ґрунтовні недоліки – реактивність зростає при збільшенні об'єму пари, а активна зона страждає від нестійкості; до того ж, ряд додаткових проблем, зокрема, велика кількість каналів (1693 в РБМК-1000), загострює ці недоліки. Деякі конструкційні недоліки РБМК були виправлені внаслідок досвіду, набутого у Чорнобилі. Внаслідок цього було збільшено ступінь збагачення урану і змінена конструкція керуючих стержнів. Але залишились інші проблеми, які з технічних чи економічних причин невігідно виправляти. Наприклад, лише на двох із дванадцяти досі експлуатованих реакторів цього типу встановлено повністю незалежні системи вторинного утримання, тому інші десять реакторів не відповідають вимогам безпеки Міжнародного агентства з атомної енергії (МАГАТЕ). Фундаментальні конструкційні вади цих реакторів привели до того, що міжнародна спільнота класифікує їх як «неполіпшувани» і докладає зусиль, щоб закрити їх.

Реактори РБМК в Литві та Україні вже закриті, але, незважаючи на це, в Росії ведеться робота по продовженню терміну експлуатації цих реакторів замість того, щоб достроково їх закрити.

Найпоширенішим типом серед промислових реакторів є PWR – реактор з водою під тиском. Реактори PWR розроблялися як енергетичні установки для військових підводних човнів, тому вони мають менші розміри і вищу по-



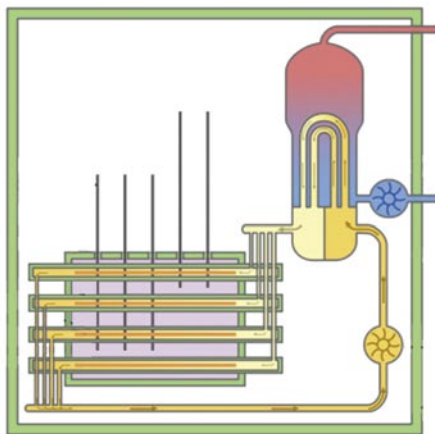
Реактор РБМК

тужність порівняно з іншими типами. Через це водний теплоносій у першому контурі має вищу температуру та тиск, ніж в реакторах інших подібних конструкцій. Ці фактори можуть прискорювати корозію елементів реактора, зокрема, доводиться часто міняти парогенератори. Ці реактори працюють на слабо збагаченому урані.

Російські реактори ВВЕР схожі на PWR і за конструкцією, і за історією. Нині у сімох країнах Східної Європи встановлено 53 таких реактори.

Реактори BWR – це реактори з киплячою водою, які були сконструйовані на основі PWR, і займають друге місце щодо розповсюдженості. В багатьох BWR спостерігалися серйозні проблеми з корозією. На початку дев'яностих років у кількох німецьких реакторах BWR було виявлено величезну кількість тріщин в трубах, зроблених з матеріалу, що вважався стійким до утворення тріщин під дією навантаження та корозії.

Наступним за розповсюдженістю типом серед експлуатованих нині реакторів, є реактор з важкою водою під тиском. Тридцять дев'ять таких реакторів експлуатуються у семи країнах. Канадський реактор CANDU (канадський дейтерій-урановий реактор) – основна конструкція цього типу. В ньому використовується паливо з природного (незбагаченого) урану, а теплоносієм є важка вода. Всередині першого утримуючого корпусу реактора розміщені 390 окремих каналів. Конструкції реактора притаманні деякі ґрунтовні вади, особливо додатній порожнинний коефіцієнт, тобто при втраті теплоносія рівень реактивності зростає. По-друге, через застосування природного урану кількість його в активній зоні істотно збільшується, що може приводити до нестійкостей. Канали, в яких містяться трубки з ураном, зазнають істотного нейтронного опромінення. Канадський досвід показав, що канали поступово деградують, і потрібно проводити дорогі ремонтні роботи, в деяких випадках після лише двадцяти років експлуатації.



Реактор CANDU

Реактори III покоління – це, так звані, «поліпшені реактори», три з яких вже експлуатуються у Японії, а кілька інших споруджуються або проектується. Відомо, що розробляється приблизно двадцять різних конструкцій реакторів III покоління. Більшість із них – «еволюційні» конструкції, розроблені на основі існуючих реакторів II покоління з деякими модифікаціями, які не містять кар-

динальних змін. Інші конструкції представляють більш винахідливі підходи. Згідно Всесвітньої ядерної асоціації реактори III покоління характеризуються:

- стандартизовано конструкцією кожного типу для прискорення ліцензування, зниження капітальних витрат і скорочення терміну спорудження;
- простішою і надійнішою конструкцією, яку легше обслуговувати і до того ж вона менш вразлива до експлуатаційних проблем;
- більшим коефіцієнтом використання потужності і довшим терміном служби – типовий термін складає 60 років;
- зниженою імовірністю аварій з розплавленням активної зони;
- мінімальним впливом на довкілля;
- більшим ступенем вигорання палива для зменшення об'єму відходів і потреби в паливі;
- використанням поглиначів, що згоряють («отрут»), для подовження терміну служби паливних елементів.

Цілком зрозуміло, що наведені цілі в основному спрямовані на покращення економічних показників. Їх відношення до вищих стандартів безпеки залишається досить непевним.

Реактори IV покоління розробляються з прицілом на промислове використання через двадцять-тридцять років. В 2000 році Департамент енергетики США (DOE) запустив програму “Міжнародний форум IV покоління”. На сьогодні в цій ініціативі беруть участь десять країн (Аргентина, Бразилія, Великобританія, Канада, Корея, ПАР, США, Франція, Швейцарія, Японія), а також EURATOM. Їх мета – розробити іноваційні атомні системи (реактори і паливні цикли), які б імовірно досягли технічної зрілості приблизно у 2030 році, але багато хто вважає цю мету оптимістичною. [21, 22]

32 РИЗИКИ ЯДЕРНИХ РЕАКТОРІВ

• Усі експлуатовані нині реактори мають дуже серйозні недоліки у системах безпеки, і ці недоліки неможливо виправити оновленням систем безпеки.

• Масштабна аварія на легководному реакторі, більшість реакторів є саме такими, може спричинити до радіоактивних викидів, еквівалентних кільком Чорнобилям, або 1 000 атомних бомб.

• Проектовані нові лінії реакторів подаються як в основному безпечні. Але окрім власних, специфічних проблем з безпекою, вони вимагають величезних коштів на розробку, з непевними результатами.

• Середній вік існуючих реакторів складає близько двадцяти одного року, і багато країн планують експлуатувати їх і після закінчення передбаченого конструкцією терміну експлуатації. Це приводить до деградації критичних елемен-

тів і зростання кількості серйозних аварій. Механізми деградації матеріалів унаслідок старіння погано вивчені, і їх дію важко передбачити.

- Дерегуляція (лібералізація) ринків електроенергії змусила енергогенеруючі компанії зменшити інвестиції, пов'язані з безпекою, і обмежити чисельність персоналу. Енергогенеруючі компанії також підвищують експлуатаційні параметри реакторів, збільшуючи тиск у реакторі, робочу температуру та ступінь згоряння палива. Це прискорює старіння і зменшує запас безпеки. Регуляторні органи атомної енергетики не завжди спроможні впоратися з цим новим станом речей.

- Неможливо достатньо захистити реактори від загрози тероризму. Крім падіння великого літака на реакторний корпус, існує кілька інших сценаріїв, які можуть мати катастрофічні наслідки. [24]

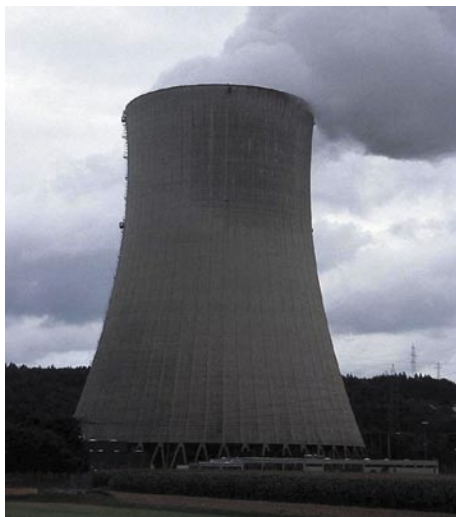
ПРИНЦИПОВА СХЕМА ОДНОКОНТУРНОЇ ТА ДВОКОНТУРНОЇ АЕС 33

Одноконтурна – це АЕС, в якій контур теплоносія (води) та робочого тіла (пари) чітко не розділені. На таких АЕС реактор розташований у бетонній шахті. Реактор являє собою графітову кладку, в якій розташовані технологічні канали. В них знаходиться ядерне паливо. Вода, проходячи через технологічні канали, нагрівається до кипіння. Пара, утворена при кипінні води в активній зоні реактора подається, на турбіну. Ця пара радіоактивна. Після охолодження в конденсаторі пара конденсується, і вода за допомогою насосів повертається в реактор. Конденсатор охолоджується водою із ставка-охолоджувача за допомогою насосів. Таким чином, все обладнання станції в різній ступені радіоактивне.

Двоконтурна – АЕС, в якій контур теплоносія (води) та робочого тіла (пари) розділені. Тобто, на реакторах ВВЕР-1000 контур теплоносія (води під тиском без кипіння) радіоактивний і називається першим контуром. Теплоносій подається в реактор, де він нагрівається і далі потрапляє в парогенератор, де віддає тепло парі. Механічна енергія пари, яка утворюється в парогенераторі, надходить до турбогенератора, в якому вона перетворюється в електричну енергію. Вода першого контуру проходить через активну зону реактора, де знаходиться ядерне паливо, тому ця вода стає радіоактивною. Другий контур – це контур пари. Пара, що виробляється в парогенераторі, спрямовується на турбогенератор, далі в конденсатор, а потім за допомогою насоса конденсат потрапляє в парогенератор. У нормальних умовах цей контур не є радіоактивним.

Конденсатор турбіни охолоджується водою зі ставка-охолоджувача або градирні і називається технічним контуром. Він є відокремленим і від першого контуру, і від другого. [30]

34 ГРАДИРНЯ ТА СТАВОК-ОХОЛОДЖУВАЧ

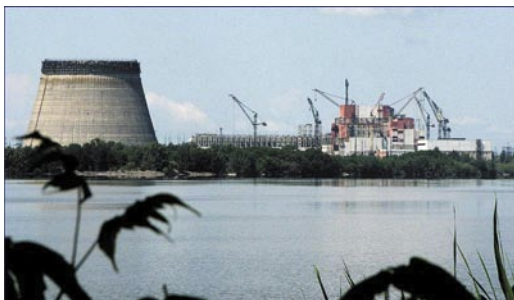


Градирня

хунок її часткового випаровування, в градирнях втрачається досить велика кількість води. На кожну отриману одиницю електроенергії необхідно відвести в навколишнє середовище 2-3 одиниці тепла.

Для скиду надлишкового тепла і використовується ставок-охолоджувач. Залежно від природних умов в якості ставка-охолоджувача використовують

Градирня – це частина системи охолодження АЕС. Це великі труби конічної форми, з яких виходить пара. Висота їх може сягати 90 м, а площа зрошення – до 3200 м². Загалом, це пристрій для незначного охолодження води (температура води, що надходить в градирню, як правило, 40-50 градусів, після неї – 25-30). Вода потрапляє в градирню на деякій висоті, а потім у вигляді струменів стікає вниз, охолоджуючись за рахунок випаровування. В нижній частині градирні вода збирається та відводиться насосами та конденсаторами турбін. Холодне повітря подається нижче води, рухається їй на зустріч та нагрівається за рахунок випаровування води. Оскільки, охолодження води відбувається за ра-



Ставок-охолоджувач

або природний об'єкт, або штучний. Також вода зі ставка-охолоджувача може додатково використовуватись і для вирішення інших технічних завдань. Використання ставка-охолоджувача регулюється рядом нормативних документів (щодо температурного режиму, вмісту радіоактивних речовин, і т.д.)

ЧОМУ ВСІ НИНІШНІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ АТОМНИХ СТАНЦІЙ НЕ ГАРАНТУЮТЬ ВІДСУТНІСТЬ АВАРІЙ

35

Відомий фізик, один із творців ядерної зброї, Герой Соціалістичної Праці, лауреат Ленінської (1958 р.) і Державної (1978 р.) премій, академік Російської АН Л.Феокистов тривалий час займався зниженням ризиків, пов'язаних із ядерною енергетикою та створенням проекту ядерного реактора, який був би безпечний за фізичними міркуваннями. Йому вдалося розробити кілька концепцій безпечного реактора, прийнятих корифеями науки. В 1999 році він випустив книжку «Зброя, яка себе вичерпала» і визначив у ній ахіллесову п'яту усіх без винятку реакторів, що діють у світі. Він вважає, що жоден із нині існуючих реакторів, які працюють за принципом вигорання, не можна зарахувати до безумовно безпечних, бо коли раптом з випадкових (чи аварійних) причин регулюючі стрижні залишать активну зону, виникне значна надкритичність. Ланцюгова реакція в таких умовах розвиватиметься настільки швидко, що жоден аварійний захист не допоможе. Його думки підтвердив Л. Максимов, у минулому директор Інституту фізико-технічних проблем металургії та спеціального машинобудування, а також Науково-дослідного центру фізико-технічних і екологічних проблем енергетики в Новосибірську. Він описав цю ситуацію так: «Сьогодні всі діючі корпусні (водо-водяні) атомні реактори мають внутрішній тиск від 157 до 200 атмосфер. І варто лише пошкодити те місце в кришці реактора, через яке стержні керування під'єднуються до систем сервоприводів, будь-яким чином — гранатою, літаком — сержні-поглиначі миттєво, наче корки, вилетять у верхнє положення. І реактор стане атомною бомбою».

Життя підтвердило слова цих учених. Змальована ними гіпотетична аварія ледь не трапилася в штаті Огайо, на американській АЕС «Девіс-Бесс». Там у лютому 2002 року, позапланово, через інтенсивне забивання фільтрів бором із незрозумілого джерела було зупинено на ремонт перший енергоблок. Під час огляду реактора в його кришці виявили «істотний знос основного матеріалу в зоні, що прилягає до патрубків регулюючих стержнів». Насправді це була чималенька каверна на внутрішньому боці реакторної кришки завдовжки 18, завглибшки 15 і завширшки 13 см. Пізніше з'ясувалося, що пошкодження ме-

талу сталося внаслідок корозії від впливу борної кислоти, яка надходила з системи аварійного охолодження активної зони. Комісія з ядерного регулювання США (NRC) у своєму звіті зазначила, що «накладка з нержавіючого металу (завтовшки 9 мм) у зоні пошкодженого патрубку залишалася єдиною перешкодою для викиду з нього води». [8]

36 РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ

Радіоактивні відходи (РАВ) – це відходи, які містять радіоактивні ізотопи хімічних елементів, але не мають практичної цінності і їх подальше використання не передбачається. РАВ утворюються не лише в ядерній енергогалазі, а також в медичній та в різних видах промисловості. Проте основними виробниками РАВ є атомні станції.

В Україні вони продукують 95% РАВ від їх загального утворення.

Джерелами утворення РАВ на атомних електростанціях є:

- відходи, що утворюються після проведення ремонтів або заміни обладнання, проведення різних випробовувань;
- продукти нейтронної активації, що утворюються поза тепловиділяючими елементами;
- продукти поділу, що попадають з тепловиділяючих елементів в теплоносії, певна частина яких періодично або безперервно виводиться з реактора;
- протікання теплоносія основного контуру реакторної установки внаслідок виникнення дефектів у трубопроводах;
- газоподібні та радіоактивні аерозольні викиди, пов'язані з випаровуванням теплоносія внаслідок порушення цілісності оболонок, газоподібні продукти поділу через мікротріщини просочуються в теплоносії, воду першого контуру, кладку реактора (особливо в випадках руйнування тепловиділяючих елементів);
- відходи після очистки води в різних технологічних системах реакторів;
- обладнання, матеріали, використані фільтри, радіоактивно забруднене сміття, спец одяг та ін.

Значна кількість відходів виникла і виникатиме в процесі зняття ядерних установок з експлуатації. Іншим джерелом радіоактивних відходів є підприємства з видобутку та переробки уранової руди. Діяльність виробництв з видобування і переробки уранових та торієвих руд призводить до утворення великих кількостей низько активних шахтних вод і твердих залишків (збалансовані руди). Подібні тверді відходи, активність яких в 10 разів перевищує природний радіаційний фон, зберігаються в спеціальних відкритих “хвостосховищах”. (Див. питання 23 та 25).

Залежно від радіоактивності РАВ поділяються на: низько радіоактивні, середньо радіоактивні та високоактивні.

Низько радіоактивні відходи містять невелику кількість короткоживучих ізотопів. Цей тип відходів не потребує ізоляції, чи спеціального поводження. Як правило, його перевозять без додаткових застережень проте можуть використовувати спеціальні сховища для захоронення. Для зменшення обсягів ці відходи можуть пресувати або спалювати. За різними оцінками в середньому вартість захоронення 1 м³ низько радіоактивних відходів складає від 2 до 6 тисяч доларів США. [1]

До середньо радіоактивних відходів відносяться, наприклад, металеві стінки тепловиділяючих елементів реактора, матеріали виведених АЕС з експлуатації і т.д. Такі відходи потребують спеціального транспортування та спеціального захоронення. Як правило, до середньо активних РАВ застосовують спеціальні методи зменшення їх об'ємів (часто із рідкої форми переводять у тверду, або спалюють у спеціальних печах). Далі тверду речовину змішують з цементом або бітумом. Потім захоронюють у спеціальних сховищах. За різними оцінками в середньому вартість захоронення 1 м³ середньо активних РАВ складає 10-70 тисяч доларів США.[1]

Високоактивні відходи утворюються під час роботи реактора. Ці відходи вкрай радіоактивні і мають високу температуру. За різними оцінками в середньому вартість захоронення 1 м³ високоактивних РАВ складає 0,4-1,4 млн. доларів США. [1] РАВ також поділяють на рідкі, тверді та газоподібні.

ЩО РОБИТИ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ 38

«Через півстоліття після початку ядерного виробництва енергії у світі досі не існує жодного санкціонованого та готового до експлуатації могильника для зберігання ядерних відходів. Це можна порівняти з атомним літаком, який вже злетів, а при цьому ніхто не подумав, як і куди він буде приземлятися» – сказав Г. Розенкранц. [22]

Перед захороненням РАВ необхідно перевести в таку форму, яка не буде реагувати з компонентами навколишнього середовища та між собою. Провід-

ною технологією в цьому напрямку є осклення (вітрифікація). Воно дозволяє максимально скоротити об'єм РАВ та отримати максимально стійкі продукти. Середньо та високоактивні РАВ, використовуючи певну технологічну схему, «розплавляють» та «змішують» зі склом та заключають у циліндр із легованої сталі. Під час охолодження отриманої маси вона перетворюється на вкрай міцне скло. Після повного охолодження циліндри вміщують до підземних сховищ. Другим способом іммобілізувати РАВ є використання матеріалів «сінрок» (synthetic rock) - синтетичних гірських порід. Основна ідея полягає у включенні катіонів довгоживучих радіонуклідів у кристалічну решітку сінрок. Він складається із суміші мінералів і є більш стійким утворенням ніж ті, які отримуються в процесі вітрифікації. Проте, висока вартість вихідних матеріалів та складність технологічної схеми значно обмежують використання даної технології. [9]

39 ЧАСТКОВО РЕАЛІЗОВАНІ ПРОЕКТИ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗАХОРОНЕННЯ РАВ

В Німеччині пошуки майданчику для такого захоронення тривають вже 30 років і поки що не досягли успіху. Ця країна планувала розпочати захоронення відходів в одному із соляних куполів у Горлебені (Нижня Саксонія). Проте, у 2000 році дослідження були зупинені із-за того, що деякі геологи вважають це місце непридатним для збереження таких небезпечних речовин як РАВ та доволі сильним супротивом місцевого населення. Також вважається, що вибір саме цього місця був швидше політичним, ніж вибором з огляду на безпеку та економічну доцільність. Зараз Німеччина планує відродити дослідження у цій сфері.

США має сховище РАВ в Юкка-Маунтін (Невада). Давно точаться суперечки про можливість використання даного сховища під довготривале захоронення РАВ. Вважається, що дана територія не підходить через ряд технічних проблем (вода, геологічна будова, вплив зовнішніх факторів на корозію металу). [13] Разом з тим, лише на обстеження та проектування сховища було витрачено біля 7 млрд доларів США. [15] Загалом на цей проект було витрачено 27 років та 13,5 млрд доларів США.

Введення в експлуатацію довготривалого сховища планувалося в 2010 році. Однак, в березні 2009 року міністр енергетики США закликав відмовитися від цього майданчику та створити нову робочу групу, яка буде працювати над пошуком альтернатив. Команда Б.Обами підтримала цей заклик та обмежила фінансування даного проекту. РАВ та ВЯП з АЕС США поки що буде зберігатися на майданчиках самих АЕС.

Фінляндія поблизу АЕС в Олкілуото.

Швеція в 2009 році обрала місце для захоронення відходів. Воно буде розташоване в скельних породах Форсмарка (біля міста Остхаммар, 200 км від Стокгольма). Побудова сховища розпочнеться у 2016 році. Буде побудована система тунелів на глибині біля 500 метрів. Будівництво має бути закінчено у 2022-2024 роках. На даний момент ряд вчених вимагає провести додаткову перевірку стійкості міді до корозії в умовах даного сховища.

Франція прийняла принципове рішення про захоронення високо та середньо активних РАВ у геологічних формаціях з можливістю їх виїмки. Пошуки прийнятної місця, проектування та ліцензування мають бути завершені до 2015 року. У випадку дотримання цього строку, ввід в експлуатацію сховища має бути здійсненим до 2025 року. Існують плани по побудові міжнародного сховища РАВ та ВЯП в Красноярському краї (РФ). Хоча жодна інша країна світу не згодна ввозити на свою територію РАВ, тим більше для зберігання на тисячі років. Росія планує розмістити тут сховище для високо активних РАВ як для російських, так, можливо, і для РАВ інших країн. Остаточна така територія ще не обрана. Зараз проводиться геологічна оцінка двох можливих майданчиків. Пусковий комплекс розрахований на захоронення 10 тис м3 відходів. Обґрунтування необхідних інвестицій має бути завершено у 2011 році, формування технічного завдання – 1015 р, остаточне рішення про будівництво має бути прийнято у 2025 році. Побудувати сховище планують до 2035 року.

Поки що уряду Росії вдається ігнорувати протести громадян. Важко передбачити яким чином він планує врегулювати цю проблему.

СИТУАЦІЯ З РАВ В УКРАЇНІ 40

До 2009 року в Україні було накопичено (згідно Стратегії поводження з радіоактивними відходами в Україні, від 19.08.09).

Причому в дану таблицю не включені обсяги РАВ уранодобувної, уранопереробної промисловості та джерел іонізуючого випромінювання. (Див. питання 23, 25). Після чорнобильської катастрофи по кількості високоактивних та довгоживучих РАВ Україна займає третє місце в світі після США та Росії.

Місцезнаходження	Тверді РАВ (тис. м3)	% загального обсягу твердих РАВ	Рідкі РАВ(тис. м ³)	% загального обсягу рідких РАВ
АЕС	33,17	1,2	18,57	44,2
Об'єкт «Укриття»	600	22	2,5	6
Зона відчуження	1913	70,2	-	-
Пункти захоронення відходів дезактивації	171	6,3	-	-
Чорнобильська АЕС	2,5	0,1	20	47,6
Сховища спецкомбінатів	5	0,2	0,62	1,5
Дослідницькі ядерні реактори	-	-	0,37	0,9

41 ПЕРЕРОБКА ТА ЗБЕРІГАННЯ РАВ В УКРАЇНІ

Кількість сховищ і могиликів радіоактивних відходів в Україні досить велика. На даний час радіоактивні відходи різного рівня радіоактивності зберігаються в сховищах і спорудах:

- на кожній атомній електростанції;
- пунктах захоронення радіоактивних відходів міжобласних спецкомбінатах об'єднання "Радон";
- пунктах захоронення і тимчасової локалізації радіоактивних відходів зони відчуження Чорнобильської АЕС;
- науково-дослідних центрах Київського інституту ядерних досліджень, Севастопольському інституті ядерної енергетики і промисловості, Національному науковому центрі "Харківський фізико-технічний інститут" і ін.;
- ВАТ "Ізотоп";
- у виробників відходів, у випадку зберігання відходів до передачі їх для захоронення;

- а також в об'єкті “Укриття”.

Велике занепокоєння всього світу викликає ситуація з РАВ, що розміщені у 30-км зоні відчуження Чорнобильської АЕС.

Загальний обсяг РАВ (без об'єкта Укриття), що у Зоні відчуження становить 2,8 млн. м³, з них понад 2,0 млн. м³ РАВ із загальною активністю близько $7 \cdot 10^{+15}$ Бк. [23]

В подальшому всі ці відходи мають бути захороненні на довготривалі зберігання. На даний момент в світі не існує сховища остаточного глибинного захоронення РАВ.

Дуалізм поводження з РАВ та ВЯП полягає в тому, що при їх захороненні необхідно з одного боку вберегти навколишнє середовище та людину від радіаційного забруднення, з іншого вберегти РАВ від людини (терористична загроза, мішень під час бойових дій і т.д.). Враховуючи терміни зберігання (тисячі років) ніхто не може бути впевненим у дотриманні безпеки з т.з. людини – ми не можемо покластися на жодну систему безпеки жодного уряду, оскільки термін зберігання досить довгий. До того ж, унеможлиблюючи доступ людини до захоронених РАВ, ми створюємо додаткову перешкоду для майбутніх поколінь, які будуть змушені вживати якісь заходи щодо подальшого поводження із захороненим РАВ. З технічної точки зору, важко розробити такий штучний матеріал, який би гарантував повну ізоляцію РАВ на такий довгий термін. Тому варто шукати природний матеріал або природне середовище, яке б мало такі властивості.

Нормативи поводження з РАВ фактично всіх країн передбачають забезпечення безпеки їх захоронення як мінімум на 10 000 років (саме так – десять тисяч років). А подальшу їх долю мають вирішувати ті, хто буде жити в той час. Отже, через 10 000 років наші умовні нащадки мають вирішувати наші проблеми. Нашою проблемою стає те, що ми змушені якимось чином їх про це проінформувати. Враховуючи той факт, що писемність на Землі з'явилась 5000-6000 років тому і з того часу, м'яко кажучи, сильно змінилась, то хто може гарантувати, що через 10 000 років людина зрозуміє наші позначки «Не чіпати - радіація!»? Про це також не варто забувати.

ВІДПРАЦЬОВАНЕ ЯДЕРНЕ ПАЛИВО ТА ЙОГО ВІДМІННІСТЬ ВІД РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

42

Під час виробництва енергії у реакторі частка урану-235 зменшується, натомість утворюються ізотопи плутонію та інших трансуранових елементів, які

поглинають нейтрони. Їх кількість зростає, і настає момент, коли, захоплюючи нейтрони, вони зупиняють ланцюгову реакцію, і паливо необхідно замінити на нове. Середній термін опромінення палива в реакторі становить від 3 до 5 років. Паливо, яке підлягає вилученню із реактора, називають відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП). Причому ВЯП зберігає високорадіоактивність, оскільки 95-97% його об'єму складають ядерні матеріали.

Після видалення ВЯП із реактора, воно має високу радіоактивність та тепловиділення, а тому вивантажується у приреакторні басейни витримки. Тут воно зберігається 4-5 років. Далі, в залежності від того, якого підходу до поводження з ВЯП (див. питання 43), притримується країна, його перевозять або до заводу на переробку, або до сховища ВЯП. Щорічно у світі утворюється 10500 тонн ВЯП важкого металу відпрацьованого палива, з яких 7500 тонн відправляється на зберігання, а 3000 тонн на переробку. [7]

Речовини, які містяться у ВЯП, будуть залишатися радіоактивно небезпечними сотні та тисячі років. Незалежно від підходів до поводження із ВЯП, всі проблеми пов'язані з ним, перекладаються на майбутні покоління. І їм доведеться вирішувати весь широкий спектр проблем безпеки - від не потрапляння радіоактивних матеріалів до навколишнього середовища до захисту радіоактивних елементів від терористичних загроз.

Відмінність ВЯП від РАВ полягає в тому, що ВЯП є нібито цінним ресурсом. Теоретично з нього можна отримати нове паливо для реакторів на швидких нейтронах або плутоній, або ж інші важливі і цінні елементи. Проте, адекватної технології поки що не існує. (Див. питання 43 та 46). За прогнозами до 2050 року в світі буде накопичено 500 тисяч тонн ВЯП з активністю в 300 млрд Кюрі. [15] За останні чотири десятиліття вся ядерна промисловість виробила близько 62500 тонн відпрацьованого ядерного палива. [29]

43 ПІДХОДИ ДО ПОВОДЖЕННЯ ІЗ ВЯП

На сьогодні в світі немає єдиної думки щодо поводження з ВЯП, оскільки воно є високорадіоактивним і містить доволі багато залишкового урану та утвореного плутонію. Водночас ВЯП вкрай небезпечно та, можливо, цінне джерело ресурсів. Причому його цінність є доволі сумнівна. На даному етапі технічного розвитку людства існує три основних підходи до поводження з ВЯП:

1. Захоронення. Так відбувається у США, Фінляндії та Швеції. ВЯП захоронюють у глибоких геологічних формаціях, які перешкоджають надходженню продуктів радіоактивного розпаду до навколишнього середовища. При такому підході з 1 тони ВЯП в середньому утворюється 0,2 м³ середньоактивних радіоактивних відходів та 1,5 м³ високоактивних радіоактивних відходів. [7]

Усі держави, які використовують даний підхід, зіштовхнулися з непередбачуваними проблемами під час побудови чи використання даних сховищ. На сьогодні не існує в світі сховища розрахованого на зберігання ВЯП довше ніж 50 років.

2. *Відкладене рішення.* Своє рішення відклали: Аргентина, Данія, Іспанія, Канада, Литва, Німеччина, Норвегія, Південна Корея, Польща, Словаччина, Угорщина, Чехія, Хорватія.

Ідея цього рішення полягає у зберіганні ВЯП впродовж невизначеного часу, допоки розвиток новітніх технологій або з економічних причин переробка ВЯП не стане вигідною. Таким чином порушується принцип «стійкого розвитку» - відповідальність просто перекладається на майбутні покоління. Саме їм доведеться нести тягар фінансової та екологічної відповідальності за нас.

3. *Переробка ВЯП.* Здійснюється для отримання певних його компонентів або для отримання регенованого палива. (Палива з меншим вмістом урану, яке може бути використано у реакторах іншого типу, ніж той, з якого надійшло ВЯП).

Причому Великобританія, Індія, Росія, Франція та Японія здійснюють переробку палива на своїй території, а Австрія, Болгарія, Греція, Нідерланди та Швейцарія здійснюють переробку у інших країнах. Високорадіоактивні відходи, які залишаються після переробки ВЯП повертаються назад до країни. На 1 тону переробленого ВЯП утворюється 0,115 м³ середнорадіоактивних та 0.115 м³ високорадіоактивних відходів [7]. Тобто це той же підхід відкладеного рішення, тільки відходи стають ще більш небезпечними.

До того ж, навіть якби всі наявні зараз заводи з переробки ВЯП працювали б із повним завантаженням – вони все одно не змогли б переробити навіть 40% щорічно продукovanого ВЯП. [26]

ПОВОДЖЕННЯ З ВЯП В УКРАЇНІ 44

Україна у поводженні з ВЯП теоретично використовує одночасно два підходи – це відкладене рішення та переробка. На практиці, в основному, ми використовуємо схему «відкладеного рішення».

ВЯП Запорізької атомної електростанції зберігається на території станції у побудованому у 2001 році сухому сховищі відпрацьованого ядерного палива. ВЯП із Рівненської, Хмельницької та Південно-Української АЕС, після витримки його у приреакторних басейнах, відправляється до Російської Федерації. Причому ВЯП реакторів типу ВВЕР-440 (1 та 2 блоки РАЕС) відправляється на переробку на завод РТ-1 ФГУП «Маяк» (Челябінська обл., РФ) Після цієї переробки високорадіоактивні відходи повертаються в Україну, не пізніше

ніж через 20 років після прийняття ВЯП на переробку. Перший вантаж з високорадіоактивними відходами має повернутися до України в кінці 2010 році. ВЯП реакторів типу ВВЕР-1000 відправляється на переробку до РТ-2 ФГУП «КГХК» (Красноярський край, РФ). Згідно із домовленостями до України мають бути повернені цінні продукти переробки та високорадіоактивні відходи. Проте, на даний момент ВЯП просто зберігається, оскільки будівництво переробного комплексу відкладено на невизначений термін. Зараз тут триває побудова сухого сховища ВЯП. (Див. питання 45). На даний момент в Україні практично відсутня законодавча база, яка б вирішувала питання про те, що робити із ВЯП. Фактично більша частина ВЯП України перебуває на стадії технологічного зберігання. Україна завжди «мріяла» побудувати свої підприємства з переробки ВЯП. Ця мрія швидше за все так і залишиться мрією. За даними Гарвардського університету: переробка ВЯП для створення нового палива стає доцільною лише при ціні урану 360 доларів за кілограм. А нинішні ціни доходять лише до 100 доларів. До того ж рентабельність власної переробки ВЯП досягається при потужності виробництва не менше 1500 т на рік. Однак, Україна не продукує такої кількості ВЯП. [12]

45

ЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ СХОВИЩЕ ВІДПРАЦЬОВАНОГО ЯДЕРНОГО ПАЛИВА РЕАКТОРІВ ВВЕР АЕС УКРАЇНИ

В грудні 2005 НАЕК «Енергоатом» і «Holtec International» підписали контракт, який передбачає створення ЦСВЯП реакторів ВВЕР АЕС України. В технічному завданні стверджується, що на даному ЦСВЯП не передбачається зберігання ВЯП з АЕС іншого типу та з інших країн. «Енергоатом» за безумовний плюс даного розміщення вважає практично повну відсутність населення на запропонованій території.

Проектний строк зберігання становить 100 років.

Природоохоронці висувають ряд претензій до даного проекту:

- в разі виникнення непередбачуваних ситуацій на ЦСВЯП в зоні ризику можуть опинитися жителі Білорусі, Чернігівської та Київської областей;
- потенційно можливе забруднення Дніпра. Це вкрай важливо, оскільки Дніпро та його притоки є джерелом водопостачання для переважаючої кількості населених пунктів та підприємств України та Білорусі;
- порушення декількох законодавчих актів. Наприклад Указу Президента України від 13.08.2007 № 700/2007 «Про оголошення природної території загальнозоологічним заказником загальнодержавного значення “Чорнобильсь-

кий спеціальний”», яким забороняється розміщення на території заказчика будь-яких нових об’єктів;

- перевезення. Доставка ВЯП із АЕС України буде здійснюватись через територію густонаселених областей України;

- Будівництво ЦСВЯП в Чорнобильській зоні перекреслює всі плани та наміри щодо її відновлення. Вона остаточно стане непридатною для життя на тисячі років.

Поверхнєве зберігання ВЯП також викликає занепокоєння. Так, наприклад, в США після подій 11 вересня 2004 активно розробляється технологія приповерхнєвого заглибленого зберігання ВЯП. Справа в тім, що «бочки» з ВЯП є чітко помітною мішенню для можливих терористичних атак. Також проектом не розглядалися будь-які небезпеки, які можуть виникнути в результаті військових дій. Існує варіант більш прийнятнього збереження ВЯП – це спорудження сховищ ВЯП біля кожної з АЕС України, як це зроблено із Запорізькою АЕС. Це дозволить уникнути перевезень ВЯП і значно полегшить спостереження за ним з боку спеціалістів, що вже працюють на АЕС.

ПРОЕКТИ ДОВГОТРИВАЛИХ СХОВИЩ РАВ ТА ВЯП

46

Нагадуємо, що мова йде про захоронення відходів на тисячі років!

Проекти захоронення у морських глибинах. Пропонуються різні методи та технології. Від побудови підводних сховищ до захоронення під морським дном, під штучними чи природними островами. Занепокоєння викликає той факт, що у випадку аварії на такому полігоні поширення забруднення буде відбуватися значно швидше, ніж у випадку із захороненням у геологічних формаціях і його буде набагато важче виявити. Цілком ймовірно, що деякі країни з часом будуть звертати більшу увагу на цей шлях поводження з РАВ та ВЯП. До 1972 року деякі країни скидали РАВ у моря, проте після прийняття Міжнародної Конвенції про попередження забруднення моря відходами це стало неможливо. Термін дії Конвенції спливає в 2018 році.

Захоронення у вічній мерзлоті. Це російська концепція, яка в інших країнах не розглядається. В цьому проекті є дві основні невизначеності:

- невідомо достеменно, що мерзлота буде добрим ізолятором РАВ. Власливості міграції радіоактивних елементів у мерзлоті не досліджені достатнім чином;

- невідомо чи проіснує сама мерзлота достатньо довго (10 000 років), особливо в умовах змін клімату. [6]

Близьким за ідеєю захоронення РАВ у вічній мерзлоті є проект захоронення їх у льоді *Антарктиди*. Проблеми даних методів теж є подібними. В даному випадку при таненні льоду ще гостріше стає проблема можливого забруднення вод Світового океану. Не варто забувати про складність доставки РАВ до можливого місця захоронення. Також слід зазначити, що прийнятий у 1956 році Антарктичний договір забороняє скид радіоактивних відходів південніше 60-ої паралелі південної широти.

Космос. Існує цілий ряд ідей по відправці РАВ та ВЯП у Космос. На заваді їх розвитку стоять як технічні можливості людства, так і економічні чинники. До того ж у всіх цих проектах є значні недоліки. Наприклад, що станеться у випадку аварії ракети-носія чи при зіткненні капсули РАВ з іншим космічним об'єктом? До того ж вивіз накопиченого обсягу РАВ на навколосеземну орбіту потребує запуску десятків тисяч космічних кораблів.

«Повернення». Однією з ідей є змішування РАВ із пустою рудою та відходами збагачувальних комбінатів до рівня радіоактивності уранової руди будуть повернуті у ті місця, де її видобули. Даний проект практично не розглядається через складність його реального втілення.

Існує доволі довгий перелік подібних проектів, в тому числі вкрай нереальних та фантастичних.

47 ТРАНСПОРТУВАННЯ РАДІОАКТИВНИХ МАТЕРІАЛІВ



Транспортування ВЯП

В світі перевезення ВЯП здійснюється спеціальними суднами, залізничним та автомобільним транспортом. В червні 2009 року на територію РФ вперше ввезли ВЯП повітряним транспортом, з Румунії, хоча у світі його доволі активно використовують для таких цілей. Щоденно лише з аеропорту Хітроу (Лондон) відлітає до 30 літаків з вантажем радіоактивних речовин. [19] В Україні для таких цілей використовують автомобільний та залізничний транспорт.



Завантаження ВЯП

транспортуювання ядерних матеріалів є найбільш вразливим етапом ядерного циклу з точки зору безпеки. Тут спостерігається доволі висока вірогідність як звичайних аварій, так і терористичної загрози. Практично кожен етап транспортування ядерних матеріалів, який стає відомим громадськості, супроводжується масовими акціями протесту. В листопаді 2004 року у Франції навіть загинув один з протестувальників.

В Україні про перевезення подібних вантажів не повідомляється, а тому, у випадку надзвичайної ситуації, яка може трапитись під час транспортування, населення буде абсолютно беззахисним. Оскільки, навіть спеціалізовані служби порятунку не в змозі відреагувати миттєво. У випадку аварії за участю потягу із радіоактивними матеріалами зазнати радіаційного забруднення можуть і ті території, які не є прилеглими до підприємств ядерної галузі. Окрім, власне, небезпеки під час перевезення існує ще одна проблема – політична. Більшістю країн відпрацьоване ядерне паливо не вважається радіоактивними відходами, тому його пе-

Щорічно в Україні здійснюється біля 100 залізничних перевезень вантажів з радіоактивними матеріалами. У 2009 році 1 раз сталося сходження залізничного транспорту, що перевозив уранову руду. [5] Наприклад, у 2008 Держатомрегулюванням було надано 127 дозволів на здійснення лише міжнародних перевезень радіоактивних матеріалів територією України, а у 2009 – 88. [4], [5].

Найбільше занепокоєння викликає той факт, що ці перевезення здійснюються тими самими шляхами, якими проходять і пасажирські потяги. Загалом,



Вивантаження ВЯП

ревеження здійснюється як перевезення радіоактивних матеріалів. Водночас, в зв'язку із низьким відсотком переробки палива, ввезення ВЯП на територію держави, з точки зору деяких науковців та діячів, є ввезенням радіоактивних відходів. Із такою постановкою питання вже зіштовхнулася Росія. Активісти багатьох міжнародних організацій протестують проти як імпорту, так і експорту ВЯП. За даними різних опитувань біля 90% росіян виступають проти ввозу ВЯП на територію Росії. В українців факт транзиту ядерних матеріалів територією України також викликає занепокоєння. Так у 2009 році було здійснено 11 перевезень свіжого ядерного палива з Росії до Болгарії, Угорщини, Словаччини та відпрацьованого ядерного палива з Болгарії та Росії. [5]

Слід зазначити, що радіоактивні речовини використовуються не лише в ядерній галузі, а й у інших сферах нашого життя. Радіоактивні елементи застосовуються у медицині, науці (не лише ядерних дослідженнях), на різного роду виробництвах (спиртові заводи, шахти), в сільському господарстві та ін. Причому всі ці радіоактивні матеріали потребують перевезення з однієї точки в іншу.

Разом з тим, ядерна енергетика здійснює найбільшу кількість перевезень радіоактивних матеріалів. Оскільки кількість атомних станцій є набагато більшою, ніж підприємств із видобутку та збагачення ядерного палива і розташовані ці станції в різних країнах, виникає об'єктивна необхідність постійного перевезення ядерних вантажів. Більше того, одна і та сама речовина протягом ядерного паливного циклу може перевозитись декілька разів. Заходи із безпеки при перевезенні ядерних вантажів є однаковими незалежно від того, що саме перевозиться (чи це перевозиться ВЯП чи джерело іонізуючого випромінювання).

Перевезення вимагає спеціального пакування. Існує спеціально розроблена класифікація пакувальної тари для перевезення радіоактивних матеріалів. Вся вона передбачає різний рівень захисту від радіоактивного випромінювання як персоналу, так і навколишнього середовища.

48 СОБІВАРТІСТЬ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Це одне з найважливіших питань до ядерної енергетики. Досі не існує навіть приблизної відповіді на нього. На даний час українські атомні електростанції продають електрику в мережу по ціні, яка у кілька разів менша, ніж, наприклад, ціна електрики від вугільних електростанцій. Так трапляється через специфічну державну політику у цій галузі. Для розрахунку собівартості «атомної» електрики Національна комісія регулювання електроенергетики Ук-

раїни сумує наступні витрати: вартість ядерного палива, оплата праці, ремонти та деякі інші витрати. Але до витрат, пов'язаних з отриманням «атомної» електрики, в Україні не включаються будівництво атомних блоків, зняття їх з експлуатації, поводження з відпрацьованим ядерним паливом та радіоактивними відходами протягом тисяч років, рекультивацію уранових шахт та багато інших. Саме не включення всіх цих грандіозних витрат до собівартості атомної енергетики дозволяє говорити про так звану «дешевий атом».

Не врахування витрат аж ніяк не означає їх зникнення. Всі перераховані заходи необхідно буде фінансувати, але не з прибутків атомних електростанцій, а з грошей платників податків. Іншими словами, замість підвищення зарплат вчителям та лікарям, держава буде змушена оплачувати багатомільярдні заходи з експлуатації АЕС, поводження з ВЯП та РАВ. [8]

ЧИ МОЖЕ АТОМНА ПРОМИСЛОВІСТЬ ДІЙСНО ДОПОМОГТИ У ВИРІШЕННІ ПРОБЛЕМ ЗМІНИ КЛІМАТУ?

49

Останніми роками атомна промисловість наполягає на тому, що АЕС повинні бути частиною рішення проблеми змін клімату, оскільки ядерні реактори майже не виробляють таких викидів.

Втім, якщо проаналізувати повний паливний цикл (а не роботу окремої енергетичної установки), який включає в себе всі стадії видобутку викопного палива (сюди потрапляє в числі іншого і уран), його обробки, використання, утилізації відходів, виявиться, що «мирний атом» - не найвдаліший вибір. У повному паливному циклі використання атомної енергії призводить приблизно до такої ж кількості викидів, як у газовому циклі, істотно поступаючись вітроенергетиці і гідроенергетиці (OekoInstitute, 1997). Існує цілий ряд інших важливих аспектів розвитку атомної промисловості з точки зору змін клімату:

- Застосування ядерної енергії для зниження рівня викидів вимагатиме масштабного розвитку всіх елементів ядерно-паливного циклу (від гірської промисловості до захоронення відходів). Тут багато невизначеностей, особливо у відсутність безпечної технології поховання ядерних відходів.

- Фінансування ядерної енергетики з держбюджету означає відповідне недофінансування заходів з підвищення енергоефективності.

- Умови впровадження технологій відновлюваної енергетики та енергоефективності суперечать масштабному розвитку атомної енергетики. Якщо для першого варіанту потрібні гнучкість і децентралізація енергосистем,

можливість постачати енергію з інтервалами, то для другого - централізована структура енергосистеми, низька гнучкість і великі генеруючі потужності.

- АЕС уразливі перед зміною клімату. Великі повені можуть призвести до припинення роботи таких станцій на невизначених термін, особливо у випадках, коли станції знаходяться в береговій зоні. Танення багаторічної мерзлоти створює ще одну загрозу для атомних станцій, що функціонують у відповідних широтах. Наприклад, вже зараз російськими фахівцями прогноуються серйозні проблеми у випадку з Білібінською АЕС на Чукотці.

- Якщо в майбутньому відбудуться одна або кілька великих аварій на АЕС, це призведе до відмови від подальшого розвитку «мирного атома». У випадку, якщо при скороченні викидів робиться ставка на цю технологію, для боротьби зі зміною клімату такий поворот буде катастрофою. [20]

50 **ВИРОГІДНІСТЬ ПОШИРЕННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ**

Коли порушується питання будь-якого використання урану, відразу ж постає питання ядерної зброї. Особливо гостро постає це питання в зв'язку з високорадіоактивними відходами з ядерних реакторів, оскільки вони можуть містити плутоній. Ми відкинемо етичну складову цього питання і розглянемо лише, так би мовити, економічно-технологічну складову. Високоактивні РАВ можуть містити два ізотопи плутонію. Один із них – плутоній 239 – підходить для створення ядерної зброї, інший – плутоній 240 – не використовується і навіть «заважає», цьому використанню, оскільки є дуже радіоактивним.

Розділення цих двох ізотопів є доволі важким процесом.

Проте, у випадку з РАВ апелюють до того, що в процесі його зберігання частина продуктів поділу розпадеться і стануть безпечними, розпадеться також і плутоній 240. А отже, ці РАВ стане значно простіше використовувати для створення ядерної зброї.

Проте, варто нагадати, що період напіврозпаду плутонію 240 становить 6560 років. Це перекреслює всю ідею використання РАВ як легкодоступного джерела плутонію 239. З іншого боку, саме існування РАВ дає можливість задуматися про його переробку та використання, наприклад, у швидкісних ядерних реакторах. А отже, існуючі підприємства із регенерації ядерного палива самим своїм існуванням створюють можливість використання плутонію для виробництва ядерної зброї.

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СВІТІ, В УКРАЇНІ 51

В 1973 році МАГАТЕ прогнозувало будівництво від 160 до 200 АЕС у 80-х роках у країнах третього світу. Насправді їх було споруджено лише 5. В 1974 році МАГАТЕ прогнозувало, що до 2000 року АЕС буде виробляти 4,450 ГВт, насправді було продуковано менше ніж 1/10 цієї кількості. В 1977 році на X конгресі Світової енергетичної конференції було прогнозовано, що до 2020 року доля атомної електроенергії в світі буде становити 60 – 65%, насправді у 2000 році вона становила 16%. [27] Підсумовуючи ці дані, можна заявити, що в найближчому майбутньому доля атомної електроенергії в світі буде скорочуватись. Досить швидко зростає кількість АЕС, які виходять з експлуатації, в зв'язку з вичерпанням їх ресурсу або в результаті політичних рішень. Навіть при найоптимістичнішому для атомників варіанті розвитку, технічно та економічно неможливо побудувати таку кількість АЕС, яка могла б замінити ті, що закриваються.

УМОВИ ПОДАЛЬШОГО РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ 52

Умова 1. Атомники повинні не на словах, а на ділі запропонувати дійсно безпечні реактори (поки що таких насправді не існує).

Умова 2. Повинна бути вирішена проблема забруднення біосфери та людства від неминуче виникаючих в атомних реакторах радіонуклідах тобто повинна бути вирішена проблема радіоактивних відходів.

Умова 3. Необхідно насправді розірвати небезпечний для всього світу зв'язок між атомною енергією та атомною зброєю.

Умова 4. Атомна енергетика повинна стати економічно вигідною. [27]

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. АЗОЯН М. Радиоактивные отходы: зоны риска и варианты решения проблемы. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.radon.net.ua/node/44>. – Назва з екрану.
2. Гурський Д., Чорнокур І., Металіди В. Про економічну доцільність залучення інвестицій в розвідку та освоєння уранових родовищ України. [Електронний ресурс] // ГК «Укргеопроект». Режим доступу: <http://www.geoproject.com.ua/publ010.html>. – Назва з екрану.
3. Державна цільова економічна програма «Ядерне паливо України», затверджена Кабінетом міністрів України від 23 вересня 2009 року, №1004.
4. Державний комітет ядерного регулювання України. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2008 році.
5. Державний комітет ядерного регулювання України. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2009 році.
6. Дублянський Ю. В. Захоронение радиоактивных отходов: проблемы и концепции в США и в России. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://modernproblems.org.ru/ecology/radioact>. – Назва з екрану.
7. Інформаційно-аналітичний огляд матеріалів техніко-економічного обґрунтування інвестицій централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива реакторів ВВЕР АЕС України. – К.: Міністерство палива та енергетики України. – 2007
8. Карпан М. Атомна енергетика не готова відкрито обговорювати свої проблеми [Електронний ресурс] // Зеркало недели. – 2006. – № 20 (599). Режим доступу до жур.: <http://www.dt.ua/3000/3100/53447/>. – Назва з екрану.

9. Кошарная О. Куда захороним отработанное ядерное топливо [Электронный ресурс] // Зеркало недели. – 2005. – № 49 (577). Режим доступа до жур.: <http://www.zn.ua/3000/3320/52073/>. – Назва з екрану.

10. Кройш Й. Ядерний паливний цикл//Ядерна енергія: міф і реальність. Тематичні дослідження з ядерної енергетики. Редактор Фелікс Маттес, перше видання – 2006 рік. Фонд Генріха Бьолля.

11. ЛАЗУКА Л. Ташлицька ГАЕС: будова на два століття, або Гроші, поховані під водою.

12. ЛУКИНА Л., УСАТЕНКО П. В недрах зони отчуждения. [Электронный ресурс] // Зеркало недели. – 2006. – № 6 (585). Режим доступа до жур.: <http://www.zn.ua/3000/3320/52611/>. – Назва з екрану.

13. Макхиджани А. Институт исследований энергетики и окружающей среды (IEER). [Электронный ресурс] // Энергетика и безопасность. – №29. Режим доступа до жур.: <http://www.ieer.org/ensec/no-29/no29russ/yuccabox.html>. – Назва з екрану.

14. Мала гірнича енциклопедія. В 3-х т. / За ред. В. С. Білецького. — Донецьк: «Донбас». – 2004.

15. Меньшиков В. Ф. Атомная энергетика сегодня. [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.rus-stat.ru/stat/80Russia_2004-4_81-127.pdf. – Назва з екрану.

16. Моисеев Р.С. Захоронение радиоактивных отходов в геологических структурах на Дальнем Востоке: проблемы оценки. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://web.ru/db/msg.html?mid=1160474&uri=part2-3.htm>. – Назва з екрану.

17. На Южно-Украинской АЭС завершилась итоговая инспекция американских топливных кассет [Электронный ресурс] // AtomNews – Аген-

стово атомных новостей. – Режим доступа : <http://www.atomnews.info/?T=0&MID=5&Id=42&NID=1244> (16.03.2010). – Назва з екрану.

18. Овдин В. Программа принята. Забудьте. [Электронный ресурс] // Зеркало недели. – 2000 – № 20 (293). Режим доступа до жур.: <http://www.zn.ua/3000/3100/27121/>. – Назва з екрану.

19. Отработанное ядерное топливо впервые ввезли в Россию воздушным путем. [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://eco.rian.ru/business/20090630/175882166.html>. – Назва з екрану.

20. Сливяк В. Нужна ли атомная энергетика в борьбе с изменением климата? [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.bellona.ru/weblog/1220024162.77>. – Назва з екрану.

21. Розенкранц Г. Атомна енергія, міф і реальність//Ядерна енергія: міф і реальність. Тематичні дослідження з ядерної енергетики. Редактор Фелікс Маттес,перше видання – 2006 рік. Фонд Генріха Бьолля.

22. Розенкранц Г. Небезпеки та перспективи атомної енергії//Ядерна енергія: міф і реальність. Тематичні дослідження з ядерної енергетики. Редактор Фелікс Маттес,перше видання – 2006 рік. Фонд Генріха Бьолля.

23. Уряд не здатний забезпечити радіаційну безпеку у Дніпропетровській області [Електронний ресурс] // ДГЕО «Голос природи». – Режим доступа : <http://voice.dp.ua/ua/article/podiyi/96.htm> (26.08.2009). – Назва з екрану.

24. Фроггат Е. Небезпека ядерних реакторів//Ядерна енергія: міф і реальність. Тематичні дослідження з ядерної енергетики. Редактор Фелікс Маттес,перше видання – 2006 рік. Фонд Генріха Бьолля.

25. Центр Разумкова. Диверсифікація постачання ядерного палива на українські АЕС. // Національна безпека і оборона. – 2009 – №6. (та мал. на стр. 14)

26. Яблоков А.В. Миф об экологической чистоте атомной энергетики. – Москва: Учебно-методический коллектор «Психология». – 2001.

27. Яблоков А.В. Миф о необходимости строительства атомных электростанций – Москва: Центр экологической политики России. – 2000.

28. Ядерная энергетика: от заката до... рассвета? . [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.technicamolodezhi.ru/rubriki_tm/202/1771. – Назва з екрану.

29. Nuclear Energy Institute [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.nei.org/resourcesandstats/nuclear_statistics/nuclearwasteamountsandonsitestorage/. – Назва з екрану.

30. 100 вопросов и ответов по атомной энергетике. Доступно о сложном/ ОАО «ТВЭЛ» та ДП НАЕК «Енергоатом».

31. В питаннях 1-10 використані матеріали: «Чорнобильська катастрофа. Настільна книга для медичних працівників.» Брошура видана Чорнобильською програмою відродження та розвитку Програми розвитку ООН в Україні.

ВИКОРИСТАНІ МАТЕРІАЛИ

1. Державний комітет ядерного регулювання України: www.snrc.gov.ua

2. Дніпродзержинська громадська екологічна організація «Голос Природи»: www.voice.dp.ua

3. ДП НАЕК «Енергоатом»: www.energoatom.kiev.ua

4. Статті Кошарної Ольги у виданнях «Дзеркало тижня» за період з 2005 року.

5. Національний екологічний центр України: www.nescu.org.ua
6. Робоча група екологічних організацій з питань зміни клімату: www.climategroup.org.ua
7. Яблоков А.В. “Миф о безопасности малых доз радиации”, Москва, 2002, Центр экологической политики России.
8. Экологическое объединение «Беллона»: www.bellona.ru
9. Nuclear Energy Institute: www.nei.org
10. 55 вопросов и ответов, касающихся Чернобыльской атомной электростанции. Издатель: Швейцарское управление по развитию и сотрудничеству (ШУРС), 2006

ІЛЮСТРАЦІЇ

1. http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/85/Uranium_ore_square.jpg
2. <http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/89/Yellowcake.jpg>
3. http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/67/CANDU_reactor_schematic.png
4. <http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/87/Wwer-1000-scheme.png>
5. http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/82/RBMK_ru.png
6. http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/82/Rbmk_fuel_rods_holder.png
7. http://dic.academic.ru/pictures/wiki/files/82/Rbmk_fuel_rod.png
8. <http://www.chornobyl.in.ua/img/pond/v3.jpg>



Міська молодіжна громадська організація, зареєстрована 30 січня 1998 року.

Метою Еко клубу є захист довкілля.

Основними завданнями організації є:

- підвищення обізнаності громадськості у галузі енергозбереження та використання альтернативних джерел енергії;
- підвищення ролі громадськості у процесі прийняття екологічно важливих рішень;
- проведення практичних природоохоронних акцій.

На базі ММГО “Еко клуб” діє Енергетичний дорадчий центр

У разі виникнення запитань Ви можете звернутися до Енергетичного дорадчого центру!

Енергетичний дорадчий центр надає безкоштовні консультації стосовно:

- прав та обов’язків громадян у житлово-комунальному секторі;
- енергозбереження у побуті;
- впровадження альтернативних джерел енергії;
- використання екологічно безпечних та енергоефективних матеріалів та побутових приладів;
- законодавства у галузі житлово-комунальних послуг.

Телефон: 8 0362 23 70 24 (з 10.00 до 18.00, вихідні – субота, неділя)

Адреса Центру:

ММГО «Еко клуб»

вул. Відінська 39, каб. 310,

Рівне, Україна

Поштова адреса:

а/с 73, 33023

Рівне, Україна

Адреса сайту: **www.ecoclubrivne.org**

Електронна адреса: **office@ecoclubrivne.org**.

Видано та
підготовлено за
фінансового сприяння
Global Greengrants
Fund:
www.greengrants.org



Діяльність Екоклубу
підтримується Фондом
ім. Гайнріха Бьоля.
Представництво Фонду
в Україні:
www.boell.org.ua

HEINRICH BÖLL STIFTUNG
КИЇВ

Екоклуб є членом
мережі NIRS/WISE:
Information and Resource
Service) - Інформаційний
центр з ядерної
енергетики: www.nirs.org



WISE(World Information
Service on Energy) -
Всесвітня інформаційна
служба з енергетики:
www10.antenna.nl/wise/

wise

Екоклуб входить до
мережі INFORCE
(International network for
sustainable energy) -
Міжнародна мережа зі
стійкої енергетики:
www.inforce.org/europe/

INFORCE
International Network for Sustainable Energy

Екоклуб є членом Робочої
групи неурядових
організацій з питань змін
клімату:
www.climategroup.org.ua

