

ГЛОБАЛЬНІ ТА РЕГІОНАЛЬНІ ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

УДК 94:504+621.039.1

DOI: 10.31471/2415-3184-2022-2(26)-7-14

*І. Б. Кордуба**Київський національний університет
будівництва і архітектури*

ЯДЕРНО-ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА СВІТОВОЇ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ НА ЕТАПІ ЧЕТВЕРТОГО ГЛОБАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ

Для світової ядерної енергетики нинішній глобальний енергетичний перехід став найважчим випробувальним етапом за всю її історію. Його причиною стали сучасні демографічні процеси. Починаючи з 2011 р., в світовій ядерній енергетиці продовжуються проектні терміни експлуатації старих ядерних енергетичних блоків (ЯЕРБ), модернізуються старі та будуються нові ЯЕРБ. Але проблеми технологічної, експлуатаційної та ядерно-екологічної безпеки сучасного розвитку світової ядерної енергетики залишаються багато в чому не вивченими. Тому в роботі виконано аналіз стану та перспектив забезпечення ядерно-екологічної безпеки світового ядерного енергетичного комплексу (ЯЕК), виходячи з особливостей його еволюції в нинішню епоху четвертого глобального енергетичного переходу. Найбільшу загрозу для майбутнього існування світового ЯЕК несуть людський фактор та запроектовані ядерні аварії і катастрофи, які завжди були наслідком непередбачених проектами вкрай малоімовірних комбінацій вихідних аварійних подій. Для ліквідації наслідків цих аварій персонал не мав відповідної підготовки та обладнання. В наступні 20-30 років вклад ядерної енергетики в загальну світову електрогенерацію, більше як 10%, зможуть зберегти тільки Північна Америка, Європа, країни колишнього СРСР та розвинені країни Азії, але при можливому зменшенні цього показника до 6-4%. Світова ядерна енергетика продовжує існувати і розвиватися при наявності чималого списку невирішених проблем її ядерно-екологічної безпеки разом з відсутністю технологічно гарантованих надійних і безпечних ядерних енергетичних технологій серед усього пулу існуючих та розроблюваних нових проектів, що залишаються невирішеними і на сьогодні, та в перспективі на десятиліття. МАГАТЕ та провідні експерти світу, виходячи з нинішньої ситуації, що склалася в світовій ядерній енергетиці, акцентують на необхідності створення її абсолютної ядерно-екологічної безпеки.

Ключові слова: глобальний енергетичний перехід, ядерний енергетичний реакторний блок, ядерно-екологічна безпека.

Постановка проблеми в загальному вигляді. За останні 150 років світова енергетика пройшла три етапи свого розвитку. Тривалість першого, другого і третього етапів становила 70, 50 і 30 років, відповідно. Протягом кожного етапу зростали ціни на паливо і уповільнювалися темпи зростання енергоспоживання в 4,8, 4,2 і 1,6 рази. А в кінці кожного етапу виникали кризи енергоспоживання. На сьогодні світова енергетика знаходиться на новому черговому, четвертому історичному перехідному етапі своєї еволюції. Стратегічною, довгостроковою метою нинішнього енергетичного переходу є відмова від спалювання вугілля та інших не відновлюваних енергетичних ресурсів. За прогнозами нинішній енергетичний перехід повинен закінчитися стабілізацією, або відносно незначним помірним зростанням світового енергоспоживання. Новим небезпечним потужним фактором глобального впливу на світову енергетику стала російська агресія і війна проти України, що стала потужним тригером трансформації світових економік, ринків викопних енергоресурсів та критичної нестабільності регіональної і глобальної енергобезпеки. На думку міністра оборони США Л. Остіна, російське вторгнення в Україну може спонукати автократів по всьому світу до гонки в розробках ядерної зброї, що потенційно може призвести до небезпечної ери ядерного розповсюдження. Вони цілком можуть прийти до висновку, що отримання ядерної зброї дасть їм власні індульгенції для агресії. І це може розкрутити небезпечну спіраль ядерного розповсюдження [1].

Для світової ядерної енергетики нинішній енергетичний перехід став найважчим випробувальним етапом за всю її, майже 80-и річну історію. Цей етап збігся з необхідністю масового закриття та виведення з експлуатації ядерних енергетичних реакторних блоків (ЯЕРБ) у яких закінчився проектний термін експлуатації, масового продовження проектних ресурсів та модернізація старих, а також будівництво нових ЯЕРБ.

Однак багато складних питань технологічної, експлуатаційної та ядерно-екологічної безпеки сучасної світової ядерної енергетики все ще залишаються не достатньо вивченими.

Мета та завдання роботи. Метою роботи є проведення аналізу стану та перспектив забезпечення ядерно-екологічної безпеки світової та української ядерної енергетики на етапі четвертого глобального енергетичного переходу.

Викладення основного матеріалу. Головні рушійні фактори та особливості четвертого глобального енергетичного переходу. В основі сучасних глобальних демографічних процесів знаходиться падіння народжуваності та смертності від високих до низьких рівнів. В Європі демографічний перелом відбувся в 1970-х роках і розвинених країнах демографічні трансформації вже завершилися, але в інших країнах вони можуть тривати до 2040-2050 рр., і повинні закінчитися падінням природного світового приросту чисельності населення Землі приблизно удвічі.

Трансформація демографічного портрета нашої планети, скоріше за все, буде вимагати швидкого енергетичного та ресурсного наповнення заново густонаселених регіонів планети з енергодефіцитом при надлишку енергії в демографічно збіднених регіонах планети. Разом з демографічним зростанням локальної регіональної енергетичної напруженості в них виникнуть і нові негативні екологічні проблеми. Проте безумовне домінування в паливній корзині залишиться за вуглеводами. Їх доля у 2040-2050 роках складе близько 50% - це приблизно як і в 2010 році, (53,6%). При цьому очевидно, що в наступному десятилітті у світі будуть продовжуватися спроби зменшити залежність енергетики від викопного палива. А це означає, що забруднення атмосфери підприємствами енергетики, яке на сьогодні складає 70-80%, можна буде знизити лише застосуванням нових удосконалених фільтрових та інших очищувальних систем, що призведе до подорожчання електричної та теплової енергії.

Способи відмови від вугілля можуть бути різними, але вони залежатимуть від зеленої політики реального глобального енергетичного переходу. А поки що для створення нової енергетичної безпеки та її економіки використовуються економічні інструменти та технологічні переваги розвинених країн. У результаті нова зелена енергетична економіка для багатьох країн може стати недосяжною і особливо для держав з низьким рівнем доходу та великими запасами викопного палива. В наступні 2-3 десятиліття рівень ядерної електрогенерації, більше як 10%, зможуть зберегти тільки Північна Америка, Європа, країни колишнього СРСР та розвинені країни Азії. Тому на етапі четвертого глобального енергетичного переходу перед ядерними енергетичними країнами з помітною часткою атомної енергії стоїть завдання замінити перш за все старі ЯЕРБ та АЕС, що вибувають з експлуатації. Середній вік реактора в США та ЄС у середині 2020 року вже перевищив 35-40 років.

За останні 20 років у Європі було введено в експлуатацію тільки один ЯЕРБ на АЕС «Олкїлуото» у Фінляндії який французька компанія EDF будувала 17 років. Сьогодні ця компанія продовжує будівництво ЯЕРБ «Фламанвіль-3» у Франції. Термін цього будівництва також може розтягнутися до 14 років, а загальна вартість обох блоків вже зросла до €30 млрд. З постійними затримками та судовими справами у США також будуються два енергоблоки на АЕС «Вогтль» за проектом компанії Westinghouse. Тому перспективні плани розвитку світової ядерної енергетики як в провідних, так і в інших країнах, носять певну декларативність своїх намірів в умовах несприятливих економічних, екологічних і соціальних проблем для їх реалізації. Для порівняння слід зазначити, що аналогічний вклад виробництва електроенергії з відновлювальних джерел на сьогодні становить 24,5%, тобто в середньому це вклад приблизно утричі перевищує обсяги глобального виробництва ядерної електроенергії при зростанні цього розриву.

Технологічні особливості сучасного оновлення світового парку ЯЕРБ. Продовження проектного ресурсу експлуатації ЯЕРБ. За даними бази даних PRIS на сьогодні у світі експлуатується 442 ЯЕРБ з загальною установленою потужністю приблизно в 392 000 МВт(е), що становить всього близько 50 Вт/людину. Ще 56 ядерних блоків знаходиться на стадії будівництва, 300 ЯЕРБ (68 % світового парку) перетнули свій 33-річний термін експлуатації, а 50 ЯЕРБ після Фукусімської катастрофи в Японії були зупинені.

Робота ядерних реакторів в подовженому режимі експлуатації призводить до додаткового старіння їх важливих елементів і, як наслідок, може збільшити ймовірність проектних і запроектованих аварій. При цьому механізми старіння реакторних матеріалів в умовах високих радіаційних, термічних та баричних навантажень вивчені недостатньо і їх важко прогнозувати. Однак, багато країн, в тому числі Україна, все ж таки продовжують встановлені проектом терміни експлуатації своїх ЯЕРБ.

МАГАТЕ прогнозує виведення з експлуатації безпрецедентної кількості ЯЕРБ. Очікується, що з 2014 по 2040 рр., буде закрито майже 200 ЯЕРБ. Отже тільки для збереження існуючих генеруючих потужностей щороку необхідно буде вводити в експлуатацію нових 10 гігаватних ЯЕРБ. Але в наступному десятилітті країни ОЕСР не мають намірів повністю компенсувати вибуваючі потужності новими ЯЕРБ. Тому виведення з експлуатації потужностей в країнах ОЕСР в 4 рази перевищить аналогічні виведення в країнах, що не входять до ОЕСР і які мають вже побудовані більш нові ЯЕРБ.

Для країн, що розвиваються, проблема проектного ресурсного виведення з експлуатації старих ЯЕРУ постане лише після 2050 року і тому ці країни зможуть збільшити свою долю у світовій ядерній електро- та теплогенерації до 49%. Майже три четверти цього збільшення забезпечать Індія та Китай.

В Україні останній ЯЕРБ з тих, що експлуатуються на сьогодні в понад проектному режимі, потрібно вивести в 2040 році, але більшість їх повинна бути виведена значно раніше.

Модернізація ЯЕРБ. Всі модернізації ЯЕРБ, що проводилися і проводяться сьогодні у світі, радикальних революційних принципових змін в конструкції реакторів, не внесли. Старі системи і елементи електромеханіки, електротехніки та приладового обладнання конструктори заміняють на нові покоління електронного та силового обладнання і апаратури [2]. Технологічна суть модернізації діючих у світі ЯЕРБ в основному здійснюється в напрямку збільшення тиску в реакторі, підвищення робочої температури і збільшення вигорання палива. Наслідком такої модернізації є прискорене старіння металу і певне, недостатньо вивчене, зниження надійності їхньої безпеки. Але стандарти ядерних підприємств не завжди враховують ці нові умови експлуатації.

Модернізація працюючих ЯЕРУ, як і тих, що проектується та будуються, з точки зору їх безпеки, збільшує їх складність, але не усуває так званий людський фактор. Системи протиаварійного захисту стають все складнішими і в них може спрацювати відомий закон складних технічних систем – закон збільшення частоти відмов, аварійних ситуацій і власне важких запроектованих аварій при збільшенні складності будь-якої технічної системи [3]. Мова тут йде про те, що ще в XIX столітті Карл Гаус установив, що ймовірність розподілу випадкових величин різної природи описуються однаковою математичною залежністю - а саме розподілом Гауса. Значення щільності ймовірності розподілу Гауса показують, що великі відхилення від середніх величин є рідкісним явищем і тому ними можна знехтувати. Наприклад, для нормально розподіленої випадкової величини справедливо, що не менше ніж з 99,7%-ною достовірністю значення такої випадкової величини лежать в діапазоні $[x + 3\sigma, x - 3\sigma]$, де x - математичне очікування випадкової величини, σ - середньоквадратичне відхилення.

Однак аналіз статистичних даних різних катастрофічних подій показує, що:

- великі катастрофи набагато частіші, ніж можна було очікувати, виходячи з розподілу Гауса;

- деякі характеристики природних катастроф і в т. ч. їхні наслідки, досить добре можна описати степеневим ймовірним розподілом, для якого, на відміну від розподілу Гауса, вже не можна знехтувати подіями, ймовірність яких лежить на краях степеневого розподілу, так звані розподіли з важкими хвостами;

- аварії на АЕС, АПЧ, в ракетній техніці, на авіаційних об'єктах показали, що мова йде не про випадково співпадіння технічних відмов, а про певну загальну властивість складних систем, яка починає проявлятися, якщо перевищено деякий критичний поріг складності.

На жаль в ядерній енергетиці відсутні показники покращення ядерно-екологічної безпеки в результаті модернізації сучасних ЯЕРУ та АЕС як і показники якості самої модернізації. При цьому будь-яка модернізація систем на об'єктах ядерної енергетики по своїй суті є для них своєрідним капітальним ремонтом. Проте, як відомо з тривалого практичного досвіду, якість таких ремонтів визначається показниками якості технічного післяремонтного/після модернізаційного обслуговування ЯЕРУ, часто вимагає кращого [4].

Типи ядерних реакторів в нових ЯЕРБ введених в експлуатацію та в тих, що будуються.

У 2007-2021 рр., за даними PRIS, було побудовано, здано в експлуатацію та знаходяться в процесі будівництва 148 нових ЯЕРБ з реакторами типу ВВЕР/PWR - 128 шт (86%), РНWR - 10 шт (6,7%), ВWR - 5 шт (3,4%), FBR - 4 шт (2,7%), НТGR - 1 шт (0,67%). Отже оновлення реакторного парку світової ядерної енергетики замість водо-водяних реакторів (ВВЕР) старих конструкцій, що належать до покоління II, відбувається за рахунок будівництва ЯЕРУ на базі тих же реакторів ВВЕР, але вже з оновленою периферією, що включає і пасивні системи аварійного охолодження, під назвою покоління III до яких належать і інноваційні реактори AP-1000 американської компанії Вестінгауз [5]. Саме на базі останніх планується розвиток української ядерної енергетики.

При цьому тренд реальної еволюції сучасної ядерної енергетики і її технологічне та ядерно-екологічне майбутнє закладається і визначається тривалістю повного життєвого циклу тих реакторів, які вводяться в експлуатацію сьогодні і будуть введені в наступні два десятиліття, тобто щонайменше на наступні 50-80 років, а можливо навіть на 100 років.

Країни відмовники. Після Фукусімської катастрофи більше 10-и країн відмовляються від ядерної енергетики та повністю чи частково згорнули свої ядерні енергетичні програми. На фоні антиядерних протестів, професіонали ядерники визнають технологічну та ядерно-екологічну недосконалість існуючого ядерного паливного циклу.

Ядерний терор та воєнне тимчасове захоплення Запорізької та Чорнобильської АЕС України посилили кризу системи Договору про нерозповсюдження ядерної зброї (ДНЯЗ), котра може зруйнуватися остаточно, змінивши тим самим нинішню ядерну карту світу. І ряд країн вже задумався про свою ядерну безпеку, яка почала руйнуватись з моменту російського порушення Будапештського меморандуму і повністю закінчилася з початком російської агресії проти України.

Тому, зважаючи на суверенне право кожної держави світу на власну ядерну енергетику, її подальше розширення неможливе без технологічного вирішення кризових ядерних ядерно-екологічних небезпек і в першу чергу ядерних катастроф, нерозповсюдження і кримінального заволодіння ядерними матеріалами для виготовлення зброї, і найголовніше - при гарантованому безпечному вирішенні будь-яких енергетичних національних цивілізаційних проблем.

Основи ядерно-екологічної безпеки нових ЯЕРБ. В результаті технологічних, екологічних, людських, економічних, соціально-демографічних, медичних, політичних та інших внутрішніх і зовнішніх впливів разом з невирішеними технологічними та організаційними проблемами що стосуються ядерно-екологічної безпеки ядерної енергетики та всього ядерного паливного циклу, в останні 10-15 років остаточно сформувалося розуміння того, що незаперечним, вирішальним і найголовнішим імперативним пріоритетом сучасної та майбутньої ядерної енергетики повинен бути екологічний фактор [2].

Проте в результаті добре відомих недоліків існуючих реакторних технологій ВВЕР радіоекологічний вплив будь-якого ЯЕРБ відбувається постійно і навіть за нормальних умов їх експлуатації за відсутності будь-яких аварій і катастроф [4]. Його зростання має глобальний характер. Радіаційний фон завжди вищий поблизу об'єктів ядерного військового промислового (ЯВПК) та ядерного енергетичного (ЯЕК) комплексів на яких використовуються радіоактивні речовини [6,7].

На фоні процесу пост фокусімського оновлення ядерної енергетики МАГАТЕ недавно надало свої висновки про те, що принципи безпеки визначаються системно недосконалими організаційними та інженерно-бар'єрними заходами і засобами. При цьому безпека ЯЕРБ. як основного фундаментального виробничого об'єкта в симбіозі ВПК і ЯЕК повинна гарантуватися фізичними законами, які здатні на 100% забезпечити безпеку роботи активних зон реакторів та на фізико-хімічному рівні виключити виробництво будь-яких небезпечних відходів та викидів і скидів в небезпечних кількостях в навколишнє середовище і тими ж фізичними законами виключити можливість будь-яких ядерно-екологічних аварій і катастроф в результаті людського фактору чи зовнішніх природних екстремальних впливів”.

На жаль “міф про безпеку”, який і сьогодні підтримується як єдине знаряддя самозахисту ядерних чиновників і який засліпив та підвів японських ядерників, залишається неподоланим у багатьох ядерних і неядерних державах [2]. Цей міф ядерне лобі поширює і на ЯЕРУ з реакторами покоління III та III+.

Найголовнішим уроком, який повинен лягти в основу максимально безпечної експлуатації усіх без виключення існуючих у світі ЯЕРУ - це створити таку протиаварійну систему яка повинна містити спеціальний блок заходів та засобів з врахуванням людського фактора з постійною її

готовністю до аварії і не допустити її переростання в важку аварію і катастрофу [2]. В продовження цієї думки відразу після Фукусімської катастрофи, на основі аналізу причин та уроків більш радніших катастроф на АЕС Три-Майл-Айленд в США та на Чорнобильській АЕС, у відомій заяві 16-и експертів з різних країн світу [8] для виключення всіх небезпечних проблем, пов'язаних з ядерно-екологічною безпекою на сучасних АЕС світу, було висловлено глибоке занепокоєння про майбутнє атомної енергетики у зв'язку з наслідками землетрусу та цунамі на японській АЕС "Фукусіма-Даїчі": - "Ми переконані, що тільки атомна енергетика, яка не становить загрози життю та добробуту населення та навколишнього середовища, є прийнятною для суспільства". На жаль, сьогодні ця Заява залишається недостатньо вивченою. Експерти з різних країн, які підписали Заяву про ядерну безпеку, тривалий час займалися науковими розробками, проектуванням, будівництвом, експлуатацією і регулюванням безпеки АЕС. По суті в їхньому експертному висновку, як і у висновках МАГАТЕ та в роботі [2] йдеться про необхідність створення абсолютної безпеки світової ядерної енергетики.

Уроки катастрофи на реакторі РБМК Чорнобильської АЕС висвітлювали серйозні недоліки проекту - нестабільність реактора, незадовільна конструкція стрижнів системи управління та захисту, незадовільні характеристики конфайнменту та низьку безпекову культуру персоналу.

Починаючи з аварії на АЕС Три-Майл-Айленд і до сьогодні у світі було зроблено надзвичайно багато корисного для максимального підвищення в напрямку багатостороннього комплексного удосконалення ядерно-екологічної світової ядерної енергетики. Але, попри це, всього через 25 років після катастрофи на ЧАЕС, сталася чергова ядерна катастрофа на АЕС Фукусіма-1. Виявилось, що при проектуванні АЕС "Фукусіма-Даїчі" [9], а потім при виборі місця для її промислового майданчика не була належним чином врахована комбінація вкрай мало ймовірних за своїми масштабами явищ - історично максимальний землетрус з історично максимальним цунамі, за якими прослідувала тривала втрата енергопостачання для всієї АЕС.

Фактично всі згадані вище, як і не згадані, ядерно-екологічні катастрофи були наслідком непередбачених у проектах комбінацій вихідних аварійних подій. До того ж для ліквідації наслідків цих аварій персонал не мав відповідної підготовки та обладнання.

Представлений в заяві увесь комплекс експертних пропозицій найдетальнішим чином дає уявлення про масштаби і обсяг робіт, які потрібно виконати для того, щоб традиційна ядерна енергетика реально по максимуму стала гарантовано безпечною на усіх її рівнях. Але очевидно, що повністю виконати увесь концептуально запропонований в заяві комплекс капітального оновлення ядерно-екологічної безпеки ядерної світової енергетики є вкрай не простою і важкою задачею навіть на світовому рівні. Саме розуміння цієї проблеми світовою громадськістю та на державних рівнях призвело до появи так званих країн-відмовників.

Аналізуючи всі перераховані експертами дії після кожної чергової ядерної катастрофи на АЕС та всі пропозиції на майбутнє, можна зробити висновок що всі реалізовані і нереалізовані поки що дії і пропозиції зводяться до: удосконалення шляхів запобігання прояви людського фактора на будь-якому рівні глобальної ядерної індустрії в планетарній системі "людина-АЕС"; до удосконалення і дотримання концепції захисту в глибину з метою ефективної протидії небезпечним наслідкам можливих нових ядерних аварій і катастроф; до нарощування та удосконалення системи управління на усіх рівнях світової ядерної енергетики.

При тому, що кожна ядерна держава може самостійно розв'язувати ядерно-екологічні проблеми на національному рівні, очевидно і те, що глобальна безпека світової ядерної енергетики не має національних кордонів. Тому є необхідність розробити та впровадити найефективніші заходи для подальшого зміцнення міжнародного режиму ядерної безпеки.

Проте поки що всі АЕС світу залишаються технологічно не захищеними від людського фактора, від метеоритних ударів, смерчів, землетрусів, цунамі, кліматичних змін і нарешті перед військовими захопленнями та терористичними атаками. Тому АЕС нових поколінь в майбутньому повинні забезпечувати безпеку, навіть якщо у персоналу не буде можливості вжити негайних дій у відповідь на аварійну ситуацію.

Безпека ядерної енергетики України в пост фукусімський період. Надзвичайно показовою для української ядерної енергетики стала Фукусімська катастрофа. 11 березня 2011 р., в Японії стався землетрус, хвиля 30-40 метрів затопила промисловий майданчик АЕС та призвела до довготривалого повного знеструмлення станції [10]. Всі подальші катастрофічні події, що виникали та розвивалися на ЯЕРБ станції виявили принципові недоліки проекту АЕС Fukushima-Daichi та технічну неможливість блокування переходу запроектованих аварій в стадію важкої

комплексної аварії/катастрофи; крім усього проявився людський фактор в недостатній підготовці та інструкційній забезпеченості персоналу саме з управління важкими аваріями з втратою тривалого електрозабезпечення у разі затоплення.

Результати аналізу головних причин та уроків Фукусімської катастрофи та стрес-тестів виявили на різних стадіях її розвитку недостатню захищеність проммайданчика станції та конструкцій ЯЕРБ від зовнішніх малоймовірних екстремальних впливів - землетрусів і цунамі. Отже, головним уроком Фукусімської ядерної катастрофи стало повне розуміння необхідності принципової зміни відношення до відносно малоймовірних екстремальних аварійних подій [12].

В Україні в травні 2011 року з боку ДІЯРУ та ГП НАЕК “Енергоатом” був прийнятий «План заходів з перевірки і підвищення безпеки АЕС, з урахуванням уроків ВА на Фукусіма-1, для уточнення і доповнення КзППБУ» в якому серед базових термінових заходів були стрес-тести для експрес оцінки поточного стану безпеки і обґрунтування додаткових до КзППБУ довгострокових заходів. В цих стрес-тестах були розглянуті питання, прямо пов’язані з подіями на АЕС Fukushima, а саме затоплення проммайданчиків при запроектованих землетрусах; втрата електрозабезпечення та управління важкими аваріями.

Результати стрес-тестів на АЕС України у 2012 році в цілому були узгоджені з групою незалежних експертів європейських регуляторів ядерної безпеки ENSREG. При цьому було відмічено, що роботам з аналізу важких аварій в Україні необхідний найвищий пріоритет. Таким чином було офіційно “легалізовано” для подальших досліджень комплекс методів оцінки та обґрунтування безпеки ядерних енергоблоків для відносно малоймовірних подій на АЕС України [11, 12]

На завершення роботи необхідно зазначити, що подальша технологічна еволюція світової ядерної енергетики повинна прогнозуватися з урахуванням можливих технологічних проривів в світовій ядерній енергетиці. Але поки що реалізуються тільки певні зусилля, направлені на підвищення ефективності діючих АЕС шляхом їх модернізації і удосконалення периферійних систем нових ЯЕРБ та АЕС.

Висновки. Сучасне оновлення глобальної ядерної енергетики, що викликане старінням світового парку ЯЕРБ та необхідністю в короткі терміни їх масового виведення з експлуатації здійснюється в умовах чергового четвертого глобального енергетичного перехідного етапу, сутність якого визначається демографічними процесами, успішним швидким розвитком відновлювальної енергетики, інноваційним розвитком та технологічним переоснащенням, в тому числі проривними технологіями, нафто-газової енергетики.

Світова ядерна енергетика продовжує існувати і розвиватися при наявності чималого списку не вирішених небезпечних проблем її ядерно-екологічної безпеки разом з відсутністю абсолютно надійних і безпечних ядерних енергетичних технологій серед усього пулу розроблених та розроблюваних нових проектів, модернізації старих ЯЕРБ та нових розробок, які залишаються не вирішеними як на сьогодні, так і в перспективі на десятиліття.

Криза, викликана четвертим глобальним енергетичним переходом, значно погіршила перспективи розвитку ядерної енергетики. А російська агресія та війна в Україні і її можливе поширення за межі України змушує переглянути стійкість світової ядерної енергетики в умовах “офіційного” ядерного катастрофічного тероризму.

Література

- 1 Б. С. Пристер, А. А. Ключников, В. М. Шестопалов, В. П. Кухарь Проблемі безопасности атомной энергетики . Уроки Чернобыля. – Монография, - Под редакцией академика НААН Украины Б. С. Пристер, - Чернобыль, - 2013, - 200с.
- 2 В. І. Борисенко. Про деякі закономірності наслідків аврій на АЕС. - Проблеми безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля, - 2012, - вип. 18, - с. 6-15.
- 3 Б.Г. Гордон. Идеология безопасности. - Труды НТЦ ЯРБ, - М., -2006, - 236с.
- 4 В.М. Ващенко, І.Б. Кордуба, О.Г. Жукова. Технологічні та експлуатаційні особливості реакторів АР-1000 покоління III+ та малих модульних реакторів МР-160, - Екологічна безпека та природокористування, - 2021, - № 4 (40), - с. 149 – 156.
- 5 А.З. Записочний, А.А. Чумак, Д.А. Базика та ін. Наукознавчий аналіз інформаційних потоків про малі дози іонізуючого випромінювання: причини недооцінки впливу на організм , безпека майбутнього – проблеми радіаційної медицини та радіобіології, - вип. 16, - с. 1-17.

6 V. Vashchenko, V. Skalozubov, O. Voloshkina, I. Korduba, and al. - Stipulating the radioecological impact of consequences of accidents at nuclear power facilities, - Ukrainian Journal of Ecology, - 11(10), - 2021,- с. 24-27.

7 Ніколи більше: найважливіша ціль ядерної безпеки. - Експертна група, - Інтернет ресурс, - опубліковано 05.04.2011.

8 Ключников А.А., Скалозубов В.И., Ващенко В.Н., та ін. - Комментарии к проекту основных требований безопасности атомных станций с учетом уроков аварии на АЭС Fukushima-Daiichi, - Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 22. – с. 51–55.

9 Ващенко В. М., Скалозубов В. І., Комаров Ю. О., Кордуба І. Б., Гриб В. Ю. Моделювання екологічно небезпечної аварії з тривалим знеструмленням на енергоустановках із ВВЕР ІЗ ВВЕР, - Колективна монографія: Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022»? - Опубліковано за результатами І-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Подолання екологічних ризиків та загроз для довкілля в умовах надзвичайних ситуацій – 2022, - с. 218-230.

10 Скалозубов В.И., Ващенко В.Н., Козлов И.Л., та ін.. - Гидродинамическая модель возможного затопления промплощадки Запорожской АЭС при экстремальных землетрясениях и ураганах, - Проблемы безопасности атомных электростанций и Чернобиля: наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 22. – С. 56–62.

11 Бондар О.І., Ващенко В.М., Азаров С.І., Лоза Є.А, Кордуба І.Б. та ін.- Чернобиль четверте десятиліття – монографія.

12 https://web.archive.org/web/20121027171200/http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf

I. Korduba

Kyiv National University of Construction and Architecture

NUCLEAR AND ENVIRONMENTAL SAFETY OF WORLD NUCLEAR ENERGY AT THE STAGE OF THE FOURTH GLOBAL ENERGY TRANSITION

For world nuclear energy, the current global energy transition has become the most difficult test stage in its entire history. It was caused by modern global demographic processes. Starting from 2011, in the global nuclear power industry, the design terms of operation of old nuclear power units (NPPs) are being extended, old NPPs are being modernized and new NPPs are being built. But the problems of technological, operational and nuclear-environmental safety of the modern development of world nuclear energy remain largely unexplored. Therefore, the work analyzes the state and prospects of ensuring the nuclear and environmental safety of the world nuclear power complex (NEC), based on the peculiarities of its evolution in the current era of the fourth global energy transition. The biggest threat to the future existence of the world's NPP is the human factor and beyond-design nuclear accidents and catastrophes, which have always been the result of extremely unlikely combinations of initial emergency events unforeseen by projects. To eliminate the consequences of these accidents, the personnel did not have the appropriate training and equipment. In the next 20-30 years, only North America, Europe, the countries of the former USSR and the developed countries of Asia will be able to maintain the contribution of nuclear energy to the total world electricity generation, more than 10%, but with a possible reduction of this indicator to 6-4%. Global nuclear energy continues to exist and develop in the presence of a considerable list of unresolved problems of its nuclear and environmental safety, together with the absence of technologically guaranteed reliable and safe nuclear energy technologies among the entire pool of existing and new projects under development, that remain unresolved both today and in the future for decades. The IAEA and the world's leading experts, based on the current situation in the world's nuclear energy, emphasize the need to create its absolute nuclear and environmental safety.

Key words: global energy transition, nuclear power reactor unit, nuclear environmental safety.

References

1 B. S. Pryster, A. A. Kliuchnykov, V. M. Shestopalov, V. P. Kukhar Problemy bezopasnosti atomnoi enerhetyky . Uroky Chernobylia. – Monohrafiya, - Pod redaktsyei akademika NAAN Ukrayny B. S. Pryster, - Chernobyl, - 2013, - 200s.

- 2 V. I. Borysenko. Pro deiaki zakonomirnosti naslidkiv avrii na AES. - Prblemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliia, - 2012, - vyp. 18, - s. 6-15.
- 3 B.H. Hordon. Ydeolohyia bezopasnosty. - Trudy NTTs YaRB, - M., -2006, - 236s.
- 4 V.M. Vashchenko, I.B. Korduba, O.H. Zhukova. Tekhnolohichni ta ekspluatatsiini osoblyvosti reaktoriv AR-1000 pokolinnia III+ ta malykh modulny reaktoriv MR-160, - Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannia, - 2021, - № 4 (40), - s. 149 – 156.
- 5 A.Z. Zapisochnyi, A.A. Chumak, D.A. Bazyka ta in. Naukozhnavchyi analiz informatsiinykh potokiv pro mali dozy ionizuiuchoho vyprominiuvannia: prychyny nedootsinky vplyvu na orhanizm , bezpeka maibutnoho lu – problemy radiatsiinoi medytsyny ta radiobiolohii, - vyp. 16, - s. 1-17.
- 6 V. Vashchenko, V. Skalozubov, O. Voloshkina, I. Korduba, and al. - Stipulating the radioecological impact of consequences of accidents at nuclear power facilities, - Ukrainian Journal of Ecology, - 11(10), - 2021,- s. 24-27.
- 7 Nikoly bilshe: naivazhlyvisha tsil yadernoi bezpeky. - Ekspertna hrupa, - Internet resurs, - opublikovano 05.04.2011.
- 8 Kliuchnykov A.A., Skalozubov V.Y., Vashchenko V.N., ta in. - Kommentaryy k proektu osnovnykh trebovaniy bezopasnosty atomnykh stantsiy s uchetom urokov avaryy na AЭС Fukushima-Daiichi, - Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliia: nauk.-tekhn. zb. – 2014. – Vyp. 22. – c. 51–55.
- 9 Vashchenko V. M., Skalozubov V. I., Komarov Yu. O., Korduba I. B., Hryb V. Yu. Modeliuvannia ekolohichno nebezpechnoi avarii z tryvalym znestrumlenniam na enerheoustanovkakh iz VVER IZ VVER, - Kolektyvna monohrafiia: Podolannia ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022»? - Opublikovano za rezultatamy I-oi Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Podolannia ekolohichnykh ryzykiv ta zahroz dlia dovkillia v umovakh nadzvychainykh sytuatsii – 2022, - s. 218-230.
- 10 Skalozubov V.Y., Vashchenko V.N., Kozlov Y.L., ta in.. - Hydrodynamycheskaia model vozmozhnogo zatopleniia promyshchadky Zaporozhskoi AЭС pry ekstremalnykh zemletriaseniakh y urahanakh, - Problemy bezpeky atomnykh elektrostantsii i Chornobyliia: nauk.-tekhn. zb. – 2014. – Vyp. 22. – S. 56–62.
- 11 Bondar O.I., Vashchenko V.M., Azarov S.I., Loza Ye.A, Korduba I.B. ta in.- Chornobyl chetverte desiatylittia – monohrafiia.
- 12 https://web.archive.org/web/20121027171200/http://erneuerbare-energien.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2011_bf.pdf

Надійшла до редакції 26 грудня 2022 р.