

Крім виправлення недоліків у самому об'єкті, необхідно також доробити механізми для перевантаження палива на залізничних станціях поблизу АЕС, з яких воно буде відправлятися в сховище. На сьогоднішній день, по даним Держатомрегулювання, вони не готові до роботи. Також Україна не має та не будує завод по виготовленню спецбетону та власне контейнерів HI-STORM.

Резюмуючи висловлення різних інспекторів по екологічній, ядерній і радіаційній безпеці України слід зазначити їхню думку, що Чорнобильська зона й ЦСВЯП - це чергова корупційна схема нового «зеленого» покоління, що є загрозою для екологічної, економічної й енергетичної безпеки України. Через кілька років ЦСВЯП може стати серйозною проблемою для нащадків.

Красніков Сергій Васильович, к.т.н., доцент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Давиденко Валерій Едуардович, студент,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ПЕСПЕРКТИВИ ЗЯПЦ ТА ЦСВЯТ ДЛЯ СВІТОВОЇ СПІЛЬНОТИ ТА УКРАЇНИ НА 2022

Наслідком розвитку атомної енергетики є не тільки здешевлення електричної енергії, але й нагромадження відпрацьованого ядерного палива (ВЯП). Тенденція розвитку виробництва приводить до все більшого збільшення АЕС (Франція, Китай, США, Японія, Росія, Чехія та ін.) і кількості ВЯП. Будуються все нові сховища. Сховища ВЯП повного циклу охолодження (мокрі) є більш трудомісткими й дорогими. Тому їх прийнято вважати застарілими й використовувати більш прості в проектуванні, побудові й експлуатації сухі сховища. Відповідно до радянських норм через підвищене тепловиділення збірки ВВЕР-1000 перші 10-15 років повинні перебувати у воді. Тільки після мокрої витримки ВЯП можна переміщати в сухий зал або відправляти на переробку. У радянському союзі будівництво сухих сховищ ВЯП не планувалося, їхнє створення розглядалося як недовговічне рішення екстрених і аварійних ситуацій. Схвалення такого будівництва було розпочато в Росії тільки в 2004 році (ХОТ-2 ГХК допущене до експлуатації в 2011, запущене в 2016). До цього часу сухі сховища ВЯП використовувалися в Європі, Америці (з 1944) і Україні (з 2001).

Першими в будівництві сухих сховищ ВЯП були США. Першим відомим ядерним об'єктом у світі був закінчений 26.09.1944 у південно-східній частині штату Вашингтон (Хенфорд, Hanford Site) ядерний реактор (1 з 9) по виробництву ядерного палива. Останній виробляючий плутоній реактор (реактор N) був зупинений у березні 1987. Перший завод по переробці палива (завод «Т») почав працювати в грудні 1944 р. Високоактивні відходи радіохімічного виробництва зберігалися в бетонних резервуарах, зсередини облицьованих вуглеродистою сталлю. Ці ємності були двох типів - з одношаровими й двошаровими оболонками. Ємності першого типу місткістю від 210 до 3800 м³ минулого уведені в лад в 1944-

1964 р. Усього було побудовано 149 таких ємностей. З 1970 по 1982 р. стали вводитися в експлуатацію більше сучасні ємності обсягом від 3800 до 4300 м³ з подвійною оболонкою. При цьому ємності призначені для зберігання вже дезактивованих ВЯП (а не «заряджених»). На їхню дезактивацію за 50 років у США пішло 30 млрд. доларів. При цьому стандарт на дезактивацію ВЯП у США мінявся кілька разів, причому по параметрах радіоактивності в кілька десятків разів. Тому поховані в США ВЯП по різних нормах є радіоактивними й низько активними. У зв'язку із швидким заповненням обладнаних сховищ контейнери з ВЯП стали поміщати просто в ґрунті. Дотепер нереалізований у Хенфорді проект – пере-поховання більше 15 тис. м³ трансуранових (радіоактивних) ВЯП, розміщених у траншеях на території заводу з 1970 по 1984 р. і накритих шаром ґрунту. В 1970 Комісія з атомної енергії США з метою заспокоєння громадськості збільшила припустимий рівень для норм залишкового потенціалу. Однак уже в 1973 р. вона ж прийняла майже зворотне рішення вважати трансурановими відходами матеріали, що містять питому активність трансуранових радіонуклідів вище 10 нКи/г (370 Бк/г). В 1984 класифікація трансуранових відходів знову змінилася: це відходи більші за 100 нКи/г (3700 Бк/г). У результаті частина відходів перейшла в розряд низькоактивних. Після 1988 р. трансуранові відходи вже офіційно дозволили зберігати просто в ґрунті. Основна кількість нових ВЯП Хенфорду було поміщено в 26200 бочок (208 л) і розміщено в 3-4 яруси в траншеях з асфальтованим ложем. З 1996 подальше поховання цих активних ВЯП завершилося лише пошуком ушкоджених бочок. У підсумку за 1996-2001 р. близько 1100 контейнерів було відремонтовано або замінено. Плани по перепохованню ВЯП кожні 5 років переглядаються, але реально на 2021 побудовані лише кокони над 8 з 9 реакторів. У Савана Рівер напрацьовано 36 тонн плутонію, що становить 1/3 від усього напрацьованого плутонію в США. 5 реакторів «зупинені» (останній у 1992), але коконів немає по 2021. По планованих витратах на реабілітацію Савана Рівер посідає друге місце після Хенфорда, які зараз оцінені в майбутні витрати 53 млрд. доларів. Роботи (витрачено 8 млрд. доларів) по створенню реакторів на результатах утилізації ВЯП АЕС у США згорнуті, тому перероблені ВЯП використовуються тільки військовими.



Рисунок – 1 Захоронення ВЯП в США

Слід зазначити, що із закінченням холодної війни країни північного альянсу (США, Великобританія, Німеччина та ін.) масово перейшли від капітального будівництва довгострокових об'єктів закритого типу сховищ із заліза й бетону до тимчасових і відкритих споруджень із ґрунту. Це торкнулося навіть військових об'єктів. Так стало розповсюджено створення споруджень із мішків з випадковим місцевим наповнювачем (ґрунт, пісок, камені, сніг). З 1980 британська фірма HESCO активно просувала ці технології. Із розвалом союзу в 1991 компанія Хеско офіційно запатентовала свої різні види ємностей (Concertainer) під маркою HESCO bastion. З 2000 офіційним постійним покупцем цієї продукції крім Великобританії стали армії США й ряду західних країн.

Французька програма виводу з експлуатації й реабілітації об'єктів ядерної спадщини стартувала в 2001 р. Почалася вона після граничного заповнення російських сховищ французькими ВЯП. Відповідальність у Франції за ВЯП покладена на Французьке національне агентство по обігу з радіоактивними відходами (ANDRA), що побудувало в 2018 переробний завод 2-го покоління зі сховищем і планує нове для активних ВЯП в Обе (1000000 м³) і Морвилі (650000 м³). У наш час на продуктах відпрацьованих ВЯП Франції виробляється до 10% атомної електроенергії. Відповідно до планів Стратегічного контракту від 2019 цей відсоток обираються збільшити аж до 30% в 2022. Наздогнати й перегнати Францію збирається Росія (друга черга ОДЦ ГХК 3 - го покоління й новий реактор 300 Мвт на швидких нейтронах проекту «Прорив» Євгенія Адамова), Індія й Китай.

У цілому Франція і ЄС дотримуються будівництва бункерного типу сховищ ВЯП, хоча в ряді країн використовуються також могильники на дні океанів або морів.



Рисунок 2 – Сухе сховище ВЯП АЕС «Дуковани» (Чехія)

Китай вступив у ядерну еру в 1970. Ґрунтуючись на радянських досягненнях була прийнята методика рідкого зберігання ВЯП. І тільки з 2003 приступили до створення сховищ сухого типу. На сьогодні в Китаї функціонує сховище сухого типу на заводі по переробці ВЯП у провінції Ганьсу (об'єкт 404 переробляє до 50 тонн у рік) і чотири будуються (новий завод "Jinta" і на АЕС "Tianwan", "Daya Bay", "Qinshan"). Площадки на зазначених АЕС плануються завершити в 2022. У Китаї

зараз існують два виготовлювачі палива із природного урану: China Jianzhong Nuclear Fuel Co., Ltd. (CJNF) в Yibin (провінція Сичуань) і China Northern Nuclear Fuel Co., Ltd. (CNNFC), в Baotou (Внутрішня Монголія); обидва є філіями CNNC. ВЯП є небезпечним продуктом використання атомної енергії, оскільки в ньому втримується до 98% загальної радіоактивності, зосередженої у всіх матеріалах ядерного паливного циклу. В 1 кг ВЯП АЕС у перший день після його вивантаження з реактора втримується від 26 до 180 тис. Ки (960-6700 ТБк) радіоактивності. Через рік активність 1 кг ВЯП знижується до 1 тис. Ки (37 ТБк), через 30 років - до 0,26 тис. Ки (9,6 ТБк). Через рік після добування з реактора, у результаті розпаду короткоживучих радіонуклідів, активність ВЯП знижується в 11-12 разів, а через 30 років - в 140-220 разів і далі повільно зменшується протягом сотень років. На площадці "Jinta" у провінції Ганьсу з 2015 року споруджується потужний завод по переробці ВЯП. Його продуктивність - до 200 тонн ВЯП у рік. Ємність його тимчасового сховища закритого підземного типу із глибиною до 560 метрів - 1200 тонн. Очікувані строки введення заводу в експлуатацію - 2025 рік. Заводи по переробці ВЯП засновані на російських технологіях.

Центр атомних досліджень Індири Ганді (IGSAR) в Індії планує в майбутньому трикомпонентну модель енергетики: звичайні реактори на теплових нейтронах із природного урану; швидкі реактори на суміші плутонію з ВЯП 1 типу; торієві реактори на паливі із суміші торію й урану-233 ВЯП 1 і 2 типів. Але реально прототип швидкого реактора початого в 2004 на АЕС Madras планується ввести в експлуатацію замість 2015 року вже в грудні 2021 року. Інший проект у Калпаккаме з реакторами й паливним комплексом для швидких реакторів FRFCF (Fast Reactor Fuel Cycle Facility) планується завершити в 2022-2023 роках. Проекти незавершені.

В 1996 році проблема фінансування переробки відпрацьованого палива стала критичною для Росії. Одним з їх рішень було встановлення динамічних зростаючих цін на переробку ввезених ВЯП, зокрема з України. Саме через це був побудований в 2001 СВЯП на ЗАЕС, що розрахований на 50 років. У результаті скорочення сплат переробки ВЯП з України Росія пішла сумнівні міри. Держдума прийняла закон, що дозволяв ввіз ВЯП з Європи. Дозволом відразу скористалася Франція. Вивезла все зі своїх АЕС, погодилася платити по 500 тисяч доларів за тону (українська сторона давала вдвічі менше) і заповнила басейни на сто відсотків. У французів є своє виробництво на мисі Аг, у Шербуре, де переробляли ВЯП з Німеччини, Канади, Великобританії, повертаючи партнерам відходи. Але французьке правительство зволіло позбутися від власних небезпечних нагромаджень: тиск екологів і суспільної думки перемогло. Напрочуд на це практично ніяк не отреагувала МАГАТЕ, відповідно до вимог якої сторона, що поставляє ядерне паливо, повинна забирати його до себе на переробку. РТ-1 і РТ-2 Росії дозволяють витягти до 97% радіоізоотопів ВЯП. Побудовано сухе сховище ХОТ-2. В 2015 році на ГХК запустили першу чергу дослідно-демонстраційного центра, у якому в напівпромисловому масштабі обкатуються новітні технології переробки ВЯП обсягом до 250 тонн, необхідні для замикання ядерного паливного

циклу. Планується завершення до 2022 року й використання унікального нового типу реактора на швидких нейтронах.

Досягненням українських енергетиків 2021 долі вважається завершення першої черги нового сховища відходів ядерного виробництва електроенергії ЦСВЯП, що відповідно до недовершеного проекту (на 16500 складань) значно перевершує два попередні сховища аналогічного призначення на Чорнобильській і Запорізької АЕС. Однак завершена тільки перша черга ЦСВЯТ розрахована на зберігання 3400 збірок в 94 контейнерах HI-STORM вартістю \$300 млн. від Holtec International. У той же час сховище ЗАЕС побудовано на 9000 складань, а ЧАЕС і СВЯП-1 (проектний строк експлуатації до 2016) зберігає більше 25000 складань (більше 21000 на 5 відсіках СВЯП-1 і більше 4000 складань у басейнах блоків 1-3 ЧАЕС). Однією з помилок є думка про кінцеве поховання відходів АЕС у цих сховищах. У дійсності вивозяться з АЕС ядерні відходи (ВЯП) мають залишковий потенціал, що вже недостатній для виробництва електроенергії у звичайних реакторах і становить небезпеку при подальшому використанні. Продовження будівництва початого в 2012 разом з Росією комбінату по переробці ВЯП в 2013 році припинено й на 2022 не планується. Об'єкт зруйновано.



Рисунок 3 – Сухе сховище ХОТ-2 ГХК, Росія 2012



Рисунок 4 – Сухе сховище ЦСВЯП, пресцентр НАЕК “Енергоатом” 2020

Жоден з існуючих нині типів реакторів не може забезпечити повного вигорання ядерного палива. Для його подальшого використання вже є дві технології. Перша - це ізотопне збагачення урану, що масово використовується у Франції і є основною претензією до ядерної програми Ірану. Тому що, збагачуючи уран-235, можна зробити ядерну бомбу. Друга технологія - це переробка відпрацьованого палива для добування радіонуклідів (плутоній, уран-235 і ін.). Володіють цими технологіями тільки країни з атомною зброєю. Це дуже брудне й на даному етапі економічно не вигідне радіохімічне виробництво, технологію якого ніхто не продасть у світлі нового відношення до України після подій 2014 року.

У цей час успішне практичне (а не експериментальне) використання недосконалої технології закритого ядерного паливного циклу (з використанням переробки ВЯП) існує тільки в Росії й Франції. Розходження їх принципіальне. Росія використовує нові реактори на швидких нейтронах, які поки що більш «брудні» чим звичайні. Франція не має аналогічного реактора й СЕА в 2021 підтвердила, що їхній проект ASTRID можливо дасть технологію реактора після 2050 року. Відпрацьовування ВЯП за французькою технологією використовуються старими реакторами, що не приводить до повної реалізації закритого циклу. Посилено рухається в цьому напрямку Китай, але має лише експериментальний реактор на російській технології й паливі. Японія й США на даному етапі до 2022 офіційно відмовилися від розвитку й використання технології закритого ядерного паливного циклу. В 2022 році ривок у цьому напрямку можливо зробить Індія, але поки це плани. На сьогодні вартість регенерації палива (ВЯП), що відробило, і вартість видобутку нового палива з природної сировини приблизно рівні. Проте очікується розвиток технології й чекаючи цієї години ВЯП перебувають у сховищах.

Криворот Анатолій Ігорович, к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», anatoliikryvorot@gmail.com
Шаповал Микола Віталійович, к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», nvshapoval75@ukr.net
Вірченко Віктор Вікторович, к.т.н., доцент, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», virchenko.viktor@gmail.com

ДО ВИЗНАЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОБУСА БАЗ – 2215, ЩО ПРАЦЮЄ НА ГТП І БЕНЗИНІ

Як показано в роботах [1–3], поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей автотранспортного засобу (АТЗ), що працює на газовому паливі з використанням газобалонного обладнання, можна здійснити на першому етапі шляхом встановлення додаткового редуктора в трансмісії автомобіля або зміною передаточного відношення головної передачі. При цьому слід враховувати, що ідентичність показників тягових властивостей, а саме подолання максимального опору руху можливе шляхом збільшення загального передаточного відношення трансмісії на величину, що дорівнює відношенню максимальних крутних моментів базового двигуна, що працює на бензині, і двигуна, що працює на газовому паливі.

Розглянемо приклад, автобус БАЗ – 2215, що працює на бензині і газогенераторному паливі (ГТП). У роботі [4] визначалась зовнішня швидкісна характеристика двигуна автобуса БАЗ – 2215 при роботі на ГТП, графіки вказаних залежностей зображено на рисунках 1 та 2.