

Перевезення відпрацьованого ядерного палива: стан проблеми та аналіз сучасних підходів

Проведено огляд міжнародного та національного досвіду, пов'язаного з перевезенням відпрацьованого ядерного палива (ВЯП). Проаналізовано стан розвитку конструкції транспортних контейнерів, вектори розвитку транспортно-пакувальних комплектів у майбутньому, а також нормативну базу, що регулює перевезення ВЯП в Україні та світі. Визначено завдання для майбутніх досліджень, результати яких будуть використані під час експлуатації ЦСВЯП.

Ключові слова: відпрацьоване ядерне паливо (ВЯП), відпрацьована тепловидільна збірка (ВТВЗ), централізоване сховище відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП), контейнер, перевезення.

А. В. Носовский, М. В. Яценко

Перевозка отработанного ядерного топлива: состояние проблемы и анализ современных подходов

Дан обзор международного и национального опыта, связанного с перевозкой отработанного ядерного топлива (ОЯТ). Проанализированы состояние развития конструкции транспортных контейнеров, векторы развития транспортно-упаковочных комплектов в будущем, а также нормативная база, регулирующая перевозки ОЯТ в Украине и мире. Определены задачи для будущих исследований, результаты которых будут использованы при эксплуатации ЦХОЯТ.

Ключевые слова: отработанное ядерное топливо (ОЯТ), отработанная тепловыделяющая сборка (ОТВС), централизованное хранилище отработанного ядерного топлива (ЦХОЯТ), контейнер, транспортировка.

Щорічно у світі на енергетичних реакторах утворюється понад 10 тис. тонн високоактивних ядерних відходів у вигляді відпрацьованого ядерного палива (ВЯП) [1]. Тому тимчасове проміжне зберігання ВЯП є невід'ємною частиною ядерного паливного циклу в планах розвитку ядерної енергетики.

Незалежно від вибраної технології поводження з ВЯП, у більшості країн присутня операція його перевезення (або на завод з переробки, або на зберігання в спеціалізоване сховище), яка пов'язана з використанням надійного устаткування. Оскільки перевезення ВЯП, як правило, відбувається загальнодержавними і міжнародними шляхами, у разі виникнення аварійних ситуацій населенню та навколишньому середовищу може бути завдано шкоди; отже, питання безпеки перевезення ВЯП з точки зору локалізації радіоактивного вмісту, забезпечення належного захисту персоналу та населення є актуальними.

Як окремий процес, перевезення ВЯП являє собою завантаження відпрацьованих тепловидільних збірок (ВТВЗ) у центральному залі енергоблока в контейнер, транспортування ВЯП залізничним, водним або автомобільним транспортом і розвантаження транспортного контейнера в пункті призначення [2].

Метою цієї оглядової статті є аналіз міжнародного та національного досвіду, пов'язаного з перевезенням ВЯП, на підставі якого можна виділити основні напрямки розвитку конструкції транспортних контейнерів, а також визначити завдання досліджень та розробки технічних рішень для реалізації їх у процесі експлуатації централізованого сховища ВЯП в Україні.

Вважається, що транспортні операції є слабкою ланкою в публічному обговоренні питань, які стосуються ядерного паливного циклу. Багато людей мають тверде упевнення проти перевезення таких матеріалів, як ВЯП. Іноді причиною тому є нестача інформації або нерозуміння причин і природи подібних перевезень. Ядерна галузь має серйозно сприймати свою відповідальність за зв'язок з громадськістю і забезпечувати належний баланс відкритості та вимог до фізичної безпеки перевезень відповідно до міжнародних домовленостей. Інформацію про безпеку ядерних перевезень треба доводити до широкої аудиторії, оскільки тиск громадської думки на транспортні операції з ВЯП може призводити до серйозних наслідків, затримок, а в деяких випадках — до скасування перевезень. Ускладнення маршрутів і необґрунтоване застосування більш дорогих транспортних засобів можуть збільшити вартість перевезень і зменшити ефективність через додаткові витрати. Ставлення населення до проблеми визначається не тільки конкретною інформацією, а й складною сумішшю переконань і почуттів, тому змінити це ставлення дуже важко, навіть у разі наявності незаперечних доказів. Найменша подія, що стосується перевезення ВЯП, навіть за відсутності будь-яких реальних або потенційних радіологічних наслідків, може зіграти на прихованих страхах людей. Надання повної інформації має першорядне значення в досягненні більшого розуміння з боку населення [3].

Світовий досвід. У світовій практиці накопичено величезний досвід безпечного перевезення ВЯП та інших ядерних матеріалів.

У період з 1962 по 2016 роки у світі здійснено понад 25 тис. перевезень ВЯП, зокрема близько 3000 рейсів — залізницею та автомобільними шляхами загальною довжиною 2,5 млн км, більш як 300 рейсів — морськими шляхами загальною довжиною 8 млн км [4].

Залізницею перевозять ВЯП в основному у межах Європи, автомобільні перевезення обмежуються короткими маршрутами від майданчика АЕС до залізниці. ВЯП з Японії до Європи для переробки перевозять спеціальними морськими судами і вивантажують кранами (за обмеженої участі робітників) у морських терміналах, розташованих недалеко від переробних підприємств та пов'язаних з ними коротких шосейних доріг або залізничних гілок. Подібні перевезення морем здійснюються з континентальної Європи до Великобританії.

Приблизне число транспортувань ВЯП на рік у країнах з розвинутою ядерно-паливною промисловістю [5] є таким:

Країна	Вид транспорту	Кількість рейсів
Канада	Автомобільний	5
Велика Британія	Залізничний	300
Франція	Залізничний	250
Швеція	Водний	40
Німеччина	Залізничний	40

Серед наведених країн цікавим є приклад Швеції. Всі шведські АЕС розташовані на морському узбережжі, тому перевезення ядерних матеріалів здійснюються морем за допомогою спеціально побудованого в 1982 році корабля. Безпека в першу чергу гарантується застосуванням спеціальних транспортних контейнерів, які залишаються неушкодженими навіть якщо корабель потоне. Для переміщення вантажу на терміналах АЕС та інших підприємствах ядерно-паливного циклу використовується спеціальне транспортувальне обладнання. По суші вантажі переміщуються, в крайньому випадку, тільки на кілька кілометрів і з дуже малою швидкістю. Транспортні контейнери відповідають міжнародним вимогам, вони розраховані на навантаження, що значно перевищують ті, які можна в розумних межах очікувати під час перевезення ВЯП. Наприклад, вони можуть витримати зовнішній тиск, еквівалентний тиску на глибині 4000 м під водою (такі глибини не спостерігаються біля шведських берегів). Контейнери оснащено сигнальним обладнанням, а тому їх місцезнаходження можна визначити, якщо корабель піде на дно [3].

Крім названих видів транспорту, можливе використання повітряного транспорту. Так 29.06.2009 у рамках програми «Повернення палива для дослідницьких реакторів» (RRRFR), підтримуваної Національної адміністрацією з ядерної безпеки Міністерства енергетики США (NNSA) і Глобальною ініціативою щодо скорочення загрози (GTRI), на борту вантажного літака АН-124-100 у 18 російських контейнерах ТУК-19 транспортували з Румунії до Росії 27,3 кг із 70 кг високосбагаченого (збагаченого до 36,6 %) урану [6].

Спеціальні транспортувальні контейнери можуть застосовуватися також для перевезення пошкодженого палива. Наприклад, з 1986 по 1989 роки приблизно 75 % пошкодженого палива другого енергоблока АЕС «Три-Майл-Айленд» (США) було вивезено на територію Національної лабораторії Айдахо (INL) [7]. У 2014 році з території АЕС «Пакш» (Угорщина) до РФ повернуто 30 пошкоджених тепловидільних збірок ВВЕР-440, розміщених у 68 пеналах [8].

Національний досвід. ВЯП з українських реакторів для переробки або зберігання відправляють на заводи, розташовані на території РФ. ВТВЗ ВВЕР-440 надходять на РТ-1 — єдину в Росії діючу установку з переробки

ВЯП, яка розміщується на ВО «Маяк» (Челябінська обл.). У 1977 році відбувся пуск першої технологічної лінії заводу РТ-1 для переробки ВЯП енергетичних реакторів типу ВВЕР-440 та реакторів на швидких нейтронах, ВЯП транспортних енергетичних установок (атомних підводних човнів і криголамів), а також ВЯП науково-дослідних установок. ВЯП ВВЕР-1000 транспортують до РФ для зберігання на Красноярському гірничо-хімічному комбінаті. Сховище «мокрого» типу з початковою проектною потужністю 14 000 ВТВЗ [9] було введено в експлуатацію в 1985 році.

На Запорізькій АЕС у 2001 році увійшло в експлуатацію пристанційне сховище ВЯП «сухого» типу (проект Duke Engineering and Services Inc (США) за технологією вентильованих бетонних контейнерів для зберігання ВТВЗ у вертикальній положині. Основними компонентами системи сухого зберігання ВЯП є багатомісна герметична корзина (БГК), перевантажувальний контейнер і вентильований бетонний контейнер. БГК виготовлена з вуглецевої сталі, вона може забезпечити зберігання у вертикальній положині 24 збірок у шестиграних напрямних трубах. Після завантаження та герметизації кошик БГК являє собою захисний бар'єр, що перешкоджає виходу радіоактивності в довкілля, відводить надлишкове тепло ВТВЗ у вільний об'єм вентильованого бетонного контейнера. Заповнення БГК гелієм створює й підтримує протягом всього періоду зберігання суху, інертну теплотеплообмінну середовище. У межах реакторного відділення енергоблока БГК транспортують в спеціальному перевантажувальному контейнері. Завантажену й герметизовану БГК розміщують у вентильованому бетонному контейнері, призначеному для довготривалого проміжного зберігання ВЯП на майданчику сховища. У цьому проекті відсутня операція з перевезення ВТВЗ за межами майданчика АЕС. Зона транспортування контейнера з ВЯП — це мережа маршрутів, по яких доставляють контейнери з ВЯП в зону зберігання спеціально призначеним для цього транспортером [10].

Одна з найскладніших проблем зняття з експлуатації енергоблоків Чорнобильської АЕС — поводження з ВЯП. Існуюче сховище відпрацьованого ядерного палива СВЯП-1 мокрого типу не задовольняє сучасним вимогам безпеки і повністю заповнене. Тому було прийнято рішення про будівництво нового сховища сухого типу СВЯП-2 відповідно до сучасних національних і міжнародних вимог з безпеки, яке може вмістити все ВЯП з реакторів енергоблоків Чорнобильської АЕС, а також паливо зі старого сховища СВЯП-1 [11].

СВЯП-2 призначене для прийому на зберігання, підготовки до зберігання та зберігання протягом 100 років 21 297 відпрацьованих тепловидільних збірок РБМК-1000 (при продуктивності 2500 ВТВЗ/рік). Сховище складається з двох основних частин: установки з підготовки відпрацьованого палива до зберігання (УПВПЗ) та зони зберігання відпрацьованого ядерного палива. З приміщення СВЯП-1 до будівлі УПВПЗ відпрацьовані тепловидільні збірки доставляють спеціально виготовленим вагоном-транспортером ТК-8 виробництва компанії ŠKODA [12].

У 2015 році дано старт проекту будівництва в зоні відчуження централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива (ЦСВЯП) реакторів типу ВВЕР-400 та ВВЕР-1000 вітчизняних АЕС. Сховище призначене для тривалого зберігання на період до 100 років ВЯП з діючих енергоблоків Рівненської, Хмельницької та Южно-Української АЕС згідно з реалізацією стратегії «відкладеного рішення» щодо відпрацьованого ядерного палива в Україні.

Історія створення ЦСВЯП бере свій початок від 2005 року, коли Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом» та переможець міжнародного тендеру американська компанія Holtec International підписали контракт на проектування та будівництво сховища. На жаль, через низку причин, зокрема зміну політичної кон'юнктури та економічну кризу 2008 року, проект був фактично заморожений. Протягом майже 10 років виконувалися підготовчі роботи з опрацювання технічних характеристик обладнання та обґрунтування його безпеки, техніко-економічного обґрунтування, прийняття законодавчої бази стосовно розміщення сховища в Чорнобильській зоні відчуження в 12 км від майданчика Чорнобильської АЕС. Безпосередні роботи з проектування та підготовки майданчика розпочалися лише в 2014 році. У 2015 року НАЕК «Енергоатом» і Holtec International підписали додаткову угоду до основного контракту, згідно з яким американська компанія надає технологію поводження з ВЯП, виготовляє й постачає обладнання для його підготовки, транспортування і зберігання, а «Енергоатом» виконує проектування та будівництво сховища. Пусковий комплекс ЦСВЯП вже в 2019 році зможе прийняти з атомних станцій перші контейнери з відпрацьованим ядерним паливом [13].

За технологією компанії Holtec International, багатоцільові контейнери (БЦК) завантажують відпрацьованим ядерним паливом на енергоблоках АЕС. Впродовж завантаження БЦК перебувають у перевантажувальному контейнері HI-TRAC — сталевому контейнері, виконаному з кількох обичайок, між якими є шар гамма-захисту та водяний прошарок, що виконує функції з тепловідведення від ВЯП та виступає як додатковий нейтронний захист. Після завантаження БЦК осушують, герметизують та заповнюють гелієм. У такому стані контейнер HI-TRAC розміщують у транспортному комплекті HI-STAR. Контейнер HI-STAR переводять в горизонтальну положину та оснащують демпфуючими пристроями. У такому стані, на спеціальній платформі у складі ешелону, транспортно-пакувальний комплект HI-STAR транспортують до ЦСВЯП. На території ЦСВЯП у будівлі приймання контейнерів, за допомогою обладнання вузла перевантаження контейнерів (ВПК) та головного крана, БЦК завантажують до HI-STORM — контейнера, виконаного з двох сталевих обичайок, між якими є шар неармованого бетону завтовшки 68 см. Транспортер HI-STORM з БЦК всередині подають до майданчика зберігання, на якому він перебуватиме протягом 100 років.

Наразі для впровадження технології Holtec International енергоблоки АЕС модифікуються. У зоні відчуження будується гілка залізниці 5,8 км завдовжки, яка з'єднає лінію Вільча — Янів з майданчиком зберігання, на якому також йдуть підготовчі роботи. Передбачається, що пусковий комплекс складатиметься з 94 систем зберігання HI-STORM, встановлених на майданчику зберігання.

Із Рівненської, Хмельницької та Южно-Української АЕС ВЯП перевозять залізницею. З території станції спеціальний ешелон прямує до підприємства РФ («Маяк», гірничо-хімічний комбінат) шляхами загального користування.

У загальному випадку для перевезення ВЯП використовують транспортно-пакувальний комплект (ТПК) — масивний захисний контейнер, призначений для локалізації ВТВЗ, забезпечення ядерної та радіаційної безпеки, необхідного теплового режиму і захисту ядерного матеріалу під час перевезення. Відповідно, всі конструкційні особливості контейнера спрямовані на виконання саме цих

функцій. ВТВЗ реакторів ВВЕР транспортують контейнерами типів ТК-6 і ТК-13. Транспортний контейнер такого типу — це герметичний циліндричний корпус з вантажними та кантувальними цапфами й напрямними ребрами для встановлення у басейн витримки. Корпус і кришка до нього виконані з нержавіючої сталі. В пенал усередині транспортного контейнера завантажують 12 ВТВЗ. Роль нейтронного захисту виконує антифриз. Завантажений паливом контейнер транспортують у вертикальній положині в спеціальному залізничному вагоні.

Така конструкція контейнерів, незважаючи на великий досвід їх використання (з 1980-х років), має очевидні недоліки: короткочасний проектний термін експлуатації — 20 років; порівняно невелику місткість — 12 ВТВЗ; відсутність нейтронного захисту (ТК-6) або наявність нейтронного захисту у вигляді рідини (ТК-13).

Активне впровадження технології сухого зберігання ВТВЗ, збільшення середньої глибини вигорання відпрацьованого палива та початкового збагачення палива зумовили потребу в розробці транспортно-пакувальних комплектів нового покоління [14].

Сучасний контейнер може бути двохцільовим — слугувати не тільки для транспортування, а й для довгострокового зберігання ВТВЗ. Термін його експлуатації в середньому становить 50 років. Це герметичний корпус з однією або кількома кришками. Елементи ТПК сталеві, біологічний захист — сталь, чавун або свинець. У конструкціях контейнерів нового покоління паливну корзину виготовляють з композитних матеріалів, наприклад «алюміній — бор», «нержавіюча сталь — бор» [15]. Алюміній в деталях кошика для збірок зменшує вагу ТПК і поліпшує тепловідведення від ВТВЗ. Крім того, щоб поліпшити тепловідведення, внутрішню порожнину контейнера заповнюють гелієм під надлишковим тиском. У гелієвому середовищі значно сповільнюються деградаційні процеси, які впливають на цілісність твелів під час транспортування та подальшого довготривалого зберігання. У контейнерах нового покоління нейтронним захистом є тверді матеріали, наприклад каучук, парафін тощо.

Отже, основними змінами, які відбулися в конструкції сучасних транспортувальних контейнерів порівняно з конструкцією контейнерів першого покоління, є використання композитних конструкційних матеріалів на основі бору; сталі, чавуну або свинцю в якості біологічного захисту; «твердого» нейтронного захисту, а також збільшення теплової потужності контейнера та його місткості.

Питання безпеки перевезень контейнерів з ВЯП. Документами, що регулюють перевезення ВЯП в Україні, є НП 306.6.124-2006 «Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів» [16] і ПНАЕ Г-14-029-91 «Правила безпеки при храненні і транспортуванні ядерного палива на об'єктах атомної енергетики» [17]; для країн-членів МАГАТЕ у 2012 році було запропоновано документ «Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material» [18]. Ці документи встановлюють правила та норми з безпеки, які забезпечують прийнятний рівень ядерної та радіаційної безпеки для персоналу і навколишнього середовища під час перевезення ВЯП.

Ядерну безпеку визначають геометричні розміри і форма ТПК, маса подільного матеріалу, наявність і розміщення поглинаючих матеріалів. Основним критерієм забезпечення ядерної безпеки є неперевищення значення $K_{\text{эф}} = 0,95$ за нормальних умов експлуатації та в разі проектних

аварій. Ядерна безпека ТПК забезпечується застосуванням нейтронних поглиначів, контролем їх поглинаючої здатності або концентрації бору, обмеженням кроку розташування ТВЗ, контролем розміщення ТВЗ, контролем глибини вигорання ТВЗ (якщо ця величина служить параметром ядерної безпеки).

Радіаційна безпека забезпечується контролем радіаційних характеристик ВЯП, технічного стану ТПК (систем герметизації, елементів кріплення тощо), дозиметричним і радіометричним контролем забруднення поверхонь ТПК і потужності еквівалентної дози випромінювання в установлених правилами контрольних точках.

Фізичний захист забезпечується дотриманням правил безпеки під час завантаження ТПК та обмежень на взаємне розташування упаковок на транспортному засобі, виконанням комплексу організаційно-технічних заходів щодо убезпечення перевезень, зокрема вибором оптимального маршруту та графіка проходження транспортно-го засобу, унеможливленням несанкціонованого доступу до упаковок сторонніх осіб.

У сучасних нормативних документах встановлюються класифікація і межі активності радіоактивних вантажів, вимоги до безпеки під час перевезень, вимоги до стану ядерного матеріалу і до пакувального комплексу, яким він транспортується, адміністративні вимоги.

Дуже важливою вимогою є випробовування ТПК як для нормальних умов перевезень, так і для аварійних. У першому випадку (нормальні умови перевезень) — це гідростатичні випробовування, вільне падіння, штабелювання та випробовування на глибину руйнування (пенетрацію). У другому (аварійні умови) — випробовування на механічне пошкодження (вільне падіння з 9 м, падіння на сталевий штир з висоти 1 м), теплове навантаження (пожежа з температурою 800 °С протягом 30 хв і подальше охолодження), занурення у воду на глибину 15 м. Після цих тестів транспортний контейнер має зберігати свою конструкційну цілісність і продовжувати виконувати функції з локалізації радіоактивного вмісту, підтримки підкритичності системи, відведення залишкового тепла від ВЯП, забезпечення безпеки персоналу і навколишнього середовища.

Питання підвищення рівня безпеки перевезень ВЯП є важливим незважаючи на те, що позаштатні ситуації під час транспортування ВЯП характеризуються низькою частотою, а ті інциденти, які мали місце, були незначними (наприклад, часткове сходження транспортного вагона з рейок під час руху на малій швидкості). Різні країни розробляють свою національну систему аварійного реагування на різного роду інциденти, пов'язані з транспортуванням ВЯП. Рекомендації МАГАТЕ дають загальну стратегію дій на випадок транспортних аварій, зазначаючи водночас, що можливі наслідки аварій в разі використання автомобільного, залізничного та повітряного транспорту є різними. Протиаварійні заходи широко варіюються для різних країн, але будь-яка країна повинна заздалегідь підготувати та впровадити плани аварійного реагування до того, як станеться можливий інцидент.

З появою нових методів обчислювального аналізу й реалістичного моделювання з'явилася можливість зменшити невизначеність, пов'язану з аналізом ризиків, тим самим забезпечивши більш надійні оцінки реальних ризиків, пов'язаних з транспортуванням. Для подальшого уточнення оцінки безпеки перевезень ВЯП треба безперервно вдосконалювати обчислювальні програми й методики,

які використовуватимуться безпосередньо для розрахунків безпеки контейнерів та їх компонентів. Оскільки в майбутньому кількість перевезень ВЯП і радіоактивних відходів зростатиме в зв'язку з масовим виведенням АЕС з експлуатації в багатьох країнах, оптимізація витрат на перевезення ВЯП стає вкрай важливою. Одним із способів економії коштів є скорочення кількості перевезень внаслідок збільшення місткості транспортних контейнерів. Сучасні транспортні контейнери можуть вмещати в себе більш як 20 ТВЗ реакторів під тиском. Для подальшого збільшення місткості пакувальних комплектів належить вирішити проблеми відведення більшої кількості тепла, забезпечення підкритичності в системі з великою кількістю подільного матеріалу та забезпечення радіаційної безпеки для персоналу.

Окремо постає питання про транспортування палива з великою глибиною вигорання, яке більш схильне до руйнувань і деградації під час перевезення та зберігання.

Висновки

6 липня 2017 року НАЕК «Енергоатом» отримав ліцензію Державної інспекції ядерного регулювання України на право провадження діяльності на етапах життєвого циклу «будівництво та введення в експлуатацію ядерної установки» — централізованого сховища відпрацьованого ядерного палива реакторів ВВЕР вітчизняних атомних електростанцій. З цієї дати офіційно стартувало будівництво ЦСВЯП. Транспортування відпрацьованого ядерного палива на майданчик ЦСВЯП триватиме протягом 50 років, починаючи з 2019-го. Розуміння основних процесів, що відбуваються з паливом і елементами конструкції контейнерів нового типу в процесі транспортування ВЯП, дасть змогу науково обґрунтувати безпеку цих перевезень і переконати суспільство в неможливості радіаційного впливу на населення та довкілля в разі аварійних подій. Особливо важливо оцінити ризики аварійних ситуацій, проаналізувати перебіг проектних аварій і оцінити ймовірність виникнення запроектованих аварій.

На підставі виконаного аналізу стану проблеми мета подальшої роботи полягає в оцінці безпеки транспортувального контейнера, який використовуватиметься під час експлуатації ЦСВЯП, на предмет стійкості до запроектованих аварійних сценаріїв. Для досягнення цієї мети потрібно:

- визначити основні можливі аварійні ситуації під час транспортування ВЯП;
- встановити початкові та граничні умови для конкретної вихідної події;
- провести детерміністичний аналіз безпеки транспортувального контейнера;
- зробити висновки щодо стійкості контейнера до запроектованого аварійного сценарію.

Список використаної літератури

1. Твелов Ю. Безопасность при обращении с радиоактивными отходами. *Атомная техника за рубежом*. 2002. № 10. С. 3—6.
2. Operation and Maintenance of Spent Fuel Storage and Transportation Casks/Containers, IAEA-TECDOC-1532, IAEA, Vienna (2007), ISSN 1011-4289, 130 p.
3. Елагин Ю. Л. Ядерные перевозки. *Атомная техника за рубежом*. 2004. № 1. С. 3—11.
4. A Historical Review of the Safe Transport of Spent Nuclear Fuel, FCRD-NFST-2016-000474. (Rev. 1). ORNL, Oak Ridge (2016), 88 p.

5. Safe and Secure Transportation of Canada's Used Nuclear Fuel, NWMO, Toronto, (2015), 32 p.
6. Experience of Shipping Russian-origin Research Reactor Spent Fuel to the Russian Federation, IAEA-TECDOC-1632, IAEA, Vienna (2009), ISSN 1011-4289, 137 p.
7. Shipping Damaged Fuel From Three Mile Island to Idaho, GAO/RCED-87423, United States General Accounting Office, Washington (1987), U.S. G.P.O. 1987-181-2351600.
8. Разработка принципиальной технологии вывоза ОЯТ АЭС «Пакш». URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2012/05/02/33150>
9. ТЭО ЦХОЯТП. Т. 1. Ч. 2 : Анализ и оценка альтернативных технологий обращения с ОЯТ : 57-204.201.002.ОЭ01.02. Ред. 3. К. : КИЭП, 2008.
10. Лучна А. Є., Лавренчук А. І., Седнев В. А., Васильченко В. М., Двоєглазов О. М., Медведєв В. І., Печера Ю. М., Сухе сховище відпрацьованого ядерного палива Запорізької АЕС. Забезпечення безпеки. *Актуальні проблеми ядерної фізики та атомної енергетики* : 36. тез. 2006. С. 709-716.
11. Носовский А. В. Актуальные вопросы снятия с эксплуатации энергоблоков Чернобыльской АЭС. *Ядерная радиационная безопасность*. 2006. Т. 9, вып. 1. С. 39-49.
12. Проміжне сховище відпрацьованого ядерного палива «сухого» типу (СВЯП-2). URL: <http://chnpp.gov.ua/uk/component/content/article?id=27>
13. Носовський А. В. Чернобыльська АЕС: поточний стан та бачення майбутнього. *30 років Чернобыльської катастрофи (огляди)*. Зб. інформ.-аналіт. доповідей. К. : КіМ, 2016. С. 35-59.
14. Козлов Ю. В., Куликов В. И., Смирнов А. В., Тихонов А. С., Токаренко А. И. Проблемы транспортирования ОЯТ ВВЭР-1000. URL: <http://atomicexpert-old.com/sites/default/files/library-pdf/2006>
15. Козлов Ю. В., Тихонов Н. С., Токаренко А. И., Сафутин В. Д., Шафрова Н. П. Транспортирование ОЯТ: некоторые вопросы экономики и безопасности. URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=113>
16. Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів : НП 306.6.124-2006. *Офіційний вісник України*. 2006. № 38. С. 168. Стаття 2606, код акту 37380/2006.
17. Правила безопасности при хранении и транспортировании ядерного топлива на объектах атомной энергетики : ПНАЭ Г-14-029-91. М. : ЦНИИатоминформ, 1992. 22 с.
18. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. Vienna : IAEA, 2012. 191 p. (Safety Standards Series No. SSR-6, STI/PUB/1570, ISBN 978-92-0-133310-0).

References

1. Tvelov, Yu. (2002), "Safety in the Management of Radioactive Waste" [Bezopasnost pri obrashchenii s radioaktivnymi otkhodami], Nuclear Technologies Abroad, No. 10, pp. 3-6. (Rus)
2. Operation and Maintenance of Spent Fuel Storage and Transportation Casks/Containers, IAEA-TECDOC-1532, IAEA, Vienna (2007), ISSN 1011-4289, 130 p.
3. Yelagin, Yu. L. (2004), "Nuclear Transportation" [Yadernye perevozki], Nuclear Technologies Abroad, No. 1, pp. 3-11. (Rus)
4. A Historical Review of the Safe Transport of Spent Nuclear Fuel, FCRD-NFST-2016-000474, (Rev. 1), ORNL, Oak Ridge, 2016, 88 p.
5. Safe and Secure Transportation of Canada's Used Nuclear Fuel, NWMO, Toronto, (2015), 32 p.
6. Experience of Shipping Russian-Origin Research Reactor Spent Fuel to the Russian Federation, IAEA-TECDOC-1632, IAEA, Vienna, 2009, ISSN 1011-4289, 137 p.
7. Shipping Damaged Fuel from Three Mile Island to Idaho, GAO/RCED-87423, United States General Accounting Office, Washington, 1987, U.S. G.P.O. 1987-181-2351600.
8. Development of Principal Technology for Paks NPP SNF Transport [Razrabotka printsipiialnoi tekhnologii vyvoza OYAT AES "Paks"], URL: <http://www.atomic-energy.ru/articles/2012/05/02/33150>
9. Feasibility Study of the Centralized Spent Fuel Storage Facility, Vol. 1, Part 2, Analysis and Assessment of Alternative Technologies in SNF Management: 57-204.201.002.OE01.02 [TEO TsKhOYaTP. T. 1, Ch. 2: Analiz i otsenka alternativnykh tekhnologii obrashcheniia s OYAT: 57-204.201.002.OE01.02], Kyiv, KIEP, 2008. (Rus)
10. Luchna, A. Ye., Lavrenchuk, A. I., Sednev, V. A., Vasylychenko, V. M., Dvoieglazov, O. M., Medvedev, V. I., Pechera, Yu. M. (2006), "Dry Spent Fuel Storage Facility at Zaporizhzhya NPP. Ensuring Safety" [Sukhe skhovyshche vidpratsiovanooho yadernoho palyva Zaporizkoi AES. Zabezpechennia bezpeky], Real Problems of Nuclear Physics and Nuclear Energy, pp. 709-716. (Ukr)
11. Nosovsky, A. V. (2006), "Relevant Issues of Chornobyl NPP Decommissioning" [Aktualnye voprosy sniatia s ekspluatatsii energoblokov Chernobylskoi AES], Nuclear and Radiation Safety, Vol. 9, No. 1, pp. 39-49. (Rus)
12. Interim Dry Spent Fuel Storage Facility (SFSF-2) [Promizhne skhovyshche vidpratsiovanooho yadernoho palyva "sukhooho" typu (SVYaP-2)], URL: <http://chnpp.gov.ua/uk/component/content/article?id=27>
13. Nosovsky, A. V. (2016), "Chornobyl NPP: Current State and Vision of Future" [Chornobylska AES: potochnyi stan ta bachennia maibutnioho], 30 Years of Chornobyl Accident (Overview), Collection of Analytical Papers, Kyiv, pp. 3-59.
14. Kozlov, Yu. V., Kulikov, V. I., Smirnov, A. V., Tikhonov, A. S., Tokarenko, A. I., "Problems of WWER-1000 SNF Transport" [Problemy transportirovaniia OYAT VVER-1000], URL: <http://atomicexpert-old.com/sites/default/files/library-pdf/2006>
15. Kozlov, Yu. V., Tikhonov, N. S., Tokarenko, A. I., Safutin, V. D., Shafrova, N. P., "SNF Transport: Certain Issues of Economy and Safety" [Transportirovaniie OYAT: nekotoryie voprosy ekonomiki i bezopasnosti], URL: <http://www.proatom.ru/modules.php?name=News&file=article&sid=113>
16. Nuclear and Radiation Safety Rules in Transport of Radioactive Materials: NP 306.6.124-2006 [Pravyla yadernoi ta radiatsiinoi bezpeky pry perevezenni radioaktyvnykh materialiv: NP 306.6.124-2006], Official Journal of Ukraine, 2006, No. 38, p. 168. (Ukr)
17. Safety Rules in Storage and Transport of Nuclear Fuel at Nuclear Facilities: PNAE G-14-029-91 [Pravila bezopasnosti pri khranenni i transportirovanii yadernogo topliva na obiektakh atomnoi energetiki: PNAE G-14-029-91], Moscow, 1992, 22 p. (Rus)
18. Safety Standards Series No. SSR-6. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Vienna, IAEA, 2012, 191 p.

Отримано 27.10.2017.