

Запобігання пошкодженням відпрацьованого ядерного палива під час транспортно-технологічних операцій

■ **Сапон М. М.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9795-4227>

■ **Горбаченко О. В.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0861-3672>

■ **Кондратьєв С. М.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2405-4313>

■ **Крицький В. Б.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6724-5884>

■ **Маяцький В. Д.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9292-896X>

■ **Медведєв В. І.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1686-0702>

■ **Смишляєва С. П.**

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки», м. Київ, Україна
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5139-9515>

Згідно з нормативними вимогами під час транспортно-технологічних операцій з відпрацьованим ядерним паливом (ВЯП) потрібно забезпечувати запобігання пошкодженню відпрацьованих тепловиділяючих збірок (ВТВЗ), а особливо твелів. Для цього необхідно унеможливити небезпеку падіння ВТВЗ, їх неконтрольованих переміщень, запобігти механічним впливам на ВТВЗ, під час яких можливе їх пошкодження.

У статті проаналізовані спеціальні вимоги, яким має відповідати транспортно-технологічне обладнання (зокрема кранове) для унеможливлення зазначених небезпечних подій, наприклад, вимоги до міцності обладнання, його стійкості до зовнішніх впливів, надійності, до конструктивних рішень обладнання, якості виготовлення. Проаналізовані вимоги нормативних документів (НД) України та США, розглянуті питання реалізації цих вимог на прикладі транспортно-технологічного обладнання, зокрема, сховищ ВЯП.

Ця тема є важливою з урахуванням створення в Україні нових сховищ ВЯП. Це сховище ВЯП (СВЯП) водо-водяних енергетичних реакторів (ВВЕР) – Централізоване СВЯП для зберігання ВЯП Рівненської, Хмельницької та Южно-Української АЕС (ЦСВЯП) і СВЯП реакторів великої потужності каналних (РБМК) – СВЯП сухого типу на Чорнобильській АЕС (СВЯП-2).

Після введення в експлуатацію цих сховищ все ВЯП українських АЕС буде поміщено на довгострокове «сухе» зберігання. Безпека транспортно-технологічних операцій з ВЯП під час його підготовки до довгострокового зберігання є важливим фактором.

Ключові слова: відпрацьоване ядерне паливо, сховище відпрацьованого ядерного палива, ВТВЗ, транспортно-технологічне обладнання, транспортно-технологічні операції, СВЯП-2, ЦСВЯП.

© Сапон М. М., Горбаченко О. В., Кондратьєв С. М., Крицький В. Б., Маяцький В. Д., Медведєв В. І., Смишляєва С. П., 2020

На сьогодні 15 енергоблоків АЕС з ВВЕР є основною частиною енергетичної системи України. Водночас відбувається процес зняття з експлуатації трьох енергоблоків з РБМК на майданчику Чорнобильської АЕС. Активно створюється інфраструктура для поводження з ВЯП, зокрема, сховища для довгострокового зберігання ВЯП сухого типу як реакторів ВВЕР, так і реакторів РБМК.

Поводження з ВЯП реакторів РБМК

На цей час функціонує сховище ВЯП мокрого типу Чорнобильської АЕС (СВЯП-1). Все ВЯП Чорнобильської АЕС, включно з пошкодженим ВЯП, розміщено у СВЯП-1 (Рисунок 1). Загалом у 5-ти відсіках басейну витримки та каньйоні СВЯП-1 розміщено 21284 ВТВЗ.

Триває процес введення в експлуатацію СВЯП-2 (Рисунок 2). Проектна місткість СВЯП-2 – 231 двостінний сухий екранований пенал по 186 паливних патронів (93 ВТВЗ) в пеналі. Проектний строк служби – 100 років. Зараз відбувається підготовка СВЯП-2 до гарячих випробувань. Передбачається перевезення ВЯП з СВЯП-1 на СВЯП-2



Рисунок 1 – СВЯП-1

після спорудження останнього, підготовка та розміщення ВЯП на довгострокове зберігання. Зберігання пеналів з ВЯП буде відбуватися в бетонних модулях зберігання. Тому, з огляду на велику кількість ВТВЗ, які необхідно підготувати до довгострокового зберігання, дуже суттєвим є фактор запобігання пошкодженням ВЯП під час транспортно-технологічних операцій.



Рисунок 2 – СВЯП-2



Рисунок 3 – СВЯП Запорізької АЕС



Рисунок 4 – ЦСВЯП

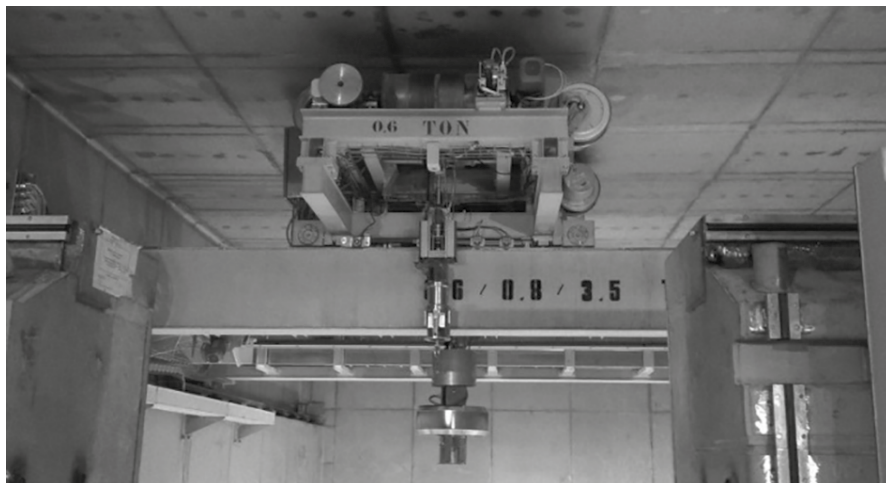


Рисунок 5 – Кранове обладнання СВЯП-2

Поводження з ВЯП реакторів ВВЕР

На Запорізькій АЕС експлуатується сховище ВЯП (Рисунок 3), проектна місткість якого – 380 багатомісних герметичних корзин у вентилятованих бетонних контейнерах з 24 ВТВЗ в кошику.

Створюється ЦСВЯП (Рисунок 4). ЦСВЯП призначене для зберігання ВЯП Рівненської, Хмельницької та Южно-Української АЕС. Проектна місткість ЦСВЯП – 458 багатоцільових контейнерів (388 БЦК-31 і 70 БЦК-85) у вентилятованих контейнерах зберігання HI-STORM з 31 ВТВЗ ВВЕР-1000 в БЦК-31 та 85 ВТВЗ ВВЕР-440 в БЦК-85. Проектний строк служби – 100 років.

На СВЯП-2 та ЦСВЯП застосовується технологія поводження з ВЯП та відповідне обладнання, розроблені американською компанією Holtec International.

Державне підприємство «Державний науково-технічний центр з ядерної та радіаційної безпеки» (ДНТЦ ЯРБ) надає експертну підтримку Державній інспекції ядерного регулювання України (Держатомрегулювання) під час ліцензування СВЯП-2 та ЦСВЯП. Зазначені нижче матеріали використовуються ДНТЦ ЯРБ під час проведення державних експертиз ядерної та радіаційної без-

пеки документації СВЯП-2 та ЦСВЯП щодо безпеки операцій з ВЯП, які виконуються крановим обладнанням сховищ. Оцінюється підтвердження якості виготовлення, конструкційних рішень, достатності елементів безпеки та розрахункових обґрунтувань міцності та стійкості до сейсмічних впливів важливого для безпеки (ВБ) кранового обладнання. Також експерти ДНТЦ ЯРБ беруть участь в індивідуальних та комплексних випробуваннях відповідного обладнання.

Одним з основних пріоритетів у процесі проектування та спорудження СВЯП-2 є питання запобігання пошкодженню ВЯП під час транспортно-технологічних операцій.

Основні транспортно-технологічні операції з ВЯП, які виконуються крановим обладнанням (Рисунок 5) на СВЯП-2, – це переміщення чохла транспортного-передаточного з вагона-контейнера в гарячу камеру, операції з ВЯП в гарячій камері, переміщення паливних патронів з пучками твел у двостінний сухий екранований пенал. Також серед операцій є переміщення пеналу з ВЯП, який знаходиться всередині внутрішньомайданчикового транспортного контейнера.

Основні транспортно-технологічні операції з ВЯП, які виконуються крановим обладнанням

(Рисунок 6) на ЦСВЯП, – це вилучення багатоцільового контейнера з транспортного контейнера HI-STAR у пристрій перевантаження контейнерів, переміщення пристрою перевантаження контейнерів з БЦК та переміщення БЦК з пристрою перевантаження контейнерів у контейнер зберігання HI-STORM.

Основною метою дослідження є аналіз вимог НД і стандартів України та США щодо безпеки транспортно-технологічних операцій з ВЯП (Рисунок 7) і аналіз виконання цих нормативних вимог на прикладі кранового обладнання СВЯП-2.

В основних НД України з ядерної та радіаційної безпеки, що регламентують безпечне поводження з ВЯП, зокрема НП 306.2.105-2004 [1] та НП 306.2.221-2019 [2], установлені загальні вимоги до безпеки операцій з ВЯП. Головна мета – це запобігання пошкодженню твелів, яка повинна реалізу-

ватись, зокрема, з використанням таких принципів (Рисунок 8):

- запобігання падінню ВЯП;
- запобігання неконтрольованим переміщенням ВЯП;
- надійність операцій з ВЯП;
- запобігання пошкодженню ВЯП в аварійних умовах.

Проте, у вищезазначених НД [1] і [2] практично відсутні вимоги до конструкційних рішень кранового обладнання. Вимоги до конструкції кранового обладнання встановлені в НПАОП 0.00-1.80-18 [3], утім вони здебільшого стосуються транспортно-технологічного обладнання загальнопромислового призначення. Спеціальні вимоги до кранового обладнання для поводження з ВЯП у НД України відсутні. За таких умов, згідно з [1], можливе використання вимог НД інших держав, які не протирічать вимогам НД України.

Під час проектування та спорудження СВЯП-2 та ЦСВЯП використовувались стандарти США ASME NOG-1-2010 [4] і ANSI N14.6-1993 [5].

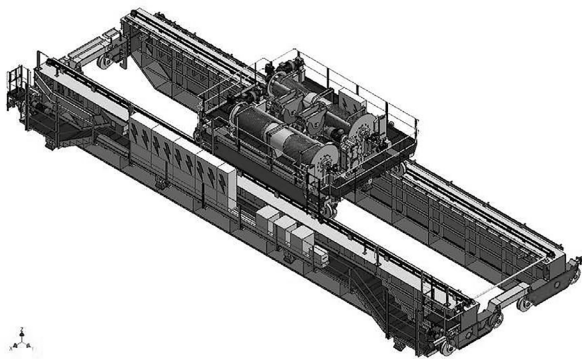


Рисунок 6 – Основний кран будівлі приймання контейнерів ЦСВЯП

Запобігання падінню ВЯП

Для підтвердження виконання цієї вимоги під час проектування та виготовлення кранів для поводження з ВЯП можуть використовуватись американські стандарти ASME NOG-1-2010 [4] та ANSI N14.6-1993 [5].

Згідно з ASME NOG-1-2010 [4]: «Кран типу I: кран, який використовується для управління пе-

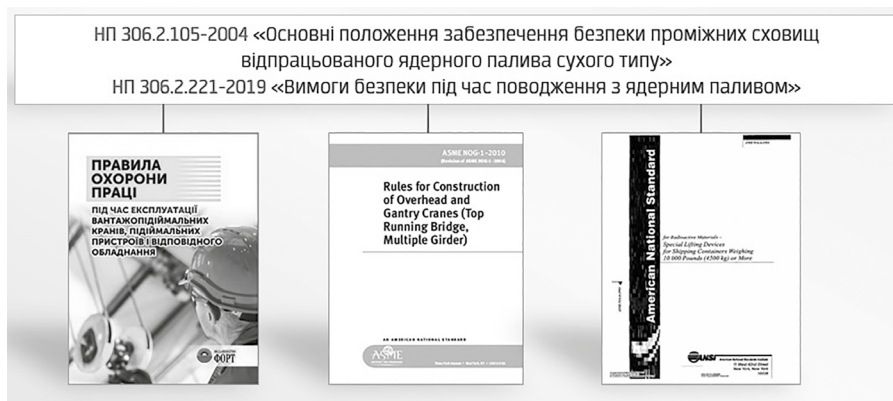


Рисунок 7 – Основні нормативні документи, що використовувались для аналізу

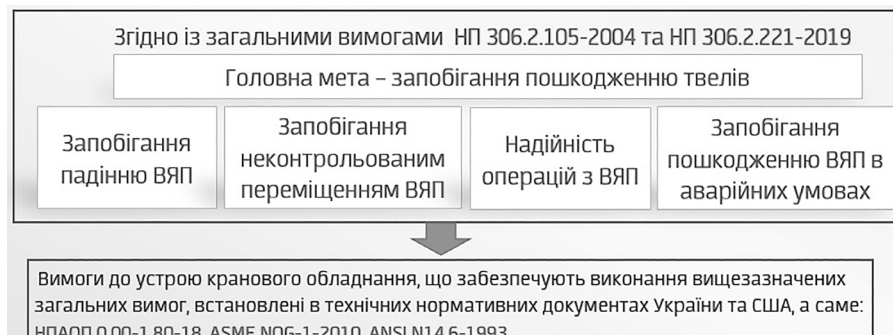


Рисунок 8 – Вимоги безпеки операцій з ВЯП

реміщенням критичного навантаження. Він повинен бути спроектований і споруджений у такий спосіб, щоб у разі сейсмічної хвилі цей кран залишився на місці й продовжував забезпечувати утримання критичного навантаження. Водночас, після сейсмічної хвилі не очікується, що цей кран буде функціонувати належним чином. Засоби, що забезпечують стійкість до одиничної відмови, повинні бути включені в цей механізм так, щоб будь-яка можлива відмова одиничного елемента не призвела до втрати здатності зупинити та утримати критичне навантаження... Навантаження критичне: будь-яке навантаження, що піднімається, неконтрольоване переміщення якого або вивільнення якого може призвести до небажаних наслідків у системі безпеки, якщо така система потрібна для забезпечення безпеки обладнання, або може призвести до потенційного потрапляння навантаження поза зони експлуатації з порушенням обмежень, визначених покупцем».

ASME NOG-1-2010 [4] для кранів типу I містить конкретні вимоги до:

критеріїв проєктування, зокрема, розрахунків на міцність і сейсмостійкість;

характеристик конкретних складових крана та компонування крана;

електротехнічного обладнання.

Нижче наведені приклади конкретних вимог ASME NOG-1-2010 [4], спрямовані на виконання принципу одиничної відмови.

П. 5411.7 б) ASME NOG-1-2010 [4] «У разі відмови приводного вала або підшипника барабана, барабан повинен залишатися на візку так, щоб виключити розчеплення редуктора або гальма, які працюють на барабані, і виключити нездатність утримання вантажу зазначеними компонентами».

П. 5414.2 ASME NOG-1-2010 [4] «Повинні бути передбачені два або більше стопорних гальм, установлених так, щоб відмова будь-якого підйимального вала або муфти не вимкнула обидва стопорних гальма лебідки».

П. 5416.1 ASME NOG-1-2010 [4] «Система приводу лебідки повинна бути спроектована так, щоб забезпечити впевненість у тому, що відмова одного компонента механізму лебідки не призведе до падіння вантажу, що піднімається. Це може бути досягнуто кількома способами». В ASME NOG-1-2010 [4] вказані відповідні варіанти технічних рішень.

П. 5420 а) ASME NOG-1-2010 [4] «Система запасовки каната повинна бути спроектована так, щоб забезпечити впевненість у тому, що відмова одного каната не призведе до падіння вантажу, що піднімається. Для кожної канатної системи має бути забезпечено вирівнювання навантаження. У разі зміщення гака за встановлений хід, де нижній блок контактує з конструкцією крана, канати не повинні перерізатися або м'ятися».

1) Функції захисту від одиничної відмови системи запасовки каната повинні передбачати, що:

а) система запасовки каната повинна бути розділена на два окремі шляхи навантаження так, щоб один з двох шляхів навантаження забезпечував утримання вантажу і дотримання вертикального вирівнювання у разі обриву каната і відмови канатної системи.

б) верхні опори блока поліспаствів і крюкові підвіски повинні бути сконструйовані так, щоб кожна точка кріплення була спроможна підтримувати навантаження, що в три рази перевищує максимальне критичне навантаження, без постійної деформації будь-якої частини вузла блока. Ці вузли повинні бути сконструйовані так, щоб шківні утримувалися у разі несправності опорного штифта шківа».

У пп. 4130-4150, 4310, 5310-5320 ASME NOG-1-2010 [4] наведено опис та комбінації навантажень, вимоги до сейсмічного аналізу для кранів, критерії проєктування основних допустимих напружень для сталевих елементів конструкції, комбінацій та допустимих навантажень.

Відповідно до ANSI N14.6-1993 [5] підйимальний пристрій має забезпечувати підймання вантажу вага якого:

в 3 рази перевищує проєкту без перевищення межі плинності матеріалу;

в 5 разів перевищує проєкту без перевищення межі міцності матеріалу.

В ANSI N14.6-1993 [5] встановлені вимоги для спеціальних підйимальних пристроїв, які використовуються з краном під час підняття критичного навантаження «Спеціальний підйимальний пристрій, який використовується з краном, повинен мати одну з таких характеристик:

а) несучі елементи з підвищеними проєктними коефіцієнтами напруження для операцій з критичним навантаженням;

б) така конструкція, що під час роботи з критичними навантаженнями відмова або несправність одного компонента не повинна призводити до неконтрольованого опускання».

В ANSI N14.6-1993 [5] зазначено, що повинен бути, як мінімум, подвійний запас (у 6 та в 10 разів відповідно), порівняно зі вказаним вище, для виконання пункту а). Для виконання пункту б) передбачається наявність двох окремих відмінних шляхів утримання навантаження, в разі відмови одного з них – інший продовжує утримувати навантаження та існує можливість приведення вантажу в безпечний стан.

З огляду на зазначене, можемо зробити висновок: якщо кран спроектований як кран типу I за ASME NOG-1-2010 [4] та виконані вимоги ANSI N14.6-1993 [5] – це може бути підтвердженням виконання вимоги запобігання падінню ВЯП.

Для ВБ кранового обладнання СВЯП-2, а також для основного крана ЦСВЯП, виконання цієї вимоги передбачено, зокрема:

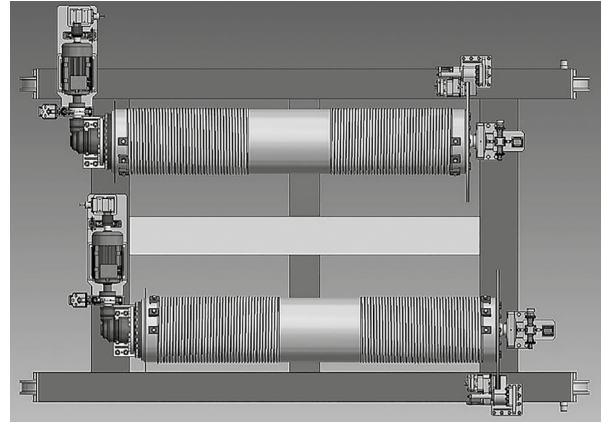
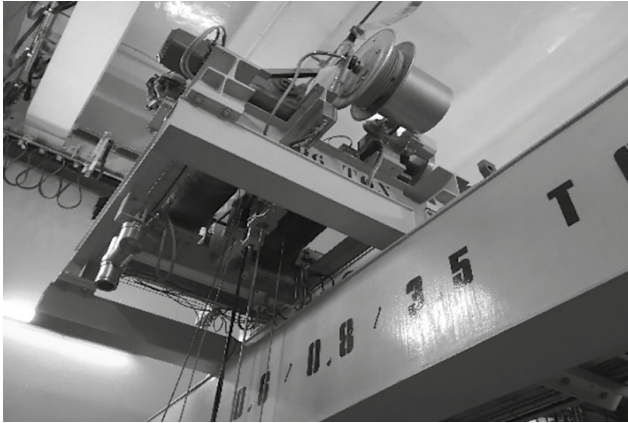


Рисунок 9 – Приклад реалізації принципу одиничної відмови

застосуванням принципу одиничної відмови (Рисунок 9);

використанням подвійного блокування для відкриття захватів та блокуванням від самовільного їх відкриття;

проведенням розрахунків на міцність і сейсмостійкість для нормальних умов експлуатації, порушень нормальних умов експлуатації та проектних аварій.

Запобігання неконтрольованим переміщенням ВЯП

Для виконання цієї норми використовуються вимоги НПАОП 0.00-1.80-18 [3] та ASME NOG-1-2010 [4].

Згідно з р. VIII п. 9 (7) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Система керування електродвигунами вантажопідіймального крана чи машини має унеможливити:

самозапуск електродвигунів після відновлення електропостачання вантажопідіймального крана чи машини».

Згідно з р. VIII п. 11(1) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Вантажопідіймальні крани... мають бути обладнані обмежниками робочих рухів (кінцевими вимикачами) для автоматичної зупинки:

1) механізму підймання в крайніх верхньому і нижньому положеннях вантажозахоплювального органа...

3) механізму пересування вантажопідіймальних кранів на рейковому ході... їх вантажних візків».

Згідно з р. VIII п. 11(3) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Механізми підймання вантажу... вантажопідіймальних кранів і машин, що транспортують... ядерне паливо, мають бути обладнані двома гальмами, що діють незалежно одне від одного».

Згідно з р. VIII п. 11(8) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Крани мостового типу обладнуються обмежниками вантажопідіймальності (для кожної вантажної лебідки), якщо можливе їх перевантаження за технологією виробництва. До таких вантажопідіймальних кранів (у тому числі з електричними талями) належать... крани, призначені для пере-

вантаження ядерного палива, твердих і рідких радіоактивних відходів, радіоізотопів».

Згідно з р. VIII п. 11(28) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «На кінцях кранової колії вантажопідіймального крана, його вантажного візка, талі та однорейкового візка з метою унеможливлення їх сходження з рейок мають бути встановлені упори, розраховані на найбільше можливе робоче навантаження, і конструкція яких має відповідати зазначеній в настанові з експлуатації».

Згідно з р. VIII п. 12(8) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «За наявності декількох постів керування має бути передбачене блокування, що унеможливило одночасне керування з різних постів».

Згідно з р. VIII п. 11(3) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Крани мостового типу обладнуються обмежниками вантажопідіймальності (для кожної вантажної лебідки), якщо можливе їх перевантаження за технологією виробництва. До таких вантажопідіймальних кранів (у тому числі з електричними талями) належать... крани, призначені для перевантаження ядерного палива, твердих і рідких радіоактивних відходів, радіоізотопів».

Відповідно до п. 6445.1 ASME NOG-1-2010 [4] «Для кранів типу I повинна бути передбачена система вимірювання навантаження для захисту від перевищення навантаження. Ця система повинна визначати фізичне навантаження завдяки прямому вимірюванню в межах шляху навантаження лебідки і повинна мати живлення від ланцюга управління відповідного приводу. Обмеження по високому навантаженню (уставка системи) має забороняти підймання, але дозволяти опускання. Система вимірювання навантаження повинна бути налаштована на максимальне значення 125 % номінального навантаження, якщо аналізом не підтверджена прийнятність навантаження, що перевищує 125 %. Якщо необхідно змінити значення або забезпечити обхід блокування у разі перевищення меж навантаження, відповідна процедура повинна бути врахована в програмі організаційних заходів».

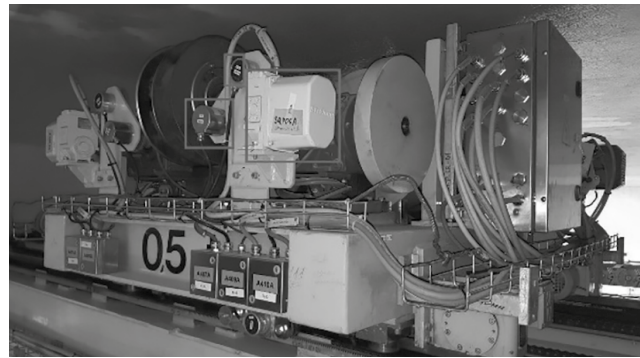
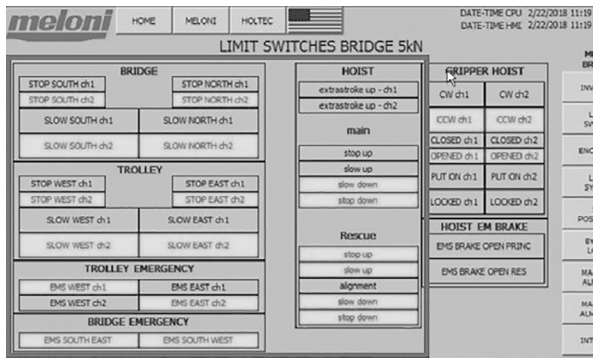


Рисунок 10 – Приклад реалізації кінцевих вимикачів для кранового обладнання

У п. 6440 ASME NOG-1-2010 [4] установлені критерії до кінцевих вимикачів та інших блокувальних пристроїв «Обмежувач – це перемикач або система датчиків, що забезпечує виконання функцій управління для крана. Цей розділ містить такі вимоги до кінцевих вимикачів для кранів...:

- вихід лебідки за межі робочої зони;
- перевищення швидкості переміщення лебідки;
- перевантаження лебідки;
- помилка намотування каната на барабан лебідки;
- обмеження виходу моста і візка за межі робочої зони».

Порівняно з НПАОП 0.00-1.80-18 [3] в ASME NOG-1-2010 [4] установлені додаткові вимоги до наявності кінцевих вимикачів у разі перевищення швидкості лебідки та помилки намотування каната на барабан лебідки.

На практиці для виконання вимоги запобігання неконтрольованим переміщенням ВЯП передбачаються відповідні технічні засоби, зокрема: технічні засоби, для запобігання переміщенням у разі перевантаження або недостатнього навантаження; кінцеві вимикачі для зупинки в крайніх положеннях механізмів кранового обладнання та уповільнення їх руху перед зупинкою (Рисунок 10), аварійні кінцеві вимикачі; аварійні гальма; обмежувачі руху; технічні засоби для заборони: одночасного переміщення вантажу більш ніж в одному напрямку, переміщення в горизонтальному напрямку в разі недостатньо піднятого вантажу, неконтрольованих переміщень унаслідок хибних команд з пульта управління за його відмов, одночасної роботи з декількох пультів управління, несанкціонованих переміщень під час відновлення електроживлення блокування; блокування в разі перевантаження вантажопідіймальних механізмів для унеможливлення пошкодження ВТВЗ у разі застрягання чи затирання та унеможливлення розгойдування під час транспортування вантажу тощо.

У крановому обладнанні СВЯП-2 та ЦСВЯП передбачені зазначені технічні рішення.

Надійність транспортно-технологічних операцій з ВЯП

Для виконання цієї норми використовуються вимоги НП 306.2.221-2019 [2] та ASME NOG-1-2010 [4] щодо швидкостей переміщення та точності позиціонування захватних елементів кранового обладнання.

Згідно з р. 2 гл. 2 п. 12 НП 306.2.221-2019 [2] «ТТО для переміщення ЯП та ВТПК має основну/основні та (за необхідності), доводочну, проміжну транспортні швидкості, які встановлюються в проекті. Швидкість переміщення унеможливує пошкодження ЯП та обладнання».

Примітка: ВТПК – внутрішньо-об'єктовий транспортний пакувальний комплект, ТТО – транспортно-технологічне обладнання, ЯП – ядерне паливо.

Згідно з р. 3 гл. 2 п. 3 НП 306.2.221-2019 [2] «захват... розміщується над захватним пристроєм упаковки, чохла, ТВЗ із точністю, що забезпечує зчеплення, підймання та/або переміщення вантажу без заїдань, зміщень та/або ударів».

У п. 5330 ASME NOG-1-2010 [4] вказані рекомендації до швидкостей переміщення залежно від величини навантаження «Номінальні швидкості переміщення з вантажем для лебідки, моста і візка повинні бути такими, щоб забезпечити контрольоване поведіння з вантажами, на які кран розрахований. Такі швидкості залежать від характеру вантажу, габаритів вантажу, положення оператора, ваги вантажу, необхідної точності позиціонування і типу приводу. Розрахункова номінальна швидкість переміщення з вантажем, рекомендована в пп. 5331, 5332 і 5333, була встановлена на підставі стандартного часу реакції оператора і характеристик приводу, які дозволять зупинити й утримувати вантаж».

На практиці для виконання вимоги надійності транспортно-технологічних операцій з ВЯП в контексті швидкостей переміщення в проектних рішеннях кранового обладнання передбачається основна та доводочна (або регулювання швидкостей) швидкість під час операцій з ВЯП.

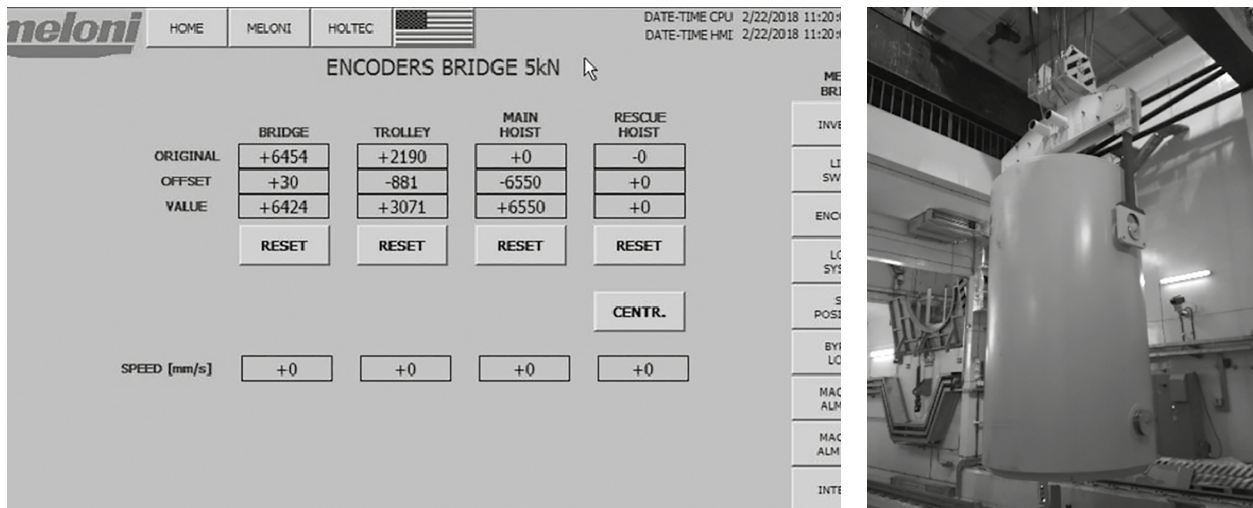


Рисунок 11 – Приклад реалізації вимоги стосовно точності позиціонування кранового обладнання

В процесі переміщення на основній швидкості унеможлиблюється сильне розгойдування ВЯП, яке може призвести до пошкодження ВЯП та обладнання.

Також передбачається автоматичний перехід з основної на доводочну швидкість під час:

наближення ВЯП (контейнерів з ВЯП) до місць його встановлення чи елементів конструкції на шляху слідування;

наближення захватних елементів крану до ВЯП (контейнерів з ВЯП).

У НД відсутні конкретні вимоги до точності розташування захвату. Ця величина безпосередньо має залежати від конструкції самого захвату та захватних елементів.

На практиці для виконання вимоги надійності транспортно-технологічних операцій з ВЯП у контексті точності позиціонування захватних елементів установлюють значення точності та передбачають проєктні рішення із забезпечення контролю координат позиціонування захватних елементів (Рисунок 11).

Точність позиціонування захватних елементів повинна бути достатньою для безпечного та надійного захвату ВЯП (контейнерів з ВЯП).

У крановому обладнанні СВЯП-2 та ЦСВЯП передбачені зазначені технічні рішення.

Запобігання пошкодженню ВЯП в аварійних умовах

Для виконання цієї норми використовуються вимоги НП 306.2.105-2004 [1], НП 306.2.221-2019 [2] та НПАОП 0.00-1.80-18 [3] щодо надійності утримання вантажу в разі втрати електроживлення.

Згідно з пп. 6.7.5 НП 306.2.105-2004 [1] «Електродвигуни механізмів транспортно-технологічного обладнання для транспортування ВЯП, відмови яких можуть призвести до аварії, мусять

мати живлення з резервуванням. Мають бути передбачені ручні приводи, що забезпечують можливість приведення систем у безпечний стан при припиненні електропостачання, а також блокування підйомно-транспортних механізмів».

Згідно з р. 2 гл. 2 п. 13 НП 306.2.221-2019 [2] «Конструкція ВПМ та іншого ТТО для поводження з ЯП унеможлиблює його неконтрольоване та/або самовільне переміщення, а також падіння ЯП у разі припинення чи поновлення електроживлення».

Згідно з р. 3 гл. 2 п. 3 НП 306.2.221-2019 [2] «захват залишається в закритому положенні в разі припинення подачі електроживлення; за допомогою блокування унеможлиблюється розчеплення захвату... яке може виникнути самовільно або внаслідок помилки персоналу».

Згідно з р. VIII п. 9 (7) НПАОП 0.00-1.80-18 [3] «Система керування електродвигунами вантажопідіймального крана чи машини має унеможлилювати: самозапуск електродвигунів після відновлення електропостачання вантажопідіймального крана чи машини».

На практиці для виконання вимоги запобігання пошкодженню ВЯП в аварійних умовах передбачаються технічні засоби для ручного переміщення вантажу в безпечне положення і його опускання в разі відсутності електропостачання (якщо немає такої можливості – підтверджується надійність утримання вантажу до відновлення електроживлення, з подальшою можливістю переміщення вантажу), технічні засоби для блокування падіння та переміщення вантажу в разі втрати електроживлення та засоби для запобігання самовільному переміщенню крана після відновлення електроживлення, резервування живлення електродвигунів, додаткові механічні блокування захватів тощо (Рисунок 12).

У крановому обладнанні СВЯП-2 та ЦСВЯП передбачені зазначені технічні рішення.



Рисунок 12 – Приклад реалізації запобігання пошкодженню ВТВЗ в аварійних умовах

Висновки

Згідно з НП 306.2.105-2004 [1] та НП 306.2.221-2019 [2] для запобігання пошкодженню твєлів під час транспортно-технологічних операцій поводження з ВЯП необхідно забезпечити: запобігання падінню ВЯП і неконтрольованим переміщенням ВЯП, надійність операцій з ВЯП та запобігання пошкодженню ВЯП в аварійних умовах.

У технічних НД НПАОП 0.00-1.80-18 [3], ASME NOG-1-2010 [4], ANSI N14.6-1993 [5] установлені вимоги до конструкції кранового обладнання. В результаті аналізу встановлено, що вимоги НД США не протирічать, а доповнюють вимоги НД України. Реалізація вимог зазначених документів, загалом, забезпечує досягнення запобігання пошкодженню твєлів.

У результаті аналізу виконання вимог зазначених НД щодо транспортно-технологічного обладнання сховищ ВЯП, які споруджуються в Україні, можемо зробити висновок, що у технічних рішеннях кранового обладнання СВЯП-2 та ЦСВЯП передбачено виконання цих вимог, зокрема вимог до:

- конструктивних рішень;
- розрахункових обґрунтувань міцності, надійності та стійкості до зовнішніх впливів.

Результати цього дослідження використовуються в експертній діяльності ДНТЦ ЯРБ з ліцензування СВЯП-2 та ЦСВЯП. Зокрема, під час аналізу документації та участі у випробуваннях ВБ кранового обладнання сховищ акцентується увага на якості виготовлення, достатності конструкційних рішень та елементів безпеки, роз-

рахункових обґрунтувань безпеки, здатності кранового обладнання виконувати свої функції тощо.

Список використаної літератури

1. НП 306.2.105-2004. Основні положення забезпечення безпеки проміжних сховищ відпрацьованого ядерного палива сухого типу. Затвердж. Наказом Державного комітету ядерного регулювання України 29.12.2004 № 198, зареєстр. в М-ві юстиції України 17.01.2005 за № 49/10329.
2. НП 306.2.221-2019. Вимоги безпеки під час поводження з ядерним паливом. Затвердж. наказом Держатомрегулювання від 21.06.2019 № 269, зареєстр. в М-ві юстиції України 30.07.2019 за № 833/33804.
3. НПАОП 0.00-1.80-18. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Затвердж. наказом М-ва соціальної політики України 19.01.2018 № 62, зареєстр. в М-ві юстиції України 27.02.2018 за № 244/31696.
4. ASME NOG-1-2010. Rules for Construction of Overhead and Gantry Cranes (Top Running Bridge, Multiple Girder). ASME, 12 July 2010. 180 p.
5. ANSI N14.6-1993. Radioactive Materials – Special Lifting Devices for Shipping Containers Weighing 10 000 Pounds (4500 kg) or More. ANSI, January 1993. 17 p.

References

1. NP 306.2.105-2004. Basic safety provisions for intermediate dry spent nuclear fuel storage facilities approved by SNRIU Order No. 198 dated 29 December 2004 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 17 January 2005 under No. 49/10329.

2. NP 306.2.221-2019. Safety requirements for nuclear fuel handling approved by SNRIU Order No. 269 dated 21 June 2019 and registered in the Ministry of Justice of Ukraine on 30 July 2019 under No. 833/33804.

3. NPAOP 0.00-1.80-18. Rules of labor protection during operation of cranes, hoisting devices and corresponding equipment approved by Order of the Ministry of Social Policy of Ukraine No. 62 dated 19 January 2018 and registered in the Ministry of Justice on 27 February 2018 under No. 244/31696.

4. ASME NOG-1-2010. Rules for construction of overhead and gantry cranes (top running bridge, multiple girder). ASME, 12 July 2010, 180 p.

5. ANSI N14.6-1993. Radioactive Materials – special lifting devices for shipping containers weighing 10 000 pounds (4500 kg) or more. ANSI, January 1993, 17 p.

Prevention of Damage to Spent Nuclear Fuel during Handling Operations

Sapon M., Gorbachenko O., Kondratyev S., Krytsky V., Mayatsky V., Medvedev V., Smyshlyaeva S.

State enterprise «State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation safety», Kyiv, Ukraine

According to regulatory requirements, when carrying out handling operations with spent nuclear fuel (SNF), prevention of damage to the spent fuel assemblies (SFA) and especially fuel elements shall be ensured.

For this purpose, it is necessary to exclude the risk of SFA falling, SFA uncontrolled displacements, prevent mechanical influences on SFA, at which their damage is possible.

Special requirements for handling equipment (in particular, cranes) to exclude these dangerous events, the requirements for equipment strength, resistance to external impacts, reliability, equipment

design solutions, manufacturing quality are analyzed in this work. The requirements of Ukrainian and U.S. regulatory documents also are considered.

The implementation of these requirements is considered on the example of handling equipment, in particular, spent nuclear fuel storage facilities.

This issue is important in view of creation of new SNF storage facilities in Ukraine. These facilities include the storage facility (SFSF) for SNF from water moderated power reactors (WWER): a Centralized SFSF for storing SNF of Rivne, Khmelnytsky and South-Ukraine Nuclear Power Plants (CSFSF), and SFSF for SNF from high-power channel reactors (RBMK): a dry type SFSF at Chernobyl nuclear power plant (ISF-2). After commissioning of these storage facilities, all spent nuclear fuel from Ukrainian nuclear power plants will be placed for long-term “dry” storage. The safety of handling operations with SNF during its preparation for long-term storage is an important factor.

Keywords: spent nuclear fuel, storage of spent nuclear fuel, SFA, handling equipment, handling operations, ISF-2, CSFSF.

Отримано 05.05.2020.