

Имя пользователя:
Баранюк Александр Володимирович

ID проверки:
1011544878

Дата проверки:
11.06.2022 10:08:19 EEST

Тип проверки:
Doc vs Internet + Library

Дата отчета:
11.06.2022 10:09:53 EEST

ID пользователя:
100007114

Название файла: TYa82-TymoshenkoVC-specialquestion-2022

Количество страниц: 23 Количество слов: 4298 Количество символов: 30640 Размер файла: 342.99 KB ID файла: 1011417091

3.56% Совпадения

Наибольшее совпадение: 3.33% с источником из Библиотеки (ID файла: 1000051890)

Не найдено источников из Интернета

3.56% Источники из Библиотеки 16

Страница 25

0% Цитат

Исключение цитат выключено

Исключение списка библиографических ссылок выключено

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы 10

3. ОБГРУНТУВАННЯ БЕЗПЕКИ ПЕРЕВОДУ БЛОКІВ АЕС ЗІ ЗБІРОК ТВЗА НА ТВЗ-W

3.1 Опис тепловиділяючих збірок

3.1.1 Тепловиділяюча збірка альтернативна, ТВЗА

ТВЗА складається з наступних складових частин: головки, пучка ТВЕЛів, хвостовика.

Головка з'єднана з пучком ТВЕЛів за допомогою роз'ємного з'єднання, а пучок ТВЕЛів з'єднаний з хвостовиком допомогою зварювання.

Конструкція головки призначена для виконання наступних функцій:

- забезпечує роз'ємне з'єднання головки ТВЗА з пучком ТВЕЛів;
- забезпечує необхідне зусилля підтискання ТВЗА в реакторі;
- взаємодіє з захватним пристроєм транспортно-технологічного обладнання;
- захищає від механічного пошкодження верхні торці ТВЕЛів при перевантаженнях ТВЗА;
- стабілізує вихід потоку теплоносія з активної зони;
- демпфує падіння ПС СУЗ зі штангою приводу при спрацьовуванні АЗ;
- забезпечує введення в ТВЗА збірки внутрішньореакторних детекторів.

Конструкція головки ТВЗА дозволяє компенсувати можливу різницю у величині радіаційного зростання окремих НК, а також розподіляти осьову навантаження на всі 18 НК при переміщенні ТВЗА у вертикальному положенні. З'єднання головки ТВЗА з НК пучка ТВЕЛів здійснюється за допомогою гайок, закріплених на верхніх кінцях НК таким чином, щоб не допустити самовільного розчіплювання головки ТВЗА з пучком ТВЕЛів. Знімання головки забезпечує доступ до верхніх торців ТВЕЛів для огляду і наступних необхідних дій.

Для забезпечення достовірного вимірювання температури теплоносія на виході з ТВЗА з термометричною головкою в голівці передбачено 3 трубки, що проходять від відбійною решітки через пружинний блок, у верхню обичайку.

Теплоносій після виходу з пучка ТВЕЛ через дану трубку під дією перепаду тиску між нижньою плитою БЗТ і простором в трубі БЗТ надходить безпосередньо в місце розташування термопари.

Пучок ТВЕЛів збирається з 312 ТВЕЛів і ТВЕГів в каркасі, що складається з 18 НК, ЦТ, 15 ДР, 6 куточків і нижньої решітки.

НК призначені для введення і вилучення ПС СУЗ в залежності від місця розташування ТВЗА в активній зоні. У складі каркаса пучка ТВЕЛів НК є несучими елементами ТВЗА, що з'єднують голівку і пучок і сприймають навантаження при транспортно-технологічних операціях.

НК являє собою трубу з зовнішнім діаметром цирконієвого сплаву 12,6 мм і внутрішнім діаметром 10,9 мм з наконечником у нижній частині, який фіксується за допомогою нарізного сполучення в нижній решітці. Направляючий канал може приєднуватися до нижньої решітці за допомогою зварювання. У верхній частині НК переходить в сталеву втулку, на якій здійснюється з'єднання НК з голівкою ТВЗА допомогою гайки. З'єднання НК зі сталеву втулкою відбувається за допомогою обтиску.

У наконечнику НК в нижній частині виконані 4 отвори діаметром 2 мм з метою забезпечення проходу теплоносія для охолодження ПЕЛ. Наконечник НК з'єднується з трубою за допомогою контактнo-стикoвoгo або електронно-променевогo зварювання.

ЦТ за своєю конструкцією аналогічна НК, має перфорацію по висоті і призначена для розміщення елементів КВП. Матеріал ЦТ – цирконієвий сплав. Наконечник ЦТ з'єднується з трубою за допомогою контактнo-стикoвoгo або електронно-променевогo зварювання.

ДР призначені для дистанціювання ТВЕЛів в пучку за рахунок пружних деформацій осередків ДР і підтримки заданого положення ТВЕЛів протягом терміну експлуатації. ДР являє собою набір осередків шестигранної форми, укладених в обід. Осередки між собою і ободом з'єднані за допомогою

контактного точкового зварювання. Матеріал ДР - цирконієвий сплав (Zr+1%Nb).

Куточок являє собою кутовий профіль зі смуги товщиною 0,65 мм з виконаними на ньому ребрами жорсткості в прольотах між ДР. Матеріал куточка - цирконієвий сплав.

ТВЕЛ складається з оболонки зовнішнім діаметром 9,1 мм, заповненої таблетками з діоксиду урану і загерметизованої з обох сторін заглушками. Для збору газоподібних продуктів поділу, що виділяються в процесі експлуатації, у верхній частині ТВЕЛу передбачений газозбірник. Стовп паливних таблеток зафіксований від переміщень фіксатором у вигляді пружини стиснення, що складається з компенсує і що фіксує груп витків, а також перехідного витка. Компенсуюча група витків має діаметр менше внутрішнього діаметра оболонки ТВЕЛу і призначена для стиснуті стовпа паливних таблеток з метою виключення виникнення між ними зазорів. Фіксуюча група витків, що має діаметр більше внутрішнього діаметра оболонки ТВЕЛу, забезпечує установку фіксатора в оболонці в заданому положенні. Конструкція нижньої заглушки дозволяє кріпити ТВЕЛ в нижній решітці ТВЗА. Герметизація ТВЕЛу здійснюється зварюванням, нижня заглушка приварюється контактнo-стикoвого або електронно-променевої зварюванням, а верхня заглушка приварюється контактнo-стикoвого зварюванням. Для запобігання зминання оболонки в процесі експлуатації і поліпшення теплопередачі від палива до оболонки внутрішній об'єм ТВЕЛу заповнений гелієм під тиском. Матеріал заглушок і оболонки - цирконієвий сплав (Zr+1%Nb).

Над нижньою заглушкою, що приварюється контактнo-стикoвого зварюванням, встановлюється проставка у вигляді циліндра. Матеріал проставки - нержавіюча сталь типу 08X18H10T.

ТВЕГ є модифікацією ТВЕЛу, конструктивно виконаний як ТВЕЛ і заповнений таблетками з діоксиду урану з добавкою оксиду гадолінію.

Хвостовик ТВЗА являє собою опорну зварену конструкцію з опорою на сферичну поверхню. На зовнішній поверхні хвостовика є фіксатор, який, взаємодіючи з відповідним пазом стояка шахти реактора, забезпечує відповідне положення ТВЗА в активній зоні. Матеріал хвостовика - сталь типу 08X18H10T.

ПС СУЗ в складі ТВЗА в активній зоні призначені для управління процесами пуску, підтримки і зміни рівня потужності РУ, придушення ксенонових коливань. ПС СУЗ складається з 18 ПЕЛ, головки і пружин індивідуальної підвіски.

3.1.2 Опис тепловиділяючої збірки ТВЗ-W

Тепловиділяючі збірки типу ТВЗ-W є альтернативним паливом для АЕС України з реакторами ВВЕР-1000. Є необхідність збільшити паливну кампанію ядерного реактора у зв'язку з нестачею енергетичної потужності в об'єднаній енергосистемі України, особливо в зимній період. Це пов'язано з значним зменшенням поставок органічного палива за останні роки, та старінням енергетичного обладнання українських ТЕС та ТЕЦ. Також паливо ТВЗ-W є паливом нового покоління, у ньому використовуються нові матеріали, удосконалена конструкція, вищі техніко-економічні показники та паливо використання. Більш герметичні, ніж ТВЗА, за рахунок використання щільнішого сплаву цирконію.

Особливістю цього типу палива є:

- відсутність центрального отвору в паливній таблетці;
- збільшення маса палива в збірці за рахунок стоншування товщини оболонки ТВЕЛ, збільшення розмірів паливної таблетки, зменшення газового зазору, відсутності центрального отвору;
- теплотехнічна надійність ТВЗ-W дозволяє збільшити середню глибину вигорання палива в ТВЕЛ до 62 МВт·доб./кгU;
- збільшена мікроструктура палива, що дозволяє збільшити гранично допустиму температуру палива на осі паливного блоку;

- застосування нових видів конструкційних матеріалів (цирконієві сплави ZIRLO, Ціркалой-4 і Zr1%Nb). Основні технічні та експлуатаційні характеристики ПЗ ТВЗ-W представлені в таблицях 1.1-1.2.

Таблиця 1.1 – Технічні та експлуатаційні характеристики ПЗ ТВЗ-W

1.Масса палива (двоокису урану), кг	550,6±5
2.Паливо	UO ₂
3.Інтегрований вигоряючий поглинач	Gd ₂ O ₃
4.Збагачення палива по урану-235,%	(2.0-4,4)±0.05
5.Масса ПЗ, кг	755
6. Діаметр оболонки ТВЕЛУ / ТВЕГа, мм (номінальний)	
- внутрішній	8,0
- зовнішній	9,1
7. Кількість направляючих каналів в збірці	18
8. Кількість ЦТ в збірці	1
9. Діаметр напрямних каналів і ЦТ, мм	
- внутрішній	11,0
- зовнішній	12,6
10. Матеріал оболонки ТВЕЛ / ТВЕГ, направляючих каналів і ЦТ	сплав ZIRLO
11. Кількість решіток в зоні стовпа палива	15 (13-Zr1%Nb, 2- сплав Alloy718)
12. Тиск He-газу під оболонкою ТВЕЛУ / ТВЕГа, МПа (номінальне)	1,896
13. Допустиме максимальне середнє вигорання ТВЕЛа / ТВЕГа, МВт·доб. / кг U	62

Таблиця 1.2 – Параметри паливних таблеток

Параметр	Значення
Таблетка центральної зони/бланкету	суцільна
Зовнішній діаметр таблетки в центральної зони, мм	7,84
Висота таблетки, мм центральної зони /бланкету	9,4
Поглиблення на торці циліндра, мм	0,23
Фаска таблетки, мм×мм	0,51×0,13
Максимальна мас. частка водню (H ₂), менше ніж, ваг. 10 ⁻⁴ %	0,65
Сумарний борний еквівалент, менш, ваг. 10 ⁻⁴ %	2,36

3.1.3 Опис тепловиділяючої збірки ТВЗ-WR

ТВЗ-WR – це конструкція міцної паливної збірки Westinghouse, яка є модифікацією збірки ТВЗ-W. Вона стала стандартним паливним продуктом Westinghouse для блоків ВВЕР-1000 в Україні. Конструкція ТВЗ-WR є розвитком попередньої конструкції палива для ВВЕР-1000 – ТВЗ-W.

У ТВЗ-WR введені механічні особливості та міцніші матеріали, щоб уникнути пошкоджень від механічних впливів при завантаженні та вивантаженні АкЗ. Збірка ТВЗ-WR продемонструвала відмінні експлуатаційні характеристики та надійність у ході експлуатації. Крім того, вона розроблена для умов, які слідують за плановими підвищеннями потужності, а також роботою відповідно до навантаження.

Westinghouse також представляє модифікований проект ТВЗ-WR для атомної електростанції Темелін у Чеській Республіці. Нова конструкція, яка була продемонстрована в рамках програми «Випробувальна збірка» (Lead Test Assembly, LTA), буде включати меншу кількість дистанційних решіток, щоб було сумісне поєднання з паливом не виробництва Westinghouse, а також

модернізацію матеріалів для подальшого підвищення паливної економічності та продуктивності.

Опис та переваги:

- Нижній патрубок – включає конус на нижній частині всіх шести граней та збільшені розриви кромок, що зводить до мінімуму механічну взаємодію під час завантаження збірки.
- Верхній патрубок – знімний для ремонту паливних стрижнів та оснащений дефлекторами для полегшення завантаження АкЗ.
- Ґрати – механічна міцність збільшена за рахунок використання матеріалу Inconel 718 для всіх 16 решіток у всіх напрямках та більш міцних зовнішніх стрижнів.
- Паливні ТВЕЛи – всього 312 із трубками оболонки ZIRLO®. Довгі міцні нижні торцеві заглушки для захисту від зношування.
- Каркас – трубки та інструментальна трубка ZIRLO®, мають подвійні опуклості до втулок решіток, у результаті дуже міцна структура.

Продукція Westinghouse TB3-WR була поставлена на шість різних блоків ВВЕР-1000 в Україні, при цьому загальна кількість поставлених ТВЗ (включаючи ТВЗ-W) вже перевищила 1000 штук. Результати та дослідження палива показують відмінні характеристики як конструкцій ТВЗ-W, так і ТВЗ-WR. Деформація ПЗ була дуже обмеженою, з вигином та круткою менше 10 мм.

Технічні дані ПЗ ТВЗ-WR наведені у таблиці нижче:

Маса палива (в паливному стрижні/паливній збірці)	1.77/550.8 кг UO ₂
Основа паливної труби по відношенню до Rb-площини	228,4 мм
Ширина ПЗ	234 мм

Внутрішній/зовнішній діаметр штоку	8,001/9,144 мм
Діаметр гранул	7,844 мм
Тип матеріалу стрижня	ZIRLO®
Види матеріалів ПЗ у основних деталей	Stainless Steel/ZIRLO®
Кількість ТВЕЛів на ПЗу	312
Кількість інструментальних трубок	1
Кількість напрямляючих трубок	18
Крок паливного стрижня	12,75 мм
Кількість ґратів (всіх типів) на ПЗу	16
Довжина ПЗ	3898 мм
Внутрішній тиск ПЗ	2 МПа
Внутрішній газовий склад ТВЕЛів	HE

3.2 Порівняння паливних циклів реактора ВВЕР-1000 з використанням палива ТВЗА та ТВЗ виробництва Вестингауз

3.2.1 Порівняння характеристик збірок

Теплогідравлічний аналіз сумісності тепловиділяючих збірок різних постачальників повинен базуватися на гідравлічних характеристиках всіх ТВЗ, приведених до єдиної форми, прийнятої для проведення теплогідравлічного аналізу.

Методика подання коефіцієнтів гідравлічного опору (КГО) компонентів ТВЗ для аналізу сумісності заснована на наступному:

- Прохідний перетин ТВЗ розраховується за номінальними розмірами в холодному стані на початку кампанії;
- КГО компонентів ТВЗ приведені до середньої температури в АЗ.;
- КГО компонентів ТВЗ представлені при числі Рейнольдса (Re), рівному 500000;

- КГО компонентів ТВЗ приведені до середньої швидкості теплоносія в пучку ТВЕЛів;

- Витрата теплоносія в пучку ТВЕЛів розраховується виходячи з витрати теплоносія через реактор за вирахуванням всіх протікання, що не беруть участь в охолодженні ТВЕЛів.

Значення КГО тепловиділяючих збірок, використовувани в розрахунку і приведені до середньої швидкості теплоносія в пучку ТВЕЛів, середній температурі теплоносія 305 ° С для прохідного перетину ТВЗ, розрахованого за номінальними розмірами в холодному стані на початку кампанії, при $Re = 500000$ представлені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – КГО у наведеному вигляді при $Re = 500000$ для ТВЗА і ТВЗ-W

Параметр	ТВЗА	ТВЗ-W
КГО частин ТВЗ		
Вхід до ТВЗ (хвостовик + необігриваєма частина ТВЕЛів)	0,71	0,97
Активна частина ТВЗ (обігриваєма частина ТВЕЛів + 13 решіток)	8,58	11,53
Вихід з ТВЗ (головка + 2 решітки + необігриваєма частина ТВЕЛів)	2,58	2,10
ТВЗ в цілому	11,87	14,60
КГО компонентів ТВЗ		
ДР	0,31	0,52
Кількість дистанціонуючих решіток	15	15
Нижня ДР	-	0,59
Хвостовик	0,67	0,30
Головка	1,65	0,69

Пучок стержнів	4,90	5,22
ТВЗ в цілому	11,87	14,60
Прохідний перетин ТВЗ, м ²	0,02538	0,02537
Частка протікання через направляючі канали	0,01	0,016

Результати гідравлічних тестів ТВЗ компанії «Вестінгауз», показали, що розрахункові значення КГО компонентів і всієї ТВЗ не перевищують вимірних значень.

Конструкція ТВЗ-W допускає зміщення у ході експлуатації частини ТВЕЛів до хвостовика. Зсув ТВЕЛів вниз і торкання заглушок ТВЕЛів хвостовика призводить до незначної зміни гідравлічних характеристик ТВЗ-W і не впливає на результати аналізу.

Порівняльна характеристика основних технічних і експлуатаційних показників ТВЗ (збірки ТВЗА та ТВЗ-W) представлені в таблицях 2.2 та 2.3.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика технічних показників

Параметр	ТВЗА	ТВЗ-W
Висота палива у холодному стані, мм	3535	3535
Маса ТВЗ номінальна, кг	713	755
Маса UO ₂ і (UO ₂ + Gd ₂ O ₃) в ТВЗ, кг	491,4±4,5	550,6±5
Загальна кількість ТВЕЛів і ТВЕГів в ТВЗ, шт.	312	312
ТВЕЛ:		
- Зовнішній діаметр оболонки, мм:	9,1	9,1
- Внутрішній діаметр оболонки, мм:	7,73	8,0
- Матеріал оболонки і заглушок ТВЕЛу (ТВЕГа)	(Zr+ 1 %Nb)	сплав ZIRLO
Таблетка в ТВЕЛі:		

- Матеріал	UO ₂ (UO ₂ +Gd ₂ O ₃)	UO ₂
- Зовнішній діаметр таблетки, мм	7,57	(UO ₂ +Gd ₂ O ₃)
- Діаметр центрального отвору		7,84
таблетки, мм:	1,4	0
- Висота таблетки, мм	9-14	9,4
Направляючий канал:		
- Кількість, шт.	18	18
- Матеріал;	(Zr+ 1%Nb+	сплав ZIRLO
- Зовнішній діаметр, мм	1,3%Sn+O,3%Fe)	
- Внутрішній діаметр, мм	12,6	12,6
	10,9	11
Центральна труба:		
- Кількість, шт.	1	1
- Матеріал	(Zr+ 1 %Nb+	сплав ZIRLO
	1,3%Sn+O,3%Fe).	
- Зовнішній діаметр, мм	13,0	12,6
- Внутрішній діаметр, мм	11,0	11
ДР:	15	15
- Кількість, шт.	(Zr+ 1%Nb)	(13-
- Матеріал		Zr1%Nb,2-
		сплав 718)
Максимальна збагачення по урану-235,%	4,4	4,4

Таблиця 2.3 – Порівняльна характеристика експлуатаційних показників

Параметр	ТВЗА	ТВЗ-В
----------	------	-------

Номинальна теплова потужність активної зони	3000	3000
Допустиме максимальне середнє вигоряння ТВЕЛУ, МВт · добу / кгU	59,1	62
Максимальний час експлуатації, еф. годин (проектна величина, не є обмеженням на експлуатацію)	28800	33600
Експлуатація протягом, років.	5	6

3.2.2 Опис системи зберігання свіжого палива

Зберігання свіжого палива на АЕС здійснюється у вузлі свіжого палива.

Вузол свіжого палива призначений для прийому, вхідного контролю, технічного огляду, зберігання, передачі тепловиділяючих збірок (ТВЗ), ПС СУЗ, СВП в реакторне відділення.

Конструкції вузла свіжого палива розрахована і запроєктована по I категорії сейсмостійкості з урахуванням МРЗ – 7 балів. Каркас будівлі виконаний в металі, панелі перекриття та покриття – збірні залізобетонні плити. Стіни виконані із збірних залізобетонних і легкобетонних панелей і металевих панелей.

Проектом ВСП передбачені такі заходи, що виключають можливість затоплення ВСП водою:

- Розташування ВСП вище нульової позначки (рівень підлоги виконан на 0,5м вище рівня підлоги сусідніх приміщень);
- Відсутність сусідніх приміщень, з яких вода може потрапити в ВСП;
- Відсутність ТП з водою, маслом, воднем в ВСП;
- Наявність на ВСП дренажної системи (у підлозі ВСП виконані дренажні закладні деталі Ø100 мм - 8 шт. для видалення води, що може потрапити у ВСП).

- Наявність на ВСП сигналізаторів виявлення води (у кількості 2 штуки).

Крім того, проектом виключається застосування води і піни для пожежогасіння.

Вузол свіжого палива розрахований:

- На зберігання двох перевантажень палива при 2-х річної кампанії реактора з запасом 20%, тобто 196 ТВЗ, які зберігаються в 11 чохлах по 18 ТВЗ в кожному (при 3-х і 4-х річних кампаніях необхідний запас менше);

- На зберігання 50 гермопеналов в трьох чохлах ємністю по 18 пеналів в КОЖНОМУ;

- Передбачено місце зберігання ТВЗ в 90 транспортних упаковочних комплектах для повної зони реактора з запасом 10%;

Оскільки спеціальні транспортні контейнери після доставки свіжих ТСВ-В на АЕС підлягають поверненню на завод-виробник палива, зберігання ТВЗ-В в ВСП здійснюється в чохлах свіжого палива.

Чохол з кришкою призначений для зберігання свіжих ТВЗ у вузлі свіжого палива та транспортування їх з вузла в реакторне відділення.

Конструкція чохла для свіжих касет являє собою циліндричну обичайку з днищем і кришкою для захисту від механічних пошкоджень при транспортуванні на станційній платформі. Корпус чохла складається з наступних основних елементів:

- Обичайка;
- Підстава;
- Дві решітки, розміщені по висоті всередині обичайки;
- Труба;
- Кронштейни, закріплюють решітки.

Кришка на корпусі чохла кріпиться чотирма гвинтовими фіксаторами. Чохол складається з корпусу, в якому закріплені дві решітки, підстави і труби. У ґратах встановлені разом втулки, які призначені для направлення касет при їх установці. У корпусі чохла є отвори для заповнення та зливу води і два

отвори для огляду та обмивки внутрішніх пристроїв чохла. Втулки у верхній решітці одночасно фіксують касети від розвороту при роз'єднанні їх зі штангою перевантажувальної машини. У нижній частині корпусу чохла з зовнішнього боку є три шпонки, за допомогою яких проводиться фіксація чохла при установці його в гніздо універсальне. Транспортування чохла проводиться краном за допомогою байонетного захоплення, головка якого встановлюється в верхню частину труби через центральний отвір в кришці чохла.

Основні технічні дані чохла для свіжих касет наведені в таблиці 2.4

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики чохла для свіжих касет

Параметр	Значення
Кількість які розміщені касет в чохол, шт.	18
Крок гнізд розміщення, мм	400
Висота чохла, мм	5665
Діаметр чохла, мм	2060
Товщина стінки корпусу, мм	10
Центральна штанга:	
-зовнішній діаметр, мм	200
- товщина стінки, мм	17

3.2.3 Порівняння маси витрат цирконію в ТВ3А та ТВ3-В

Дані маси завантаженого палива та витрат цирконію на одну ТВ3 представлені у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Маса палива та цирконію в одній ТВ3

Параметр	ТВ3А	ТВ3-В	Різниця
Маса двоокису урану, кг	553,451	498,339	55,11
Маса урану, кг	487,825	439,247	48,58

Маса оболонки, кг	104,879	128,56	23,681
Маса НК, кг	12,146	12,851	0,704
Маса ЦТ, кг	0,675	0,859	0,183
Сумарна маса цирконію, кг	117,7	142,27	24,57

З таблиць 2.3, 2.4 та 2.5 видно, що паливо ТВЗ-W є перспективним видом ядерного палива, що задовольняють умовам експлуатації в реакторах ВВЕР-1000. Застосування цих типів палива дозволить значно підвищити техніко-економічні показники підприємства, на якому воно буде використовуватися.

3.3 Важливі аспекти переходу

3.3.1 Передумови

Україна почала процес переходу зі збірок ТВЗА у 2005 році, але цій визначній події було досить багато роботи, пов'язаної насамперед з різницею у конструкції, а саме ТВЗА має шестигранну форму, а ТВЗ-Westinghouse завжди мали квадратну форму, паливо ТВЗА може працювати на підвищеній тепловій потужності та у тривалих ПЦ.

Ідеї щодо переходу на альтернативне паливо, яке виготовляє провідна ЯПОНО-американська компанія Westinghouse Electric належать ще до часів першого президента України – Леоніда Кучми, який розуміючи погані наслідки повної монополії, звернувся у 1994 до представників компанії з метою почати процес розроблення палива для країни. У 1996 році Міністерство енергетики США затвердило проект створення ядерного палива. У 1999 спільно з ННЦ Харківський фізико-технічний інститут почали розроблення спільного документу у розробці ТВЕЛів для реактора ВВЕР-1000 та було почато підготовку спеціалістів. Цей проект мав назву – Проект кваліфікації ядерного палива України. Усе це робилось для найшвидшого подолання технологічного відставання, яке тривало багато років, а також

значних інвестицій. Вже у 2005 році Westinghouse починає постачати Україні ядерне паливо: перші шість збірок було завантажено до третього енергоблоку ЮЖНО-Української АЕС у режимі експерименту, який назвали науково-виробничою експлуатацією. У 2008 році "Енергоатом" підписав контракт із Westinghouse на постачання у 2011-2015 свіжого ядерного палива для завантаження на не менше ніж у трьох українських реакторів ВВЕР-1000. Перші промислові поставки палива розпочалися у 2010 році, а вже у 2011 до проекту долучили блок №5 ЗАЕС. У липні 2018 року 3-й енергоблок ПАЕС став першим українським блоком, який повністю перейшов на паливо «Westinghouse».

3.3.2 Події, нюанси, які пов'язані з збірками ТВЗ-W

В Україні повний шлях до успішного запуску першого блоку с паливом марки Westinghouse тривав понад 10 років. Така суттєва затримка стосувалась ряду проблем з неполадками, спричиненими використанням американського палива.

В Україні у червні 2012 року на ПАЕС компанія Енергоатом прийняла рішення вивантажити паливо американської компанії Westinghouse із реакторів другого та третього енергоблоків ПАЕС через відхилення у роботі ТВЗ. Зокрема були виявлені пошкодження обода ґратів, бо збірки не витримують температурний режим усередині реактора.

Також були проведені різні моделювання усіх видів палива АкЗ змішаного типу за критеріями безпеки до максимальної температурі оболонки ТВЕЛів у подіях аналізу проектних аварій для РУ типу ВВЕР-1000. Проведення технічної експертизи потребувало моделювання палив за допомогою розрахункових кодів – RELAP5 та MOD 3.2. Були розглянуті такі найпоширеніші ситуації, як то відключення/заклинювання 1 або 2 ГЦН, розрив холодної нитки ГЦТ.

Для моделювання заклинювання ГЦН використана розрахункова модель, адаптована з урахуванням консервативних припущень, що застосовуються в представницьких аварійних послідовностях:

- при заклинюванні швидкість обертання ГЦН-2 знижується до нуля за 0,1 с;
- дії оперативного персоналу не враховуються;
- постулюється втрата електропостачання власних потреб у початковий час;
- затримка спрацьовування сигналу АЗ від початку вихідної події – 1,8 с.

Оскільки розглядається вплив на пікове значення температури одразу після заклинювання ГЦН, то розрахунковий аналіз обмежений часом 50 с. Енерговиділення в гарячих каналах № 1-4 змінено з урахуванням формування умов локального гарячого підканалу навколо гарячого ТВЕЛа для кількох елементів. При цьому коефіцієнт нерівномірності енерговиділення каналу становить $K_q=1,74$. Параметри та результати розрахунку стану моделі такі:

	ТВЗА	ТВЗ-W
Витрата через гарячий канал ТВЗА, м ³ /ч	460	406
Максимальна температура оболонки ТВЕЛів	615	685

Висновок: за цим моделюванням обидві збірки не порушують цілісність оболонки ядерного палива, оскільки температура пошкодження ТВЕЛів дорівнює 1200°C.

Розрахункове моделювання МПА: її розрахунок є варіант завантаження 42 ТВЗ-W, ТВЗ-WR в активну зону з ТВЗА. Коефіцієнт нерівномірності енерговиділення гарячого каналу дорівнює 1,35 при нерівномірності потужності ТВЕЛів 1,5.

Граничні умови аналізу:

-передбачається двостороннє витікання течії на вході у реактор;

-обирається опція гомогенного закінчення на протікання;

-Енерговиділення в активній зоні після спрацьовування АЗ -

консервативно збільшується на 10%;

-постулюється втрата електропостачання власних потреб початку

розрахунку;

-передбачається одинична відмова у системі надійного

електропостачання – відмова одного дизель-генератора;

-як додаткова відмова, приймається відмова однієї гідроємності САОЗ АкЗ, що подає воду в нижню камеру змішування реактора;

-для систем САОЗ ВТ та НТ тиску використовується мінімальна витрата охолоджуючої води;

-температура води САОЗ ВТ приймається рівною 55°C під час подачі з власних баків. Після переключення на подачу через ТОА САОЗ, температура води приймається рівною 70°C

Даний розрахунковий аналіз виконано за допомогою розрахункового коду RELAP5/MOD3.2 з гомогенним витіканням. Отримані наступні результати розрахункового аналізу (табл. 3.1):

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку МПА для різних комбінацій завантаження АЗ

Варіант АЗ	Перший пік температури оболонки, °C	Другий пік температури оболонки, °C
163 ТВ3А (усі)	874	849
42 ТВ3-W	864	901
42 ТВ3-WR	867	1099
163 ТВ3-WR (усі)	850	1074

Висновок: у підсумку цього аналізу, констатую, що використання ТВ3-WR в АкЗ змінює перебіг проектної аварії: збільшує максимальну

температуру оболонки ТВЕЛів у порівнянні з ТВЗА. Повне завантаження ТВЗ-WR в АкЗ погіршує охолодження палива в аварійних режимах, хоча є не критичне, але необхідно проведення додаткового аналізу АкЗ за різних варіантів завантаження.

3.3.3 Результати та аналіз безпеки циклу

У 2010 році 42 тепловиділяючі збірки Westinghouse були завантажені в АЗ Південноукраїнської атомної електростанції після чотирьох успішних циклів із 6 збірками Westinghouse. Обсяг документів, що обґрунтовують безпеку, необхідні для затвердження цієї змішаної активної зони регулюючими органами, було значно розширено, зокрема, за рахунок розробки та впровадження нових методологій та тривимірних кінетичних кодів. Також було проведено додаткову верифікацію для всіх використовуваних кодів. Незважаючи на властиву змішаній АкЗ гідравлічну нерівномірність, вдалося продемонструвати, що всі конструктивні та експлуатаційні обмеження для трьох різних видів палива, завантажених у АкЗ, консервативно дотримуються.

Змішана АкЗ, що складається з декількох видів палива, була спроектована з використанням розроблених Westinghouse методологіями і комп'ютерними кодами. Ключові ядерні параметри АкЗ вимірювалися на МКР та протягом усього робочого циклу. Отримані таким чином дані порівнювалися з прогнозними. Крім того, було виконано великий обсяг робіт з атестації системи розрахунків ядерного проекту.

Ці зусилля включали таке:

- Порівняння прогнозних проектних характеристик ядерних реакторів та вимірних даних із заводськими даними для АкЗ, повністю або частково (більше $\frac{3}{4}$) завантажених паливом типу ТВЗА.

• Порівняння прогнозованих коефіцієнтів нерівномірності енерговиділення з розрахунками Монте-Карло, виконаними з використанням коду MCNPX.

У таблиці 3.2 наведено середньоквадратичні відхилення передбачених і виміряних ядерних параметрів на основі даних восьми різних ПЦ.

Таблиця 3.2 – Середньоквадратичні відхилення передбачених і виміряних ядерних параметрів

Параметр	Позначення Од.вим.		Середнє відхилення
Критична концентрація бору	$C_{вкр}$	г/кг	0,24
Температурний коефіцієнт реактивності (паливо + сповільнювач)	$\partial\rho/\partial t$	$10^{-3}\%/^{\circ}\text{C}$	0,94
Коефіцієнт реактивності по бору	$\partial\rho/\partial C$	%/г/кг	0,11

Експериментальні дані були отримані та порівнювалися з даними кількох ПЦ. Експериментальні дані були отримані зі стандартних родієвих детекторів In-Core Monitoring System. Результати аналізу сукупності даних:

- В межах $\pm 0,04$ прогнозовані і виміряні коефіцієнти нерівномірності енерговиділення по об'єму (K_v) збігаються на 95%
- В рамках \pm в діапазоні 0,02 розрахункова та виміряна відносна потужність ТВЗ (K_q) узгоджуються в межах більше 95% (для $K_q = 1,35$ похибка розрахунку не перевищує 1,5%).

Усі 42 збірки успішно працювали протягом усього циклу. Довжина ПЦу становила 270,3 дні ефективної повної потужності. Через обмеження, що накладаються вимогами електромережі, частина циклу установка працювала на малій потужності. Під час роботи моніторинг АкЗ здійснювався штатними системами. Порівняння вимірювань і прогнозів для критичної концентрації бору, розподілу потужності протягом циклу, та

коефіцієнтів реактивності показало, що відмінності були в межах невизначеності методології розрахунку. Моніторинг АкЗ здійснювався внутрішньою системою моніторингу на основі вимірювань детектора з автономним живленням з використанням апаратно-програмного набору BEACON. За наполяганням українського регулятора була проведена додаткова перевірка системи BEACON, яка продемонструвала надійну роботу навіть при роботі менше чотирьох петель теплоносія реактора.

Активність теплоносія протягом циклу була в робочих межах і мала достатній запас по сумарній питомій активності $I^{131-135}$.

Аналіз герметичності ТВЗ, проведений під час роботи реактора, виявив дефект «незначного витоку газу». Відповідно до достійної експлуатаційної програми для підключення у 2011 році, ТВЗ-W були візуально оглянути.

Таблиця 3.3 – Наведений обсяг та результати перевірок

Тип перевірки	Результати
Сила опору ТВЗ-W	Сила опору не перевищувала 50 кгс. Одна ТВЗ мала максимальну силу опору ~80 кгс
Сила тяги під час завантаження ТВЗ-W в активну зону	Сила опору не перевищувала 75 кгс. Для ряду ТВЗ в центральній зоні сила опору досягала 150 кгс
Осьовий перепад головки ТВЗ-W	Не перевищував 5 мм після першого робочого циклу
Час падіння ОР СУЗ	Максимальний час падіння керуючого стрижня протягом циклу – 2,1 сек. У визначених межах, не більше 4 кгс
Візуальний огляд ТВЗ-W	Не було виявлено протікання паливних стрижнів. Не було виявлено пошкоджень, які заважають подальшій роботі ТВЗ-W

Для перехідних циклів і змішаних активних зон, де одночасно працює кілька видів палива, реалізуються початкові межі АкЗ та умови безпечної експлуатації. АкЗ ТВЗ-W на ПАЕС-3 підживлюються відповідно до чинної практики, встановленої на АЕС України. Збагачення та профілювання ТВЗ-W для перехідних зон враховують такі фактори:

1. Забезпечення вимог до основної потужності;
2. Ядерна сумісність і взаємозамінність з поточним типом ТВЗ (ТВЗА);
3. Дотримання всіх конструктивних обмежень для всіх видів палива, що експлуатуються спільно;
4. Зниження потужності в гарячому каналі ТВЗ-W через гідравлічну нерівномірність АкЗ;

У таблиці 3.2 порівнюються параметри рівноважних циклів ТВЗ-W і ТВЗА. Як випливає з порівняльної таблиці, ключові ядерні параметри, що використовуються в аналізі безпеки для рівноважного циклу з ТВЗА і ТВЗ-W, дуже схожі.

Таблиця 3.4 – Основні параметри паливних циклів з ТВЗ-W та ТВЗА

Параметр	Рівноважний цикл	
	ТВЗ-W	ТВЗА
Кількість ТВЗ на подачу, шт.	42	
Маса UO ₂ в ТВЗ, кг	551	495
Середнє збагачення вихідного палива; без U ²³⁵	3,76	4,26
Довжина циклу, од/доба	300,4	295,4
Максимальне вигорання ненавантажених ТВЗ МВт·г/тU	49389	51800
Максимальний K _q	1,326	1,331
Максимальний K _г	1,43	1,437

Максимальный Ко	1,845	1,658
Коефiцієнт реактивності	2,79	2,61

Совпадения

Источники из Библиотеки

16

1	TYA51-VershnyakVL-diploma-2019	ID файла: 1000051890	Учебное заведение: National Technical Univer	14 Источник	3.33%
2	TYa71mp-SinitsynVR-thesis-2018	ID файла: 8341525	Учебное заведение: National Technical University of Ukraine...		0.21%
3	Студенческая работа	ID файла: 1005695734	Учебное заведение: Lviv Polytechnic National University		0.21%