

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДНО-ХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПЕРВОГО КОНТУРА ПУТЕМ ПРЯМОГО ВВОДА ВОДОРОДА

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОДНО-ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ПЕРШОГО КОНТУРУ ШЛЯХОМ ПРЯМОГО ВВЕДЕННЯ ВОДНЮ

THE IMPROVEMENT OF FIRST CIRCUIT WATER CHEMICAL REGIME BY STRAIGHT INTRODUCTION OF HYDROGEN

Науковий керівник - кафедра АЕС; доцент, к.ф.-м.н.

Зотеев О.С., Зотеев О.Е., Zoteev O.E.

Магістр – Заворотній С.В., Заворотний С.В, S.V. Zavorotny

Аннотация. В работе рассмотрены вопросы совершенствования водно - химического режима 1 контура путем прямого ввода водорода. Выполнен сравнительный анализ источников и уровней образования жидких радиоактивных отходов на энергоблоках ЗАЭС и на блоке АЭС Эмсланд.

При выполнении работы предложенные изменения ВХР первого контура для реакторов типа ВВЭР - 1000, направленные на повышение надежности работы оборудования в переходных режимах эксплуатации блоков.

Дипломная работа содержит расчет бака контроля объема с целью выбора его габаритов при заданном давлении и объеме.

Ключевые слова: ВХР (водно-химический режим), ЖРО (жидкие радиоактивные отходы), СВО (спецводоочистка)

Анотація. У роботі розглянуті питання вдосконалення водно - хімічного режиму 1 контуру шляхом прямого введення водню. Виконано порівняльний аналіз джерел і рівнів утворення рідких радіоактивних відходів на енергоблоках ЗАЕС і на блоці АЕС Емсланд.

При виконанні роботи запропоновані зміни ВХР першого контуру для реакторів типу ВВЕР - 1000, спрямовані на підвищення надійності роботи обладнання в перехідних режимах експлуатації блоків.

Дипломна робота містить розрахунок бака контролю обсягу з метою вибору його габаритів при заданому тиску і об'ємі.

Ключові слова: ВХР (водно-хімічний режим), РВВ (рідкі радіоактивні відходи), СВО (спецводоочищення)

Annotation. In the presented thesis, the issues of improving the water - chemical regime of 1 circuit by direct input of hydrogen are considered. A comparative analysis of the sources and levels of liquid radioactive waste generation at the ZAES power units and at the Emsland NPP unit has been performed.

When carrying out the work, the proposed changes in the primary circuit water chemistry for VVER-1000 reactors aimed at improving the reliability of equipment operation in transient operation modes of the units.

The thesis contains the calculation of the volume control tank in order to select its dimensions at a given pressure and volume.

Keywords: water chemical regime, liquid radioactive waste, special water treatment.

Вступ

Особливістю ВХР першого контуру з реактором ВВЕР-1000 є регулювання потужності реактора зміною в ТПК концентрації борної кислоти або переміщенням органів регулювання СУЗ. Присутність борної кислоти знижує рН, що сприяє переходу продуктів корозії конструкційних матеріалів першого контуру в ТПК. Для підтримки рН в нормованих межах в ТПК[12] вводиться гідроксид калію. Зниження інтенсивності швидкості корозії на теплопередаючих поверхнях і накопичення активованих продуктів корозії при експлуатації обладнання на енергетичних рівнях потужності забезпечується підтримкою сумарною молярної концентрації іонів лужних металів (калію, натрію і літію) відповідно до оптимізованої залежності іонів лужних металів від поточної концентрації борної кислоти. Створення необхідної концентрації водню, необхідного для придушення процесів радіолізу[1], проводиться до-

даванням аміаку. Такий ВХР називають слаболужним відновлювальним корекційним аміачно-калієвим з борним регулюванням.

На АЕС з ВВЕР використовується слаболужний відновний координований аміачно-калієвий ВХР з борним регулюванням.

На українських АЕС спостерігається стабільне ведення ВХР, яке забезпечує:

- придушення виникнень окислювальних продуктів радіолізу теплоносія при роботі енергоблоку на потужності;
- проектну корозійну стійкість конструкційних матеріалів ТВС;
- проектну корозійну стійкість конструкційних матеріалів обладнання та трубопроводів першого контуру протягом всього терміну експлуатації енергоблоку;
- мінімізацію відкладень на поверхнях ТВС і теплообмінної поверхні парогенераторів;
- мінімізацію накопичення активованих продуктів корозії на поверхнях обладнання першого контуру;

Визначення об'єкта дослідження

Встановити, що реконструкція, пов'язана з заміною дозування розчинів аміаку в теплоносій першого контуру на дозування газоподібного водню на енергоблоках АЕС з ВВЕР-1000 проекту В-320 технічно можлива.

Мета удосконалення водно-хімічного режиму

Основною метою роботи «Оптимізація водно-хімічного режиму теплоносія першого контуру» є:

- аналіз міжнародного досвіду в частині дотримання параметрів ВХР на західних АЕС;
- оцінка стану сучасних технологій і умов ВХР;
- розробка рекомендацій щодо модифікації ВХР для ВП АЕС «ДП» НАЕК «Енергоатом».

При цьому на майданчиках ВП АЕС передбачається досягти:

- зниження виробництва рідких відходів, і пов'язаних з ними витрат по їх переробці, кондиціонування та захоронення.
- зниження радіаційних викидів у навколишнє середовище.
- спрощення експлуатаційних процедур та скорочення тривалості їх виконання на етапі пуску і зупинки,
- зниження дозового навантаження на персонал станції, пов'язаної з виконанням цих

робіт,

Призначення водно-хімічного режиму

ВХР першого контуру повинен забезпечувати оптимальні умови експлуатації ядерного палива і устаткування РУ, а саме:

- придушення утворення окислювальних продуктів радіолізу теплоносія ($2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$) при роботі ЕБ на потужності[11];
- проектну корозійну стійкість конструкційних матеріалів ТВС;
- проектну корозійну стійкість конструкційних матеріалів обладнання та трубопроводів першого контуру протягом всього терміну експлуатації ЕБ ;
- мінімізацію відкладень на поверхнях ТВС, включаючи ТВЕЛ, і теплообмінної поверхні парогенераторів з боку першого контуру;
- мінімізацію накопичення активованих продуктів корозії при експлуатації на енергетичних рівнях потужності, розхолодження устаткування, проведенні ремонту та пуску ЕБ;
- мінімальна кількість радіоактивних технологічних відходів[10].

До систем ведення ВХР першого контуру відносяться:

- система «чистого» конденсату, призначена для прийому, зберігання і подачі «чистого» конденсату споживачам реакторного цеху, для підживлення першого контуру, приготування робочих розчинів реагентів, які використовуються для коригування ВХР і підготовки сорбентів установок СВО[9];
- система продувки - підживлення першого контуру, призначена для заповнення і підживлення першого контуру, компенсації організованих протікань першого контуру, подачі води в систему ущільнення вала ГЦН, проведення водообміну в першому контурі з метою забезпечення заданого водно - хімічного режиму, введення борної кислоти і хімреагентів в перший контур, підтримання нормального рівня в компенсаторі тиску в перехідних режимах, проведення гідровипробувань обладнання і трубопроводах першого контуру[8];
- система реагентного господарства, призначена для приготування робочих розчинів реагентів і подачі їх в підживлювальну воду з метою коригування та підтримання якості теплоносія першого контуру;

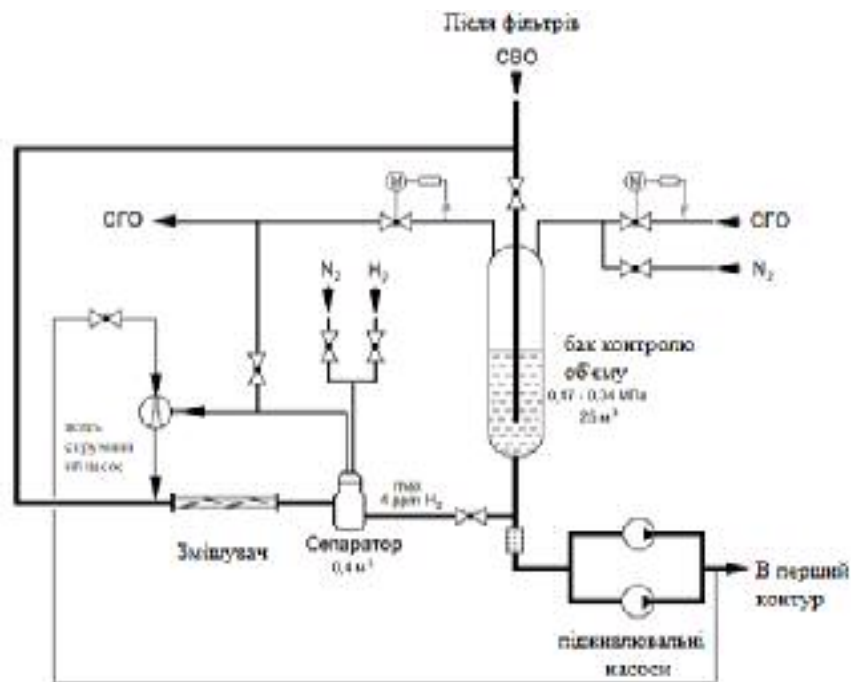
- система відбору проб першого контуру призначена для відбору проб;
- система очищення теплоносія першого контуру (СВО - 1), призначена для очищення теплоносія першого контуру, від колоїдних продуктів корозії конструкційних матеріалів та інших зважених часток;
- система очищення продувочної води першого контуру, організованих протікань і дренажних вод від продуктів корозії, осколків поділу палива, хімічних домішок в іонній формі, а також для виведення надлишкової лужності з теплоносія, для плавного регулювання ВХР першого контуру, і для видалення борної кислоти з теплоносія в кінці компанії.

Суть удосконалення

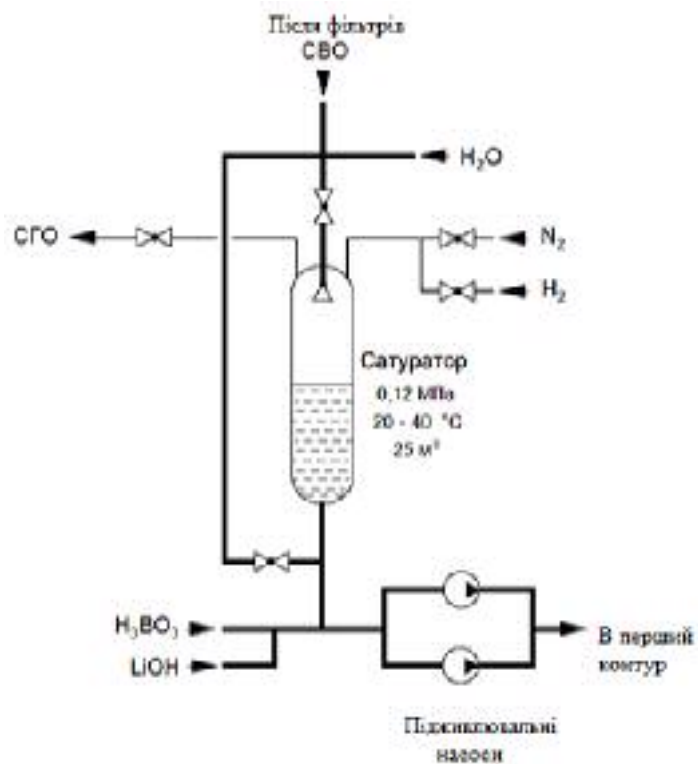
- Зменшення впливу аміаку на ефективність роботи СВО,
- Перехід на нерегенеруючі смоли СВО;
- Зменшення сплесків активності і значних коливання концентрації лужних металів при дозуванні аміаку внаслідок порушення поточної рівноваги фільтрів СВО-2;
- Зниження надходження з аміаком корозійно небезпечних і активуємих домішок в перший контур;
- Зменшення кількості радіоактивних рідких відходів;
- Скорочення часу на насичення воднем при пуску і на вентилювання перед розуцільненням першого контуру;
- Більш ефективно придушення утворення окислювальних продуктів радіолізу

Існуючі схеми підживлення-продувки з вузлом насичення воднем на АЕС з PWR.

В сатураторній схемі дозування водню[2] управління дозуванням здійснюється за рахунок зміни температури потоку продувочної води в сатуратор від 20 ° С до 45 ° С. Недоліком такої схеми є великий обсяг газової фази бака сатуратора. У ежекторній схемі дозування водню управління дозуванням здійснюється за рахунок зміни парціального тиску водню в газовій фазі сепаратора від 0,2 до 0,4 МПа. Недоліком такої схеми є надходження азоту з бака контролю обсягу і необхідність використання додаткового по відношенню до сатураторні схемою обладнання.



Ежекторна схема дозування водню



Сатураторна схема дозування водню

Висновок

В рамках п'яти технічних нарад, проведених на АЕС Емсланд і Запорізькій АЕС по темі «Оптимізація ВХР першого контуру. Дозування газоподібного водню замість аміаку. Дозування изотопно-чистої гідроксиду літію замість гідроксиду калію »в ДП« НАЕК «Енергоатом» були виконані наступні роботи:

- розроблено Методику кількісної оцінки рівня утворення рідких радіоактивних відходів, які можуть бути отримані в результаті застосування різних технологій ведення водно - хімічного режиму 1 контуру;
- виконано порівняльний аналіз джерел і рівнів утворення рідких радіоактивних відходів на енергоблоках ЗАЕС і на блоці АЕС Емсланд. Визначено частка впливу технології ведення водно - хімічного режиму першого контуру на освіту рідких радіоактивних відходів;
- виконаний аналіз впливу застосовуваних водно - хімічного режиму теплоносія 1 контуру на рівень утворення і викиду радіоактивних ізотопів - тритію і вуглецю-14;
- вивчені технологічні схеми та обладнання, систем дозування водню на АЕС PWR побудовані фірмою Сіменс;
- вивчені вимоги до обладнання, конструкційних матеріалів, якості застосовуваних реагентів і техніці безпеки при роботі з технологією дозування водню в теплоносії 1 контуру АЕС PWR;
- виконаний попередній аналіз можливості реалізації схеми дозування водню на енергоблоках ЗАЕС;
- результати роботи представлені фахівцям всіх атомних станцій, науковим і проектним організаціям України на Раді спеціалістів-хіміків галузі;
- розроблена командою експертів проекту «Методика кількісної оцінки рівня утворення рідких радіоактивних відходів на АЕС», рішенням Ради хіміків рекомендована для використання на всіх АЕС України. Протоколом СХ всіх станціях рекомендовано виконати розрахунки за рівнем утворення рідких радіоактивних відходів на АЕС за розробленою Методикою;
- результати роботи команди експертів з даної роботи були представлені на Раді Головних інженерів АЕС України;
- роботи по оптимізації ВХР теплоносія 1 контуру, в частині заміни дозування розчину аміаку в теплоносії 1 контуру на дозування газоподібного водню, були включені в галузеву «Програму підвищення ефективності експлуатації АЕС ДП НАЕК Енергоатом на період 2013 - 2016гг.» (Виключені в даний час через неможливості фінансування).

Можна зробити наступний висновок:

1. Принципово встановлено, що реконструкція, пов'язана з заміною дозування розчинів аміаку в теплоносій першого контуру на дозування газоподібного водню на енергоблоках АЕС ВВЕР-1000 проекту В-320 технічно можлива. При цьому практично не буде потрібно вносити зміни в чинну нормативну документацію щодо ведення ВХР теплоносія 1 контуру, оскільки параметри ВХР-1 не змінюються, змінюється лише спосіб їх підтримки.

2. Оптимізація ВХР-1 з використанням технології дозування в теплоносій газоподібного водню:

- створить умови для використання в системах очистки не регенеріруємих іонообмінних смол, що безпосередньо впливає на джерела утворення відходів, і потенційно може скоротити в середньому до 50% освіту РРВ на ЗАЕС;

- призведе до зниження викидів ізотопу вуглецю-14 в навколишнє середовище, що відповідає цільовим установкам стратегії ALARA;

- спростить експлуатаційні процедури приведення параметрів ВХР першого контуру до встановлених значень і скоротить тривалість їх виконання на етапі пуску і зупинки, що, відповідно, підвищить надійність експлуатації блоку.

3. Багаторічний досвід застосування на АЕС PWR технології дозування водню в теплоносій 1 контуру свідчить про ефективної, надійної, безаварійної роботи цих систем.

4. З урахуванням того факту, що питання переробки утворюються на АЕС з ВВЕР України рідких радіоактивних відходів до стану, відповідного кінцевого зберігання, на сьогоднішній день не вирішено, і його рішення і подальше впровадження зажадає залучення значних фінансових ресурсів, включаючи капітальні вкладення, запропонована модернізація ВХР-1 економічно виправдана.

5. При очевидних перевагах заміни технології дозування аміаку в теплоносій 1 контуру на дозування водню істотними проблемними питаннями є:

- відсутність досвіду проектування подібних систем у генерального проектувальника енергоблоків російського проекту АЕС з ВВЕР, в тому числі енергоблоків ЗАЕС;

- відсутність в Україні ліцензованого конструктора і виробника устаткування для системи дозування водню в теплоносій 1 контуру.

6. З урахуванням окупності реконструктивних робіт, вважаємо найбільш доцільним впровадження технології дозування водню в теплоносій першого контуру на нових, з терміном експлуатації не більше 10 років, і споруджуваних АЕС з ВВЕР.

Література

1. Бяков В. М., Калязін Є. П. «Про механізм радіолізу води». – ІТЕФ. - №132. – М.: - 1981. - 24 с.
2. Дослідження можливості використання на АЕС-2006 систем прямого дозування газоподібного водню в теплоносій першого контуру: Звіт про НДР / РНЦ «Курчатівський інститут»: Косоуров; Н.В. Задонський, О.С. Бистрова; Інв. № 32 / 1-70-409. - М. - 2009. - 41с.
3. Узгодження проектних рішень і конструкційних характеристик обладнання системи КВА при роботі в умовах воднево-калієвого ВХР. 5.1.4: Звіт про НДР / НДЦ «Курчатівський інститут»; Керівник К.Б. Косоуров; Н.В. Задонський, О.С. Бистрова; Інв. № 32 / 1-172-410. - М. - 2010. - 21с.
4. Обґрунтування можливості переходу енергоблоків з ВВЕР на калій-водневий водно-хімічний режим першого контуру / Задонський Н.В., Бистрова О.С. // МНТК-2012 «Безпека, ефективність і економіка атомної енергетики АЕС з ВВЕР». - М., 23-25 травня 2012 р.
5. Технічний висновок з аналізу причин порушень водно-хімічного режиму першого контуру енергоблоку № 1 Хмельницької АЕС, пов'язаних з перевищенням гранично-допустимої концентрації кисню в теплоносій, М., 1994.
6. Технічний висновок ВП ЗАЕС № 38-17 / 86127 від 30.09.2013 «Про можливість та доцільності заміни дозування аміаку на дозування газоподібного водню в теплоносій 1 контуру».
7. СОУ-Н ЯЕК 1.013 до: 2014 «Теплоносій першого контуру ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР-1000. Технічні вимоги і спосіб забезпечення якості», Київ, Міненерговугілля України. - 2014.
8. Киров В.С. Атомные электрические станции. Ч. 1 : учеб. пособие / В.С.Киров ; Одес. нац. политехн. ун-т. – Одесса, 2018. – 105с.
9. Киров В.С. Атомные электрические станции. Ч. 2 : учеб. пособие / В.С. Киров ; Одес. нац. политехн. ун-т. – Одесса, 2018. – 209с.
10. Очистка водных растворов от солей и радионуклидов / В.А. Герлига, В.П. Кравченко, И.А. Притыка, Ганем Хуссам // Ядерна та радіаційна безпека. – 2018. - №1. – С. 47-51.

Тези доповідей 54-ої наукової конференції молодих дослідників ОНПУ-магістрантів «Сучасні інформаційні технології та телекомунікаційні мережі» //Одеса: ОНПУ, 2019, вип. 54

11. Состояния и условия взрывобезопасности в проектных режимах АЭС с ВВЭР / Скалозубов В.И., Комаров Ю.А., Ващенко В.Н., Яровой С.С. // Проблемы безопасности атом. электростанций и Чернобыля. – 2012. – Вип.18. – 32с.

12. Исследование показателей химконтроля водно-химического режима оборотных систем охлаждения электростанций / Кишневский В.А., Чиченин / Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. - № 4(8). – 57-62 с.