**Дозування цинку в теплоносій першого контуру ВВЕР для захисту конструкційних матеріалів від корозії**

**Дозирование цинка в теплоноситель первого контура ВВЭР для защиты конструкционных материалов от коррозии**

**Dosing of zinc into the coolant of WWER's primary circuit for the protection of construction materials from corrosion**

Науковий керівник - кафедра АЕС; кандидат технічних наук, професор – Кіров В. С.,   
магістр – Бершадський П. М.

Научный руководитель – кафедра АЭС; кандидат техн. наук, профессор – Киров В. С.,   
магистр – Бершадский П. Н.

Supervisor - department of NPP; candidate of technical sciences, professor - V. S. Kirov,   
master - P. M. Bershadskiy

**Анотація**. Модифікація водно-хімічного режиму полягає в організації дозування цинку в теплоносій першого контуру для досягнення його концентрації на рівні 5 мкг / дм3, при цьому всі показники якості ВХР теплоносія 1 контуру залишаються в межах встановлених норм. Для здійснення контролю процесу дозування цинку в теплоносій першого контуру необхідна організація робочого місця з установкою лабораторного обладнання, що вимагає виконання комплексу робіт для забезпечення його нормальної й стабільної роботи.

**Ключові слова:** дозування цинку, теплоносій, радіаційна обстановка, корозія, ВХР.

**Аннотация.** Модификация водно-химического режима заключается в организации дозирования цинка в теплоноситель первого контура для достижения его концентрации на уровне 5 мкг / дм3, при этом все показатели качества ВХР теплоносителя 1 контура остаются в пределах установленных норм. Для осуществления контроля процесса дозирования цинка в теплоноситель первого контура необходима организация рабочих мест с установкой лабораторного оборудования, что требует выполнение комплекса работ для обеспечения его нормальной и стабильной работы.

**Ключевые слова**: дозирование цинка, теплоноситель, радиационная обстановка, коррозия, ВХР.

**Annotation**. The modification of the water-chemical regime consists in the organization of dosing of zinc in the coolant of the first circuit to achieve its concentration at the level of 5 μg / dm3, with all the indicators of the quality of the VHF of the coolant 1 of the contour remain within the established norms. In order to control the process of dosing zinc in the coolant of the first circuit, an organization of the workplace with the installation of laboratory equipment is required, requiring a set of works to ensure its normal and stable work.

**Keywords:** zinc dosing, coolant, radiation environment, corrosion, water-chemical regime.

**Вступ**

Колективні дозовитрати персоналу АЕС визначаються станом радіаційної обстановки і тривалістю виконання робіт в зоні впливу іонізуючого випромінювання. В процесі експлуатації енергоблоків поступово відбувається накопичення активованих продуктів корозії на поверхнях обладнання і трубопроводів з боку першого контуру, що призводить до збільшення потужності дози від обладнання. Ця проблема посилюється в процесі старіння енергоблоків і загострюється при необхідності виконання великого обсягу ремонтних і реконструктивних робіт, особливо при продовженні термінів експлуатації енергоблоків. Істотне скорочення ремонтно-інспекційних робіт практично неможливо через постійне розширення їх обсягу та проведення модернізацій для підвищення безпеки і надійності роботи обладнання, а впровадження робототехніки пов'язано зі значними витратами. Зниження дозовитрат за рахунок проведення хімічних дезактивацій призводить до посилення корозійного зносу устаткування і утворення великої кількості радіоактивних відходів, які потребують переробки і зберігання.

**Визначення об'єкта модифікації**

Модифікації підлягає водно-хімічний режим першого контуру

**Цілі та обґрунтування необхідності модифікації**

Виконання принципу ALARA в частині досягнення стійкого ефекту зниження потужності дози від обладнання першого контуру. Формування радіаційної обстановки при ремонтних роботах залежить від складу конструкційних матеріалів і організації водно-хімічного режиму, що визначає інтенсивність процесів корозії і масопереносу продуктів корозії.

Одним з можливих шляхів вдосконалення водно-хімічного режиму АЕС є дозування цинку в теплоносії. Ефективність даної технології обумовлена ​​властивістю цинку заміщати кобальт в складі змішаних шпинелей в поверхневих плівках і відкладеннях, що створюють радіаційну обстановку в першому контурі. Цинк утворює шпінель з більш високими захисними властивостями, ніж шпінелі, утворені іншими двохатомними катіонами. Шпінель з заповненими цинком катіонними вакансіями перешкоджає дифузії та інших катіонів до поверхні металу і тим самим гальмує корозію хромонікелевої аустенітної сталі. При скупченні цинку в тетраедричних осередках шпінелі, виділяється вдвічі більша енергія (8 ккал) в порівнянні з іонами марганцю, заліза, кобальту і магнію, що і пояснює інтенсивне впровадження цинку до складу шпінелі. У хроміту цинку нижча вільна енергія утворення в порівнянні з хромітом нікелю, заліза і кобальту, що обумовлюються корозією при введенні цинку. Для зниження активації самого цинку в теплоносій першого контуру дозують цинк, збіднений за ізотопом 64Zn, який активується в контурі за реакцією 64Zn (n, γ) 65Zn з періодом напіврозпаду T1 / 2 = 244,3 дні на 65Cu + β ++ ε + γ

**Короткий опис модифікації**

Модифікація водно-хімічного режиму полягає в організації дозування цинку в теплоносії першого контуру для досягнення його концентрації на рівні 5 мкг / дм3, при цьому всі показники якості ВХР теплоносія 1 контуру залишаються в межах встановлених норм згідно СОУ-Н ЯЕК 1.013: 2008 «Теплоносій першого контуру ядерних енергетичних реакторів типу ВВЕР-1000. Технічні вимоги і способи забезпечення якості ».

Для здійснення контролю процесу дозування цинку в теплоносій першого контуру необхідна організація робочого місця з установкою лабораторного обладнання, що вимагає виконання комплексу робіт для забезпечення його нормальної і стабільної роботи, що включає в себе:

* забезпечення припливно-витяжної вентиляції;
* установку системи кондиціонування для забезпечення мікроклімату в приміщенні;
* забезпечення підведення ХОВ;
* забезпечення зливу в спецканалізації;
* установку замкнутої системи охолодження;
* установку стаціонарного поста подачі газу;
* забезпечення надійного безперебійного живлення.

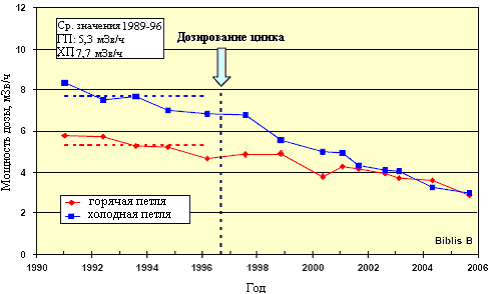
**Оцінка впливу впровадження модифікації на безпеку ЯЕУ, персонал та навколишнє середовище**

Модифікація водно-хімічного режиму дозволить знизити дозові навантаження на персонал і навколишнє середовище, підвищити надійність експлуатації обладнання за рахунок пригнічення процесів корозії, знизити рівень створення РАВ внаслідок відмови від дезактивацій обладнання. Значну частину дозових навантажень отримує ремонтний персонал під час ППР. Дозування цинку зменшить кількість радіоактивного кобальту в оксидних плівках обладнання першого контуру, а отже, і потужність іонізуючого випромінювання від устаткування першого контуру. Цинк є інгібітором корозії і підвищує стійкість нержавіючої сталі аустенітного класу до корозійного розтріскування, що підвищує надійність експлуатації обладнання першого контуру. Зниження рівня потужності доз дозволить знизити застосування хімічних методів дезактивації, тим самим знизити рівень корозійної дії на метал і створення високоактивних РАВ. Всі вищевказані фактори в комплексі дозволять знизити вплив АЕС на навколишнє середовище за рахунок зниження викидів радіонуклідів. Вплив на безпеку - сумісність з конструкційними матеріалами першого контуру:

За даними багаторічного досвіду застосування дозування цинку на АЕС Бібліс негативного впливу на ядерне паливо не спостерігається. Конструкційні матеріали ядерного палива, яке експлуатується на АЕС Бібліс, виконане з цирконієвих сплавів - ZIRCALOY, основу яких складає цирконій (більше 98%). На Запорізькій АЕС в даний час здійснюється перехід на експлуатацію ТВС-А, паливні збірки альтернативної конструкції виробництва ТОВ "ТВЕЛ". Конструкційні матеріали ТВС-А: цирконієві сплави Е-635 (98.47% Zr) і Е-110 (98.97% Zr).Виходячи з досвіду на АЕС Бібліс, дозування цинку в концентрації 2 - 5 мкг / дм3 не зробить негативного впливу на елементи паливних збірок. Необхідності в проведенні додаткових досліджень немає.

**Про результати експлуатації аналогічних об'єктів модифікації за кордоном**

Вперше, технологія дозування цинку в теплоносій першого контуру на АЕС з реакторами PWR почала застосовуватися в США у 1994 році на енергоблоці № 2 АЕС Farley. Чотирнадцятирічний досвід дозування цинку показав позитивний вплив даної технології на зниження потужності дози від обладнання першого контуру. Експлуатаційні дані АЕС показують, що корозійне розтріскування металу при дозуванні цинку в теплоносій першого контуру знижується. Перша європейська АЕС яка запозичила технологію дозування цинку в теплоносій першого контуру стала АЕС Biblis в Німеччині в 1996 році. До теперішнього часу, беручи до уваги позитивний досвід цих двох АЕС, кількість енергоблоків, які використовують дозування цинку в теплоносій першого контуру збільшилася ~ до 70, зокрема, 8 АЕС PWR проекту Siemens.

Потужність дози обладнання першого контуру до і після дозування цинку на блоці А АЕС Biblis

За даними багаторічного досвіду застосування дозування цинку на АЕС Бібліс негативного впливу на ядерне паливо не спостерігається.

Інститутом Ядерних Досліджень Чехії проведені експериментальні дослідження з метою перевірки впливу різних водно - хімічних режимів на накопичення радіоактивних продуктів в першому контурі. Дана програма була виконана на експериментальній петлі RVS-4 дослідного реактора LYR-15. В результаті встановлено, що мінімальна швидкість корозії і накопичення її продуктів відзначається в умовах ведення ВХР з дозуванням цинку, максимальна - в умовах ведення штатного проектного аміачно - калієвого ВХР-1.

**Висновок**

Виходячи з досвіду дозування цинку на АЕС Бібліс, слід очікувати підвищення надійності обладнання першого контуру, колекторів та трубчатки парогенератора (зменшення корозійного розтріскування сталі), зниження дозових навантажень на персонал. Не дивлячись на позитивний досвід Бібліс, під час дозування цинку на ВВЕР потрібно контролювати вплив на оболонку ТВЕЛа (візуальний огляд під час ППР). Для забезпечення сумісності дозування цинку з матеріалами блоку необхідний постійний контроль вмісту корозійних продуктів в першому контурі, і регулюванням дозування необхідно підтримувати значення в діапазоні 5 ± 1 мкг / дм3.

**Література**

1. Ahlberg E., Rebensdorff B., General Corrosion of Alloy X-750 under BWR Conditions, In Proc. BNES Conf. water Chemistry Nucl. Reactor Syst. 6, Bournemouth, UK, 12-15 Oct. 1992, Vol. 2, 278-5/8, 1992.

2. D. Perkins, K. Ahluwalia, J. Deshon, C. Haas, An EPRI perspective and overview of PWR Zinc injection, in: Proceedings of International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, VGB, Berlin, 2008, paper 22-26.

3. Byers, W.A., Wang G., J. Deshon, The limits of Zinc Addition in High Duty PWRs, Proc. International Conference on Water Chemistry of Nuclear Reactor Systems, Berlin, Germany, 2008, paper L13-4.

4. Оптимизация надежности при модернизации теплотехнического оборудования /   
В. И. Скалозубов, О. А. Чулкин, Д. С. Пирковский // Вопр. атом. науки и техники. - 2017.   
- № 4 (110). - С. 84-87.