

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ АЕС ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВОДНО-ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ДРУГОГО КОНТУРУ, ПРОВЕДЕННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ І РЕКОНСТРУКЦІЇ

І. М. Фольтов

ДП НАЕК "Енергоатом", Київ

На сьогодні на атомних електростанціях виробляється біля 50 % електроенергії в Україні. Тому безпечна, надійна та економічна робота атомних енергоблоків АЕС України значною мірою визначає енергетичну безпеку держави. АЕС України оснащено енергоблоками з реакторами типу ВВЕР, в яких теплообмін між теплоносіями першого та другого контурів здійснюється через парогенератори (ПГ), що є не тільки важливим елементом теплової схеми АЕС, але й одним з бар'єрів розповсюдження радіоактивних речовин. НАЕК "Енергоатом" приділяє велику увагу підвищенню надійності ПГ і досягла в цьому напрямку певних успіхів.

Основні причини корозійних пошкоджень ПГ

Проблеми надійності ПГ періодично підіймаються до галузевого рівня. Перший раз проблема цілісності ПГ стала галузевою на початку 90-х років і була пов'язана з розтріскуванням "холодних" колекторів ПГ. У цей період на енергоблоках № 1 і 2 Південно-Української та № 1 - 3 Запорізької АЕС замінено в цілому 25 ПГ. Після виконання низки заходів проблему цілісності колекторів було розв'язано, але в другій половині 90-х років виникла нова проблема - прискорене корозійне пошкодження теплообмінних трубок (ТОТ) ПГ, що призводить до їх кризних пошкоджень.

Корозійні пошкодження ПГ значною мірою спричинені особливостями водно-хімічного режиму другого контуру (ВХР-2): наявністю устаткування з різних конструкційних матеріалів (неіржавіюча сталь, вуглецеві сталі, мідні сплави); великими діапазонами тиску й температур; двофазним середовищем (пара - вода); наявністю великої кількості теплообмінного устаткування з великими площами нагріву; пароутворенням у ПГ; великою вірогідністю забруднення робочого середовища домішками в конденсаторах, бойлерах тепломережі тощо. У цих умовах найуразливішим елементом устаткування виявилася трубочатка ПГ.

З матеріалів розслідування причин пошкодження трубок ПГ, досліджень вирізаних зразків трубок видно, що основною причиною цих пошкоджень визнано підшламову корозію та корозійне розтріскування під напругою.

Механізм і причини розвитку корозійних процесів у ПГ виглядають так:

корозія та ерозія устаткування і трубопроводів конденсатно-живильного тракту (КЖТ) приводять до надходження продуктів корозії заліза й міді з живильною водою в ПГ;

у ПГ унаслідок випаровування води продукти корозії концентруються й відкладаються в першу чергу на поверхнях теплообміну (у відкладеннях у ПГ продукти корозії заліза й міді становлять більше 95 %), чому значною мірою сприяє змінена гідродинаміка в ПГ, що виникла внаслідок виконаної у середині 90-х років реконструкції системи підживлення-продування ПГ;

у місцях відкладень і скупчень шламів, у щілинах і зазорах на теплообмінних поверхнях унаслідок локального випаровування концентруються домішки (так званий процес хайд-аут). Концентрація корозійно-активних домішок (коефіцієнт концентрації оцінюється в 10^2 - 10^4) приводить до прискореної корозії, утворення язв і пітінгів, а також корозійного розтріскування під напругою, що стає причиною кризних пошкоджень ТОТ;

© І. М. Фольтов, 2004

аналогічні пошкодження виникають унаслідок електрохімічної корозії контактної пари „мідь - залізо”, що виникає при відкладеннях металевої міді на поверхнях ТОТ унаслідок деяких недоліків проведення хімічних промивок ПГ (недостатнє відмивання від міді, малі швидкості дренування розчинів).

Як правило, найбільша інтенсивність пошкодження ТОТ спостерігається в зоні ПГ у «гарячого» колектора, де значення теплового потоку становить 250 кВт/м^2 (в області «холодного» - 80 кВт/м^2) і відбувається накопичення відкладень продуктів корозії (зона між 9 і 11 дистанціонуючими ґратами) унаслідок розподілу термогідрравлічних потоків по довжині ПГ.

Підшламова корозія та металева мідь на сьогодні є основними причинами корозійного пошкодження ПГ. Фахівці, що неодноразово проводили обстеження ПГ, відзначають, що на ділянках ПГ, вільних від відкладень, слідів корозії не спостерігається.

Основні заходи щодо підвищення надійності ПГ

1. Зменшення концентрації продуктів корозії в живильній воді як основного джерела забруднення ПГ досягається такими заходами:

підвищенням рН конденсату й живильної води - досягається без шкоди для мідних сплавів застосуванням органічних амінів для корекційної обробки робочого середовища другого контуру;

зниженням концентрації кисню в конденсаті й живильній воді - досягається наладкою деаераторів, поліпшенням деаерації в конденсаторах турбін шляхом подачі води із значною концентрацією кисню в паровий простір конденсаторів, виявленням й усуненням джерел надходження кисню. Ефективне і стійке зниження концентрації кисню можливе тільки за наявності надійного автоматичного хімічного контролю (АХК) за концентрацією кисню;

підвищенням щільності конденсаторів для зменшення надходження корозійно-активних домішок у теплоносії;

підвищенням якості живильної води, що виробляється хімічною водоочисткою (ХВО), зокрема зниженням у ній органічних домішок;

зменшенням стояночної корозії під час перебування в ремонті шляхом консервації устаткування другого контуру плівкоутворюючими амінами.

2. Зменшення швидкості підшламової корозії в ПГ досягається такими заходами:

підтримкою нейтрального чи слаболужного високотемпературного рН у ПГ (дозування з'єднань літію для недопущення кислого середовища в зонах підшламового скупчення солей);

проведенням хімічних очищень ПГ;

ефективним видаленням шламів з об'єму ПГ (реконструкція продувки, внутрішньо-корпусних пристроїв ПГ, застосування органічних амінів);

підвищенням рН котельної води шляхом застосування органічних амінів;

використовуванням процесу повернення солей при зниженні потужності енергоблока для видалення солей з підшламових зон і щілин;

запровадженням АХК, що дозволяє оперативно знаходити й усувати відхилення від норм ВХР.

Реалізацію цих заходів щодо кожної АЕС та енергоблока передбачено "Комплексною програмою підвищення надійності парогенераторів ПГВ-1000 діючих та тих, що будуються, енергоблоків АЕС України на 2004 - 2008 рр.", затвердженої 4 лютого 2004 р., і "Програмою реконструкції і модернізації устаткування хімічних цехів і вдосконалення хімічних технологій на 2003 - 2007 рр."

У ході реалізації цих програм виконано значну кількість заходів щодо вдосконалення ВХР-2, металознавства й контролю металу.

Виконання заходів щодо вдосконалення ВХР

Розроблено, переглянуто і введено в дію низку нормативних документів, програм і технічних рішень:

наказом Міністерства палива та енергетики України від 10 лютого 2004 р. № 82 з 1 березня 2004 р. введено в дію ГНД 95.1.06.02.002-04 «Водно-хімічний режим другого контура атомних електростанцій з реакторами типу ВВЕР. Технічні вимоги до якості робочого середовища. Корекційна обробка гидразин-гідратом, морфоліном, гідроокисом літію». При перегляді норм ВХР-2 було посилено вимоги до концентрації хлоридів у продувочній воді ПГ, введено норми по сульфат-іонах у продувочній воді ПГ, показники розділено на нормовані й діагностичні, введено додаткову обробку живильної води морфоліном, гідроокисом літію;

узгоджено з Державним комітетом ядерного регулювання України (ДКЯР) «Технічне рішення ТР-М-1.03-6604 про проведення консервації устаткування другого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР із застосуванням плівкоутворюючого аміну». На ВП Запорізької АЕС ведеться підготовка до проведення такої консервації;

узгоджено в ДКЯР і введено в дію Технічне рішення про ведення ВХР-2 енергоблока № 3 ВП Рівненської АЕС із застосуванням етаноламіну. На ВП Рівненської АЕС ведеться підготовка до впровадження етаноламінового ВХР-2 енергоблока № 3 після планового ремонту;

розпорядженням № 439-р від 22 червня 2004 р. введено в дію з 30 червня 2004 р. «Типову програму з оцінки й використання явища виходу солей з відкладень в ПГ» ПМ-Т.0.03.122-04. Усіма АЕС виконуються роботи за цією програмою;

узгоджене з ДКЯР галузеве технічне рішення № ТР-М.1234.05.051-03 про проведення хімічних промивань ПГ з боку другого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР і методичні рекомендації «Проведення хімічних промивань ПГ з боку другого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР». Проведення хімічних промивань з оптимально підібраним складом розчину, технологією ведення промивань, засобами і об'ємом контролю процесу хімічних промивань дає змогу понизити кількість продуктів корозії на теплообмінних поверхнях ПГ без шкідливої дії миючих розчинів на цілісність ТОТ;

розроблено й введено в дію наказом НАЕК «Енергоатом» від 18 червня 2003 р. № 361 СТП 0.08.049-2003 «Матеріали іонообмінні фільтруючі систем очищення водного теплоносія АЕС. Вимоги до якості, вхідного і експлуатаційного контролю», що дозволить підвищити якість іонітів, що закуповуються;

розроблено й затверджено 30 лютого 2003 р. «Перелік іонообмінних фільтруючих матеріалів, що успішно пройшли промислові випробування на АЕС України».

Значною мірою реалізовано програму модернізації АХК. Прилади для автоматичного вимірювання кисню встановлено на всіх енергоблоках ВП Південно-Української та Хмельницької АЕС, на енергоблоках № 3 - 5 Запорізької та № 1 і 2 Рівненської АЕС. Також реалізовано АХК продувочної води ПГ на всіх енергоблоках ВП Південно-Української та Хмельницької АЕС.

Виконання заходів щодо металознавства й контролю металу

Починаючи з 2000 р. на ВП АЕС виконано низку заходів, спрямованих на вивчення механізму пошкодження ТОТ, підвищення якості вихрострумовеого контролю (ВСК) металу ТОТ:

виконано дослідження вирізаних фрагментів дефектних ТОТ ПГ енергоблоків № 1 і 2 Південно-Української і енергоблоків Рівненської АЕС;

модернізовані програмні засоби щодо обробки даних ВСК з організацією станційної мережі з аналізу результатів контролю на Рівненській АЕС за проектом U1.01.97D;

одержано за програмою ТАСІС установку ВСК ТОТ ПГ для Південно-Української АЕС;

організовано в Україні виробництво зондів для ВСК ТОТ ПГ;
 уточнено критерії оцінки дефектних труб, що підлягають глушінню.

«Програмою (тимчасовою) вихрострумowego контролю теплообмінних трубок парогенераторів ПГВ-1000 на 1999 - 2006 рр.» передбачено виконати до 2006 р. на 100 % контроль ТОТ ПГ на діючих енергоблоках АЕС, а також встановлено критерій глушіння дефектних ТОТ ПГ - 60 %. Цей критерій застосовується в даний час для енергоблоків Запорізької, Хмельницької та блока № 3 Південно-Української АЕС. З урахуванням одержаного експлуатаційного досвіду, аналізу швидкостей деградації стінок дефектних ТОТ, параметрів ВСК за умови щорічного контролю за узгодженням з ДКЯР критерії глушіння було змінено для:

блоків № 1 і 2 Південно-Української та блока № 3 Рівненської АЕС на 70 % зменшення товщини стінки;

блоків № 1 і 2 Рівненської АЕС на 80 % зменшено товщину стінки для дефектів (менше 10 % на рік), що ростуть поволі, і залишилося 60 % для тих, що ростуть швидко.

Щорічними робочими програмами ВСК ТОТ ПГ передбачається, крім обов'язкових об'ємів контролю, відстежувати деградацію стінок труб, на яких були знайдені індикації за результатами попереднього контролю, а також з періодичністю один раз на чотири роки повторювати ВСК ТОТ, розташованих у «критичній зоні» - від 110-го по 85-й ряд.

На ВП АЕС і в дирекції ДП НАЕК «Енергоатом» проводиться аналіз і формуються бази даних за результатами ВСК, що в комплексі з дослідженнями ТОТ дасть змогу визначити науково-обґрунтований підхід до критерію глушіння дефектних ТОТ, а також встановити оптимальні об'єми й періодичність проведення контролю ТОТ ПГ.

Сьогодні для проведення ВСК ТОТ ПГ у галузі застосовується п'ять установок іноземного виробництва, одержаних станціями за різними програмами міжнародної технічної допомоги:

дві установки хорватської фірми «Інетек» на Запорізькій АЕС;

дві німецько-французькі установки виробництва фірм «Сименс» - «Інтерконтроль» на Рівненській АЕС;

одна установка іспанської фірми «Текнатом» на Південно-Українській АЕС.

Обладнання та методики контролю перед початком експлуатації пройшли атестацію; навчання й атестацію пройшли також фахівці, які працюють на даних установках. За наслідками атестації було одержано дозволи ДКЯР на застосування установок на діючих енергоблоках.

Виконання реконструктивних робіт

1. Система продування ПГ.

ВП Південно-Української АЕС, ВП Рівненської АЕС і блок № 2 ВП Хмельницької АЕС - виконано 90 - 100 % заходів.

ВП Запорізької АЕС - із шести заходів повністю виконано один (виключення обмежувачів течі), інші виконано частково. По блоку № 1 ВП Хмельницької АЕС повністю виконано організацію продування в ПГ «сольових» відсіків через патрубки Ду50, інші заходи виконано частково.

2. Реконструкція ВКП, системи вимірювання рівня ПГ.

У даний час проводиться робота за договором з ОКБ «Гідропрес» на розробку технічної документації на реконструкцію ВКП ПГ і реконструкцію системи вимірювання рівня ПГ. Документація буде отримана в грудні 2004 р. Роботи на всіх блоках АЕС планується закінчити в 2009 р.

Радикальним методом, що дозволяє поліпшити ВХР-2 і взагалі надійність ПГ, є заміна всього мідного устаткування в другому контурі на неіржавіюче або титанове. Програми такої заміни опрацьовуються.

Стан ВХР другого контуру

Після введення в дію ГНД 95.1.06.02.002-04 на енергоблоках № 1 - 3 ВП Південно-Української і № 3 і 4 ВП Запорізької АЕС ведеться промислова експлуатація морфолінового ВХР-2.

На енергоблоках № 1, 2, 5, 6 ВП Запорізької АЕС і енергоблоках № 1 - 3 ВП Рівненської АЕС підтримується гідразинно-аміачний ВХР-2 з підлужуванням живильної води гідроокисом літію.

На енергоблоках № 1 і 2 ВП Хмельницької АЕС підтримувався гідразинно-аміачний ВХР-2.

Для оцінки рівня ведення ВХР на всіх ВП АЕС виконується статистична обробка даних експлуатаційного хімічного контролю робочого середовища другого контуру, результати якої узагальнюються дирекцією НАЕК "Енергоатом" і свідчать про стійке ведення ВХР і підтримку нормованих показників у межах діючих норм.

Узагальнювальним показником стану ВХР-2 може служити щільність ПГ і кількість заглушених трубок у ньому.

Кількість зупинок енергоблоків унаслідок протікань теплоносія першого контуру в другий:

2000 р. - п'ять зупинок унаслідок протікання ТОТ ПГ;

2001 р. - три зупинки з цієї причини;

2002 р. - не було зупинок;

2003 р. - одна зупинка на енергоблоці № 5 Запорізької АЕС;

2004 р. - одна зупинка на енергоблоці № 3 Південно-Української АЕС.

Як бачимо, статистика зупинок унаслідок протікань теплоносія з першого контуру в другий свідчить, що завдяки впровадженню вказаних вище заходів вдалося мінімізувати кількість зупинок енергоблоків, але, на жаль, повністю виключити ці зупинки не вдалося.

Протікання трубки ПГ на енергоблоці № 3 Південно-Української АЕС відбулося в "критичній зоні". Проведення додаткового ВСК під час позапланової зупинки енергоблока виявило ще 10 ТОТ з дефектом понад 10 % товщини стінки і 15 ТОТ з індикаціями від 20 до 50 % стоншення стінки, що підтверджує початок утворення дефектів у "критичній зоні" після 15 років експлуатації ЗПГ4.

Світовий досвід експлуатації ПГ показує, що дуже важко повністю виключити корозійні пошкодження в ПГ, у кращому разі можна їх істотно уповільнити, що нам вдалося зробити. Практично у всіх країнах, що експлуатують АЕС, відбуваються заміни ПГ. Так, наприклад, на АЕС в Іспанії було виконано комплекс заходів щодо поліпшення ВХР-2 аж до заміни всіх мідних сплавів у другому контурі й запровадження ВХР-2 з високим рН рівним 10 (аміак 10 мг/л, гідразин 100 мкг/л). Та все ж через два роки після заміни мідних сплавів і радикальної зміни ВХР довелося міняти ПГ.

Аналіз кількості заглушених ТОТ ПГ на енергоблоках у 2003 р. показує стійке зниження цієї кількості щодо попередніх трьох років (рис. 1 і 2), що свідчить про зниження швидкості корозії теплообмінних трубок ПГ практично на всіх енергоблоках.

Порівняння результатів корозійного обстеження ПГ за останні шість років свідчать про зменшення кількості відкладень у більшості ПГ ВП Запорізької та ВП Південно-Української АЕС до рівня чутливості методики вимірювання 25 - 30 г/м². Це результат виконаних заходів щодо вдосконалення ВХР-2, що привели до зменшення швидкостей корозії та ерозії устаткування й трубопроводів КЖТ, поліпшення видалення шламу з об'єму ПГ.

У той же час у деяких ПГ знайдено скупчення шламу в нижній частині ПГ.

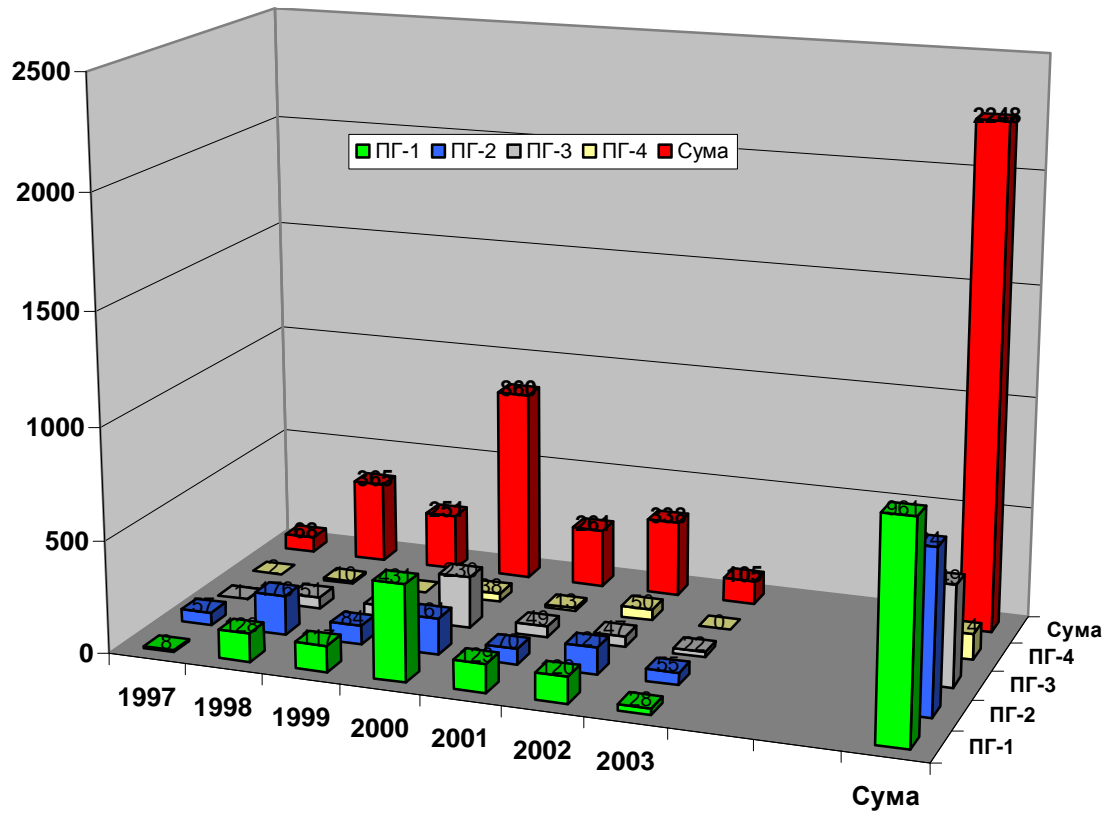


Рис. 1. Динаміка глушіння ТОТ ПГ 1, 2, 3, 4 енергоблока № 1 ВП Південно-Української АЕС.

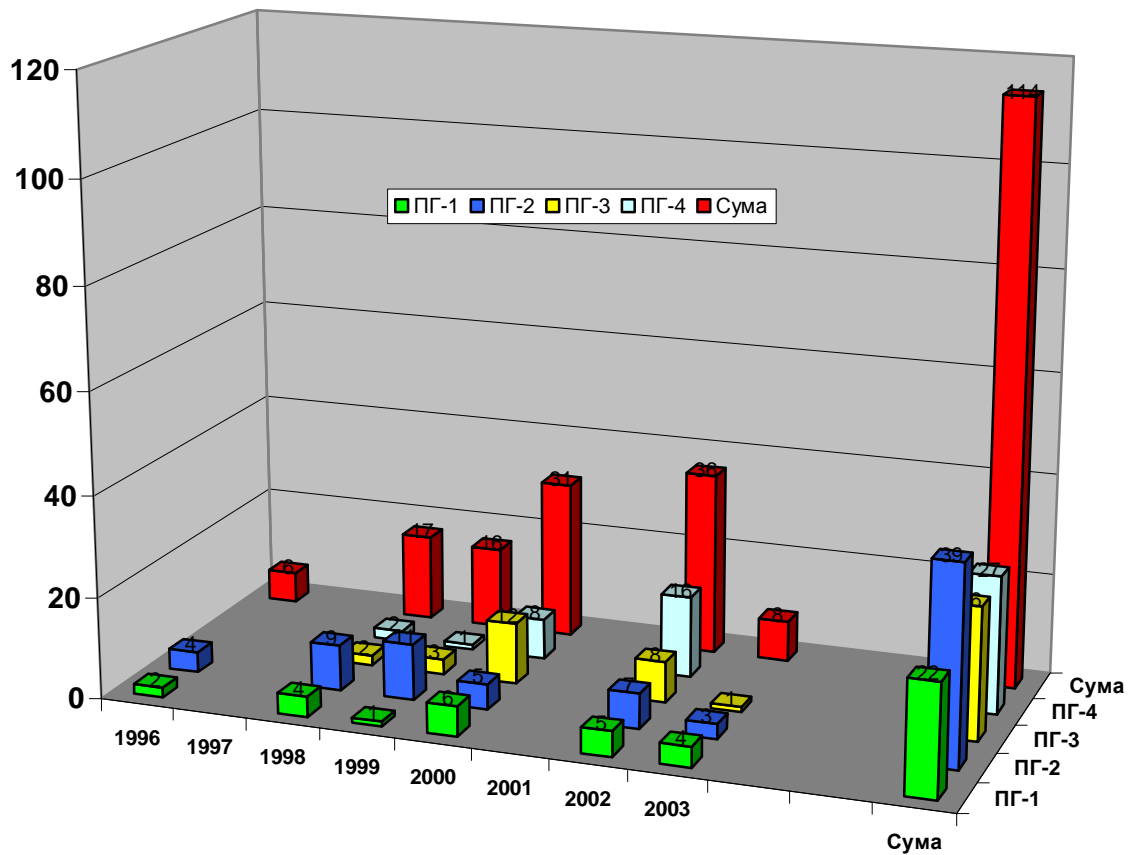


Рис. 2. Динаміка глушіння ТОТ ПГ 1, 2, 3, 4 енергоблока № 4 ВП Запорізької АЕС.

Результат огляду внутрішніх поверхонь ПГ у 2003 р., в яких знайдено скупчення шламу й металеві міді

ВП Запорізької АЕС.

У 5 ПГ-1 біля трубної опори № 10 знайдено скупчення шламу заввишки до чотирьох рядів ТОТ.

На поверхні металу теплообмінних труб ПГ енергоблока № 1 в районі „сольового” відсіку (верхні ряди між трубними опорами № 4 - 5) знайдено плями висадженої металеві міді характерного червонуватого кольору.

ВП Рівненської АЕС.

У "гарячого" колектора 1ПГ-3 знайдено шлам, що закриває 4 - 6 рядів теплообмінної поверхні.

ВП Хмельницької АЕС.

У районі стійок 10 - 12 на днищі знайдено гору шламу, що досягає в 1ПГ-1 3 - 4 рядів трубок, у 1ПГ-2 - 2 - 3 рядів трубок, у ПГ-3 - 6 - 8 рядів трубок, у 1ПГ-4 - 2 - 4 рядів трубок.

У 2003 р. тільки на ВП Південно-Української АЕС не спостерігалось перекриття рядів трубок шламом, що свідчить про ефективність морфолінового ВХР-2.

Значна кількість шламів в ПГ ВП Хмельницької АЕС свідчить про те, що технологія відмивання при розхолоджуванні енергоблока не забезпечує ефективне видалення шламів з ПГ.

Хімічні промивання ПГ

У другій половині 90-х років корозійні обстеження ПГ показали, що забруднення ПГ збільшуються, і було ухвалено рішення ОКБ „Гідропрес” про проведення хімічних промивань ПГ один раз у чотири роки. Після цього хімічні промивання ПГ на енергоблоках АЕС України проводяться регулярно з 1998 р. за рецептурою, рекомендованою ОКБ „Гідропрес” із застосуванням комплексонів й органічних кислот за технологіями: відмивання на етапі після розхолодження реакторної установки; відмивання на зупиненому блоці із застосуванням інжекторів.

Хімічні промивання ПГ впливають на стан основного металу елементів ПГ більшою чи меншою мірою залежно від вибраної технології хімічного промивання та складу промивальних розчинів, тому хімічні промивання є крайнім заходом, покликаним зменшити негативні наслідки, викликані недоліками ВХР-2. Проведення хімічного промивання виправдане, коли негативні дії на метал ПГ хімічного промивання менше, ніж вплив забруднення на корозійні процеси в ПГ. Тому необхідність проведення кожного хімічного промивання й вибір технології проведення промивання повинні визначатися залежно від питомої забрудненості теплообмінних трубок ПГ і складу відкладень.

Хімічні промивання є досить дорогим заходом, витрати на хімічні реагенти для промивань (15 млн.грн. на рік на всі енергоблоки) становлять близько половини всіх витрат на реагенти в рік. Крім того, відмиваючі розчини заповнюють місткості ХЖВ.

Для вивчення дії хімічних промивань на основний метал ПГ Одеським НПУ за договором з НАЕК «Енергоатом» проведено НДР по дослідженню ефективності кожної рецептури та її впливу на основний метал ПГ. На підставі цих досліджень напрацьовано конкретні методичні рекомендації про проведення хімічних промивань і технічне рішення, що встановлює періодичність проведення хімічних промивань не директивною вказівкою - один раз в чотири роки, а залежно від забрудненості ПГ і концентрації продуктів корозії в живильній воді, які узгоджено в ДКЯР.

У 2003 р. з урахуванням розроблених рекомендацій проведено хімічні промивання таких ПГ: ВП Запорізької АЕС 2ПГ-1, 2, 3, 4; ВП Південно-Української АЕС 1ПГ-1; ВП Рівненської АЕС 1ПГ-3, 3ПГ-3; ВП Хмельницької АЕС 1ПГ-3.

Проводилося більше етапів хімічного відмивання від міді.

Слід зазначити значне зменшення кількості ПГ, що відмивались з меншою кількістю етапів промивань у 2003 р. на ВП Південно-Української АЕС порівняно з попередніми роками. У 2000 р. на Південно-Українській АЕС відмивалося 4 ПГ (вимито 10775 кг оксидів заліза), у 2001 р. - 8 ПГ (вимито 3339 кг), у 2002 р. - 3 ПГ (вимито 808 кг), у 2003 р.- 1 ПГ (вимито 59 кг). На рис. 3 представлено середню за роками кількість оксидів заліза, що видаляються з ПГ при хімічних промиваннях з ПГ Південно-Української АЕС. Зменшення цієї кількості свідчить про позитивний вплив морфолінового ВХР-2 на кількість відкладень у ПГ.

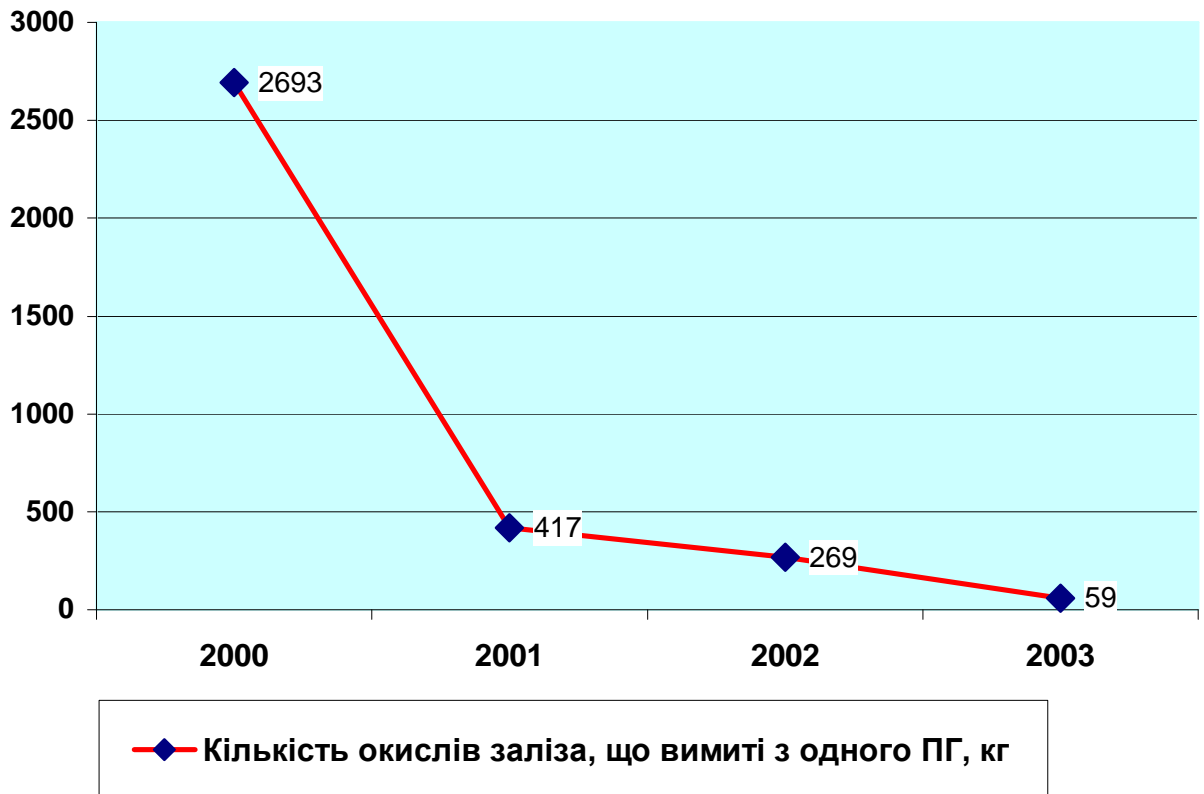


Рис. 3. Результати хімічного відмивання ПГ Південно-Української АЕС.

Використання органічних амінів для корегуючої обробки робочого середовища другого контуру

Органічні аміни є хімічними аналогами аміаку, в яких один або декілька атомів водню замінені на вуглеводневі ланцюжки. Аміни в більшій або меншій мірі зберігають лужні властивості аміаку, набуваючи в той же час нові корисні властивості. Вони є інгібіторами корозії, володіють «миючим ефектом» (прискорюють виведення з устаткування шламів, слабо зчеплених з поверхнею), створюють на поверхні металу захисні плівки, що захищають метал не тільки від корозійного, але й від ерозійного зносу. У світовій практиці для корегуючої обробки робочого середовища другого контуру використовуються більше 10 органічних амінів. Найпоширенішими з них є морфолін та етаноламін. Морфоліновий режим був запропонований для Південно-Української АЕС експертами Євросоюзу за програмою ТАСІС та успішно пройшов стадію дослідно-промислового застосування.

Найхарактерніші особливості морфолінового режиму в період його стабілізації:
повна відповідність показників ВХР-2 вимогам установлених норм за всіма показниками;

вирівнювання рН у потоках другого контуру і, як наслідок, зниження швидкості ерозійно-корозійних процесів устаткування і трубопроводів;

стійке зниження продуктів корозії в живильній воді;

відносно низькі концентрації аміаку в контурі;
 можливість експлуатації блока з відключеними фільтрами блочної знесолюючої установки (БЗУ) за відсутності протікання охолоджуючої води в конденсаторах турбін;
 відсутність впливу морфоліну на роботу приладів АХК;
 відсутність впливу морфоліну на аналітичні методики визначення показників ВХР;
 практична відсутність впливу на роботу фільтрів СВО-5 і БЗУ;
 значне скорочення прямих експлуатаційних витрат на ведення хімічного режиму й витрат на ремонт устаткування. Витрати на реагенти на ведення ВХР-2 при морфоліновому режимі скорочуються на 360 тис. грн. в рік на один блок при відключених фільтрах змішаної дії (ФЗД) БЗУ. За наявності протікання в конденсаторах турбін ця економія зменшується, оскільки ростуть втрата морфоліну й кількість регенерацій ФЗД БОУ.

У той же час дослідно-промислова експлуатація морфолінового ВХР-2 показала, що для отримання максимального ефекту від застосування цього режиму необхідна вища культура експлуатації, що забезпечує:

зниження концентрації кисню в робочих середовищах другого контуру до мінімально досяжного рівня;

виявлення на ранніх стадіях й оперативне усунення протікань охолоджуючої води в конденсаторах турбін і інших забруднюючих потоків;

удосконалення хімічного контролю за концентрацією кисню, органічних кислот, продуктів корозії, сульфатів.

Визначилися деякі проблеми морфолінового режиму: дотримання ГДК на морфолін при викидах морфоліну в навколишнє середовище.

Протікання теплоносія в конденсаторах турбін на ВП Запорізької АЕС вимагають постійної роботи ФЗД БОУ, що приводить до виведення морфоліну з контуру, зниження рН, втратам морфоліну в навколишнє середовище.

У світовій практиці експлуатації АЕС з РWR останнім часом все частіше застосовується етаноламіновий (ЕТА) ВХР-2. У зв'язку з тим, що ЕТА порівняно з морфоліном має меншу молекулярну масу й велику константу дисоціації, для отримання однакового значення рН ЕТА треба приблизно в п'ять разів менше, ніж морфоліну. З ЕТА простіше вирішуються екологічні проблеми, він дешевший за морфолін. У той же час ЕТА має менш сприятливий коефіцієнт розподілу в системі „вода - пара”, ніж морфолін. При цьому розподілі близько 60 % ЕТА залишається в котельній воді.

Для Рівненської АЕС, де екологічні проблеми вирішуються найскладніше, ліцензовано ЕТА режим.

Коригуюча обробка котельної води сполуками літію

У місцях концентрації солей у підшламових зонах, щілинах і зазорах з концентрацією розчину зменшується дисоціація слабких кислот (органічних, вугільної) і лугів (аміак, гідразин, морфолін, ЕТА) і рН середовища все більшою мірою залежить від співвідношення концентрації аніонів сильних кислот (соляної, сірчаної) і катіонів сильних лугів (натрію, калію, літію), ступінь дисоціації яких практично не залежить від концентрації розчину. Для зсування рН у цих зонах у нейтральну або слаболужну зону застосовується дозування сполук літію в котельну воду. Як бачимо, за допомогою літію вирішується локальна задача «щілинного ВХР» - перехід кислотної корозії в сольову, яка менш інтенсивна, але необхідно дуже стежити за дозуванням літію, щоб у щілинах не перейти в область лужної корозії.

Зважаючи на вказані вище особливості, сполуки літію не можуть застосовуватися для суттєвого збільшення рН у КЖТ і в усьому об'ємі ПГ. Тому сполуки літію використовуються для уповільнення корозії на «брудних» ПГ, в яких велика роль підшламової корозії. На чистих ПГ роль літію в зниженні швидкості корозії мінімальна, тому він не дозується при морфоліновому режимі.

Висновки

1. На підставі аналізу світового досвіду ведення ВХР-2 АЕС з ВВЕР і PWR фахівцями НАЕК "Енергоатом" розробляються й впроваджуються сучасні режими й засоби експлуатації та контролю з метою забезпечення безпечної, надійної та економічної роботи устаткування КЖТ і ПГ упродовж проектного ресурсу ПГ і за його межами. Після впровадження низки заходів щодо поліпшення ВХР намітилася тенденція до поліпшення ВХР-2 на АЕС України. Аналіз результатів експлуатаційного хімічного контролю свідчить про стійке ведення ВХР і підтримку показників водно-хімічного режиму в межах нормованих значень.

У той же час повністю зупинити корозію ТОТ трубок ПГ практично неможливо, спостерігаються поодинокі випадки зупинок енергоблоків унаслідок протікань ТОТ ПГ.

Кількість трубок, що щорічно заглушаються, за наслідками ВСК зменшується.

2. Для подальшого підвищення експлуатаційної надійності ПГ продовжити реалізацію заходів, передбачених "Комплексною програмою підвищення надійності парогенераторів ПГВ-1000 енергоблоків АЕС України на 2004 - 2008 рр.", затвердженою 4 лютого 2004 р., і «Програмою реконструкції і модернізації устаткування хімічних цехів і вдосконалення хімічних технологій на 2003 - 2007 рр.», затвердженою наказом по НАЕК «Енергоатом» від 23 червня 2003 р. № 368.

Особливу увагу треба звернути на необхідність упровадження у встановлені терміни АХК другого контуру за концентрацією кисню в конденсаті й живильній воді на енергоблоках № 1, 2, 6 ВП Запорізької та № 3 ВП Рівненської АЕС; електропровідності й рН у продувній воді ПГ енергоблоків № 1 - 6 ВП Запорізької та № 1 - 3 ВП Рівненської АЕС.

3. З метою поліпшення якості теплоносія другого контуру й оптимізації роботи БЗУ розробити програму виключення з КЖТ устаткування, що містить сполуки міді, включаючи заміну конденсаторів турбін на титанові або з неіржавіючої сталі.

4. З метою підвищення культури безпеки та якості ремонтних робіт вжити необхідні заходи по оснащенню енергоблоків достатньою кількістю автоматизованих систем глушіння ТОТ, а також опрацювати питання про достатність систем ВСК на кожній АЕС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГНД 95.01.06.02.002-04 „Водно-химический режим второго контура атомных электростанций с реакторами типа ВВЭР. Технические требования к качеству рабочей среды. Коррекционная обработка гидразин-гидратом, морфолином, гидроксидом лития“. - Киев, 2004.
2. ГНД 95.1.10.05.044-99 „Методика определения значения удельной загрязненности поверхностей металла парогенераторов ПГВ-1000М со стороны второго контура“. - Киев, 1999.
3. *Химический контроль на тепловых и атомных электростанциях* / Под ред. О. И. Мартыновой. - М.: Энергия, 1980.
4. *Локальная коррозия металла теплоэнергетического оборудования* / Под ред. В. П. Горбатов. - М.: Энергоатомиздат, 1992.
5. *Парогенератор ПГВ-1000. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 320.05.00.00.000ТО*. - М.: ОКБ «Гидропресс».
6. *Богоявленский В.Л.* Коррозия сталей на АЭС с водным теплоносителем. - М.: Энергоатомиздат, 1984.
7. *Герасимов В.В.* Коррозия реакторных материалов. - М.: Атомиздат, 1980.
8. *Коррозионная стойкость реакторных материалов: Справ.* - М.: Атомиздат, 1976.
9. *Толстая М.А., Богатырева С.В., Градусов Г.Н.* Коррозия реакторных материалов. - М.: Атомиздат, 1960.
10. *The ASME handbook on water technology for thermal power systems*. - New York, 1989.
11. *Мамет В.А., Ерпылева С.Ф., Банюк Г.Ф. и др.* О подходе к нормированию водного режима контура АЭС с ВВЭР-1000 // Теплоэнергетика. - 1998. - № 11. - С. 51 - 58.
12. *Nordmann F., Stutzmann A., Bretelle J-L.* Overview of PWR chemistry options.
13. *Smiesko I., Bystriansky J., Szalo A.* Use of ethanolamine for alkalisation of secondary coolant first experience at VVER reactor.

14. *Siryapina L.A., Ponomarev A.M., Brykov S.I. et al. Comparative Corrosion Tests of Structure Materials of WWER-1000 NPP Steam Generators while Adding Lithium Hydroxide and Lithium Borates.*
15. *Гончарук В.В., Страхов Э.Б., Волошинова А.М. Водно-химическая технология ЯЭУ и экология: Справ. - Киев: Наука, 1993. - 447 с.*
16. *Быховский М.С. Методы определения вредных веществ в воздухе. - М.: Медицина, 1966.*
17. *Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. - М.: Химия, 1984.*
18. *Архипенко О.В., Гладишев В.М., Масько О.М. Удосконалення водно-хімічного режиму 2 контуру на АЕС України // Ядерні та радіаційні технології. - 2003. - Т. 3, № 3. - С. 53 - 57.*
19. *Архипенко О.В., Кишневський В.А., Масько О.М. Досвід ведення та шляхи удосконалення водно-хімічного режиму 2 контуру на АЕС України // Там же. - С. 71 - 82.*

Надійшла до редакції 22.11.04,
після доопрацювання - 20.12.04.