**Кравченко Володимир Петрович. Надійність теплообмінного обладнання та трубопроводів другого контуру АЕС з ВВЕР : Дис... д-ра наук: 05.14.14 - 2007.**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | **Кравченко В.П. Надійність теплообмінного обладнання та трубопроводів другого контуру АЕС з ВВЕР.**– Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.14.14 – Теплові та ядерні енергоустановки. – Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2007.  Знайшов розвиток метод зіставлення технічних рішень для ядерних енергетичних установок, що мають різні показники безпеки. Запропоновано метод розрахунку “вартісного еквівалента безпеки”. Доведено вплив вимикань підігрівачів високого тиску (ПВТ) на тривалу міцність вихідного колектора парогенератора ПГВ–1000. Визначена причина несиметричного розташування тріщин на ньому. Результати гідравлічного розрахунку ПВТ сумісно з аналізом замірів товщини стінки змійовиків показали, що основною причиною ерозійно–корозійного зносу вхідних ділянок є завихрення потоку. Запропонована та обгрунтована реконструкція ПВТ, у результаті якої виробництво електроенергії підвищується. Запропоновані рекомендації, що дають можливість знизити обсяг контролю змійовиків ПВТ. Наводиться алгоритм прогнозування зносу трубопроводів, що грунтується на експоненціальній залежності змінення товщини стінки за часом. Визначено середні швидкості зносу технологічних трубопроводів. | |
| |  | | --- | | У дисертації наведені результати досліджень, що характеризують проблеми, пов'язані з ерозійно–корозійним зносом теплообмінного обладнання і трубопроводів другого контуру АЕС з ВВЕР, зі зниження міцності метала у корозійному середовищі, а також з методикою вибору оптимальних технічних рішень для ЯЕУ. Одержані результати дозволяють удосконалити конструкцію і методи розрахунку парогенераторів і ПВТ, а також здійснювати прогнозування зносу трубопроводів, зменшити об'єм контролю стану змійовиків ПВТ і трубопроводів без впливу на безпеку й інформативність, що зменшить тривалість ремонту. Результати роботи можуть бути використані на всіх АЕС з реакторами ВВЕР.  Основні результати досліджень зводяться до такого:   1. Підвищення надійності теплообмінного обладнання та трубопроводів другого контуру є суттєвим резервом для підвищення виробництва електроенергії на АЕС та, відповідно, КВВП українських енергоблоків до середньосвітового рівня. Через відмови парогенераторів (ПГ), підігрівачів високого тиску (ПВТ) та трубопроводів другого контуру недовиробляється 45,8 % від загального недовиробітку електроенергії на блоці. Основною причиною є ерозійно–корозійний знос (ЕКЗ) змійовиків ПВТ і трубопроводів та зниження міцності колектора теплоносія ПГ у корозійному середовищі.   2. Аналіз розташування пошкоджених перемичок на вихідному колекторі теплоносія двадцяти трьох демонтованих парогенераторів ПГВ–1000 показав, що розподілення пошкоджень з висотою в зоні перфорації має два максимуми – над вершиною клина (29,3 %) та в районі закінчення закраїни (15,7 %). 72 % пошкоджених перемичок знаходиться на “холодній” половині колектора. Тобто має місце несиметричність розташування пошкоджень відносно вершини клина.  3. Вперше доведено, що одним з факторів, які визначають виникнення крізної тріщини у перемичках трубної дошки “холодного” колектора теплоносія у ПГВ–1000 є ненадійна робота ПВТ. Розроблена методика і проведена відповідна обробка статистичних даних зміни температури живильної води на 13 енергоблоках за 40 реакторороків. У період від пуску енергоблока до пошкодження колектора на різних АЕС мають місце 80…180 коливань з амплітудою 16…40 С (0,3…1 раз на тиждень). Ці коливання не можуть викликати руйнування через міцність, проте сприяють розвитку корозійно–втомних тріщин.  4. Вперше пояснений механізм руйнування перемичок вихідного колектора теплоносія ПГВ–1000 та несиметричне розташування пошкоджених перемичок. Сторона колектора, протилежна клину, куди входять більш короткі труби, має вищу температуру, ніж біля клина (куди входять більш довгі труби). У результаті цього виникає сила, що прагне деформувати колектор у горизонтальному напрямі, перпендикулярному ближчій твірній корпусу ПГ. Однак унаслідок утримання колектора горловиною і пакетом труб на нього діють розтягуючі зусилля в протилежному напрямі, що сприяє руйнуванню перемичок в області над клином. На «гарячій» стороні ПГ генерується більша кількість пари, а отже, температура теплоносія і труб, що підходять до «холодного» колектора з «гарячої половини», нижче за відповідну температуру колектора з боку «холодної» половини. Тобто виникають сили, прагнучі зігнути його уздовж подовжньої осі ПГ в напрямку вхідного колектора. Рівнодіюча цих сил направлена під деяким кутом до осі ПГ у бік вхідного колектора, що і спричтняє розтягувальні напруги на протилежній стороні. Цим пояснюється несиметричне розташування пошкоджень над клином.  5. Для з'ясування закономірностей ЕКЗ змійовиків ПВТ були оброблені виміри товщини стінки змійовиків на всіх ПВТ тринадцяти енергоблоків АЕС. Стінка багатьох трубок товщає. Аналіз закономірностей зміни товщини стінки слід проводити роздільно для тих трубок, що стоншилися, і роздільно для тих, що потовщилися. Встановлено, що знос змійовиків, сполучених з різними колекторами, внутрішніх і зовнішніх змійовиків, різних ниток А та Б, однаковий. Найбільший знос спостерігається на перших по ходу живильної води ПВТ. Це пояснюється максимумом корозійної агресивності води при температурі ~170 С.  6. Вперше побудована залежність зміни товщини стінки змійовиків з висотою ПВТ. Максимальний знос має місце по ходу живильної води в зоні конденсації пари відразу за дросельною шайбою. Верхні змійовики мають мінімальний знос. У зоні охолоджування конденсату (ОК) знос рівномірний. Захищати вхідні ділянки змійовиків слід не тільки в зоні ОК, як показав досвід експлуатації, але і в нижніх секціях зони КП. Оскільки швидкість води у всіх рядах змійовиків перевищує значення 1,6 м/с, нижче якого ЕКЗ не спостерігається, то з часом слід захищати всі змійовики по висоті.  7. Аналіз історії розвитку конструкції ПВТ із збільшенням потужності показав, що з ускладненням конструкції і введенням дросельних шайб, перепускних труб і т.д., надійність роботи ПВТ безперервно знижувалася. Проведений гідравлічний розрахунок показав, що швидкість живильної води 2,3 м/с у зоні ОК і 2,37 м/с у зоні КП відносно мала та не є основною причиною ЕКЗ. Основною причиною є наявність додаткових завихрювачів потоку: дросельної шайби, перепускної труби і таке інше. У зв'язку з цим був запропонований і обгрунтований варіант реконструкції з вирізуванням дросельної шайби, перепускної труби і з'єднанням допоміжного колектора із збиральним колектором у нижній частині. Проведений техніко–економічний розрахунок показав, що за рахунок підвищення надійності, незважаючи на зниження температури живильної води на 2,9 С, коефіцієнт забезпечення заданої відпустки електроенергії збільшиться на 0,54 %.  8. Для зниження швидкості живильної води в ПВТ до припустимого значення з точки зору ЕКЗ (1,6 м/с) запропоновано байпасувати 20 % живильної води. При цьому температура води знизиться з 223 С до 205,8 С, електрична потужність блока знизиться на 10 МВт (1 %). Але підвищення надійності роботи ПВТ призведе до зростання коефіцієнта забезпечення заданої відпустки електроенергії на 0,59 %.  9. Розрахунок швидкості пари в міжтрубному просторі ПВТ показав, що швидкість пари не перевищує 6,4 м/с. Це означає, що знос змійовиків із зовнішньої сторони визначається не високою швидкістю пари, а наявністю вологи в парі. Для запобігання зовнішньому зносу слід встановити сепаратори пари на вхід паропроводу гріючої пари біля турбіни. У цьому разі буде захищений не тільки ПВТ, але й сам паропровід, який також схильний до зносу і вібрації.  10. При конструюванні теплообмінного обладнання з вуглецевої сталі доцільно приймати швидкість води не більше за 1,6 м/с. У колектори води треба встановлювати подовжні перегородки, що будуть виконувати роль заспокоювачів вихорів, які виникають при проходженні через місцеві опори. Треба уникати використання таких елементів, як дросельні шайби, перепускні труби та ін.  11. Виміри товщини стінки змійовиків ПВТ вказують на наявність відкладень на внутрішній поверхні, які сприймаються ультразвуковим товщиноміром як основний метал. У зв'язку з цим були зроблені оцінні розрахунки товщини відкладень, які показали, що дійсна товщина стінки біля колектора повинна братися на 0,34 мм менше за значення, отримане за допомогою ультразвукового товщиноміра.  12. Зіставлення двох методів прогнозування зносу трубопроводів (1. Використання багатофакторної залежності, що враховує конструктивні та експлуатаційні властивості трубопроводу та середовища. 2. Побудування регресійних залежностей змінення товщини за результатами вимірів для кожного елементу) показало, що оскільки обидва методи використовують результати вимірювань і перший метод потребує складних експериментальних досліджень, до того ж, не завжди вірогідних, перевагу слід віддати другому методу: використанню індивідуальних експлуатаційних залежностей зміни товщини стінки з часом.   1. Розроблено алгоритм роботи автоматизованої системи для прогнозування зносу трубопроводів другого контура на основі експоненціальної залежності зміни товщини стінки з часом. Розроблена структура бази даних за вимірами товщини стінок трубопроводів.   14. Знайшов подальший розвиток метод зіставлення технічних рішень для ядерних енергетичних установок, за допомогою якого показники безпеки (імовірнісні та радіаційні) враховуються як складові в техніко–економічному аналізі. Запропоновано метод розрахунку “вартісного еквівалента безпеки”. | |