**Корольов Олександр Вікторович. Аналіз, моделі та діагностика кризових теплогідравлічних явищ в енергообладнанні АЕС : Дис... д-ра наук: 05.14.14 – 2007**

|  |  |
| --- | --- |
| |  | | --- | | Корольов О.В. Аналіз, моделі та діагностика кризових теплогідравлічних явищ в енергообладнанні АЕС – Рукопис.  Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. Спеціальність: 05.14.14 — Теплові та ядерні енергоустановки. — Одеський національний політехнічний університет, Одеса, 2007.  Дисертацію присвячено експериментальному і теоретичному дослідженню кризових теплогідравлічних явищ (термоакустичних коливань (ТАК), кризи кипіння і кризи течії), що визначають надійність роботи енергообладнання АЕС. Автором проведене експериментальне дослідження режимної області ТАК в діапазоні 0,1…0,13 МПа, отримане критеріальнє рівняння що враховує масштабний чинник. Встановлено, що наслідком електронагріву є електродинамічні сили, що визначають вібрацію поверхні нагріву і виникнення ТАК. Експериментально підтверджений вплив електродинамічних сил на вібрацію поверхні теплообміну, встановлено істотну відмінність акустичних спектрів, отриманих на змінному і акумуляторному струмі, експериментально доведено, що відмінності в таблицях критичного теплового потоку, визначаються видом обігріву. Встановлені причини появи S-образних кривих кипіння. Розроблений метод вимірювання температури поверхні нагріву за допомогою індикатора. Експериментально встановлений факт зниження гідравлічного опору каналу, що обігрівається, за рахунок електродинамічної вібрації стінок каналу. Розроблений метод діагностики снарядно-пробкових режимів двофазного потоку. Встановлена закономірність самоорганізації двофазного потоку в кризу течії, отримані вирази для розрахунку швидкості звуку і частотних характеристик каналів з двофазними і підкипаючими потоками. Розроблені моделі течії теплоносія в каналах, що обігріваються, показана можливість реалізації в цих умовах високочастотних коливань. Розроблений метод розрахунку радіаційного підйому тиску в пароводяному інжекторі. Експериментально досліджені протікання фланцевих з’єднань в діапазоні 5…16 МПа, встановлена залежність спектра акустичного сигналу від характеру течії, розроблені положення щодо створення системи акустичного контролю протікання фланцевих з'єднань верхнього блока реактора ВВЕР-1000. За результатами досліджень розроблено практичні додатки. | |
| |  | | --- | | У дисертаційній роботі на основі проведених автором досліджень вирішено науково-технічну проблему, пов'язану з недостатнім рівнем теоретичних зв'язків акустичних характеристик і властивостей, з теплофізичними характеристиками і причинно-наслідковими зв'язками теплогідравлічних кризових явищ, що мають місце в енергетичному обладнанні АЕС. При цьому усунено встановлені в ході виконання роботи науково-технічні протиріччя, пов'язані з експлуатаційною надійністю теплотехнічного обладнання АЕС. Розв’язанням поставлених в роботі завдань дозволило отримати нові методи діагностики і досліджень кризових теплогідравлічних явищ в режимах роботи енергообладнання АЕС.  Виконані автором дослідження направлені на розробку експериментальних установок і методів, що виявили ряд закономірностей, аналіз яких дозволяє стверджувати, що сформульована в роботі проблема може вважатися вирішеною. При виконанні роботи використовувалися коректні і достовірні методи дослідження. При цьому експериментальні дослідження підтвердили коректність постановки завдань експериментальних досліджень і математичних методів, використаних при доказі основних наукових положень.  У роботі отримано такі наукові і практичні результати:   1. На основі аналізу відомих досліджень по ТАК встановлено ряд науково-технічних протиріч в описі ряду теплогідравлічних процесів і явищ, що спостерігаються в обладнанні АЕС. Аналіз протиріч дозволило встановити, що:    1. Поява режиму термоакустичних коливань в каналах, що обігріваються, зумовлено контактним електричним обігрівом експериментальних каналів [19, 21].    2. Виникнення ТАК в умовах АкЗ ВВЕР-1000 неможливе.    3. Відмінності в значеннях експериментальних даних по кризі кипіння, отриманих на різних установках, зумовлені електромагнітною дією гріючого струму.   Експериментальні дослідження встановили істотний вплив на область режимних параметрів ТАК масштабного чинника і геометрії каналу, а також причинно-наслідкові зв'язки виникнення ТАК:  2.1. Встановлено основні критерії що визначають тепломасообмін і гідравліку в АкЗ ВВЕР-1000.  2.2. Отримано критеріальний комплекс, що описує область існування ТАК з урахуванням масштабного чинника [3, 18]:  .  2.3. Вперше розроблено теорію електродинамічного впливу на канали, які обігріваються змінним струмом, що підтвердило причину появи термоакустичних коливань в цих каналах [19, 21]. Встановлено механізм електромеханічних коливань, які діють на канал, що обігрівається змінним струмом, отримано залежність, що дозволяє оцінити амплітуду цих коливань [12].   * 1. Проведені дослідження впливу електрообігріву на теплогідравлічні процеси, характерні для обладнання АЕС, дозволили вперше встановити таке:      1. Електромеханічні вібрації дротяного або трубчастого нагрівника при зміні теплового навантаження проходять через максимум, що пов'язано із зміною пружних властивостей металу нагрівника при його розігріванні [4].      2. Істотне зростання тепловіддачі (на порядок) при контактному обігріві змінним струмом зумовлене вібрацією поверхні теплообміну, яка викликана електродинамічними силами [10].      3. Причина появи S-подібних кривих кипіння, є наслідком електричного обігріву змінним або випрямленим струмом поверхні теплообміну [8].   3.4. Розроблено і перевірено методику альтернативного вимірювання температури протяжного нагрівника по його тепловому подовженню за допомогою індикатора [15]. Встановлено джерела похибки вимірювання температури дротяного нагрівника за його електричним опором [11].  3.5. Внаслідок дії електромеханічних вібрацій стінок каналів їх гідравлічний опір падає на 20…25% [5, 6].  3.6. Експерименти з обігрівом поверхні нагріву акумуляторним струмом виявили відмінності в спектрах сигналу шуму, зокрема амплітуда сигналу знижувалася на 5…7 дБ, в порівнянні з обігрівом змінним струмом [22, 24, 25].  3.7. Причиною руйнування трубок експериментального каналу є не термоакустичні коливання тиску, а перепал каналу при дослідженнях області кипіння, близької до кризи кипіння [14].   * + 1. Встановлено зв'язки теплогідравлічних характеристик двофазних і підкипаючих потоків з їх акустичними характеристиками, а також з частотними характеристиками критичних течій, показано зв'язок критичного потоку з режимом ТАК:        1. Розроблено пасивний акустичний метод діагностики режимів течії двофазного потоку, встановлено зв'язок акустичних шумів з коливаннями тиску в потоці, встановлено джерело помилки в експериментах Фауске щодо визначення швидкості звуку в двофазному потоці [9].        2. Розроблено модель підкипаючого потоку, отримано вирази для розрахунку частоти і швидкості звуку в каналах з підкипаючим теплоносієм [13], при дотриманні умови «позитивної роботи бульбашки».        3. Розроблено математичну модель руху теплоносія в підкипаючому каналі, аналіз стійкості якої показує, що в рамках прийнятих допущень, можлива поява нестійкості течії в підкипаючих потоках при j 0 [29]. Розроблено модель коливального контуру на базі моделі підкипаючого потоку, показано можливість параметричного резонансу в підкипаючому потоці і виникнення ТАК за механізмом Несиса Є.І. при дотриманні умов для ТАК, сформульованих Герлигою В.А., і які погоджуються з візуальними спостереженнями.        4. Встановлено закономірність самоорганізації двофазного потоку в кризу течії (заявка на відкриття, довідка №51-ВІД-2717 від 08.08.91р.) [1].        5. Встановлено наявність природних частотних характеристик у критичного потока, зв'язуючих швидкість течії та розміри фазовий фракцій, отримане підтвердження критерію турбулентності Бетчова для двофазних потоків () [1, 2].        6. Експериментально виявлено і теоретично обгрунтовано можливість реалізації акустичного підйому тиску в пароводяному інжекторі, за механізмом кризи течії, що пояснює відсутність практичних реалізацій інжекторів з камерою змішування великого діаметра (більше за 100 мм). Отримано основні співвідношення для розрахунку цього режиму, що дозволяють вибирати оптимальну відстань сопло — камера змішування в пароводяних інжекторах розрахунковим шляхом [16].        7. Доведено правомірність моделювання двофазних течій механічними моделями (за моделю середовища Гука).   Встановлено зв'язок частотних властивостей критичної течії з акустичними характеристиками шуму витікання високого тиску:   * + - 1. Встановлено, що акустичні спектри дефектів щілинного типу практично не відрізняються в широкому діапазоні змін геометрії дефектів, а дефекти канального типу, дефекти ущільнюючих прокладок, а також недожаті фланцеві рознімання мають аналогічні акустичні спектри. Акустичні резонанси в міжфланцевих розніманнях не виявлено [20, 26, 28].       2. Отримано залежність інтенсивності шуму від тиску пари в посудині у вигляді експонентної функції [20].       3. Встановлено відсутність принципових відмінностей в спектрах, отриманих при течії насиченої води, пари і повітря. Встановлений вплив витрати і відхилення кута спрямованості мікрофона на дефект на точність визначення місця розташування витікання [20, 28].       4. Розроблено практичні рекомендації щодо створення систем акустичного моніторингу протікань верхнього блоку ВВЕР-1000.   На базі теорії електродинамічної вібрації, розроблено пристрій очищення котельних труб від накипу [23].  Розроблено спосіб, що дозволяє підвищити стійкість роботи парогенеруючого каналу за рахунок впливу масових відцентрових сил [34, 35]. | |