

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ ..	7
ВСТУП	9
ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ КОРОЗІЙ ТА ВІДКЛАДЕНЬ В ПЕРШОМУ КОНТУРІ АЕС З ВВЕР-1000	10
1.1 Загальна інформація про водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР-1000...	10
1.2 Дослідження проблеми утворення корозійних речовин та осадових відкладень в реакторах ВВЕР	16
1.3 Радіоліз теплоносія у першому контурі АЕС з реактором ВВЕР	23
Висновки до розділу	29
2. МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ТЕПЛОНОСІЯ ПЕРШОГО КОНТУРУ АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000	30
2.1 Математична модель для розрахунку значення температури в ПК	31
2.2 Розрахунок концентрацій компонентів першої стадії.....	33
2.3 Розрахунок концентрацій компонентів другої стадії	34
2.4 Розрахунок концентрацій компонентів третьої стадії.....	35
Висновки до розділу	36
3. АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРІШЕННЯ ЗАДІЧІ ПОШУКУ КОРОЗІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК ПЕРШОГО КОНТУРУ АЕС З ВВЕР-1000	37
3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища	37
3.2 Технічне завдання на розробку обчислювального модулю.....	38
3.3 Структура і характеристики розробленого модулю	39
3.4 Результат роботи програмного модулю.....	40

Висновки до розділу	45
4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ	46
4.1 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу	47
4.2 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда.....	47
4.3 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту.....	48
ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	54
ДОДАТОК А Облікова картка НДДКР	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК Б Код програмного модулю	Ошибка! Закладка не определена.
ДОДАТОК В. Інструкція з користування програмним модулем.....	Ошибка!
Закладка не определена.	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС – Атомна електростанція.

ВХР – Водно-хімічний режим.

ВВЕР – Водо-водяний енергетичний реактор.

РБМК - (рос. Реактор Большой Мощности Канальный)

ТС – Технологічна схема.

ПК – Перший контур.

РУ - Реакторна установка.

ПГ – Парогенератор.

ГЦТ – Головний циркуляційний трубопровід.

КД – Компенсатор тиску.

ПВД – Підігрівач високого тиску.

B2B – (англ. business to business) Модель взаємодії бізнес для бізнесу.

B2C – (англ. business to customer) Модель взаємодії бізнес для споживача.

ФОП – Фонд оплати праці.

ОЗ – Основні засоби.

ОФ – Основні фонди.

ОбФ – Оборотні фонди.

А – Амортизація.

Ц – Ціна.

С – Собівартість.

П – Прибуток.

Р – Рентабельність.

Е – Коефіцієнт економічної ефективності.

ФВ – Фондовіддача.

ФЕ – Фондоємність.

ВСТУП

Метою даної роботи є дослідження та моделювання водно хімічного режиму теплоносія першого контуру АЕС з реактором типу ВВЕР – 1000 та подальше використання отриманих результатів в підсистемі управління.

Актуальність даної роботи полягає в забезпеченні надійного, ефективного і безпечного функціонування АЕС, оскільки тільки в нашій державі майже 70% електроенергії виробляється на 16 енергоблоках. Основною проблемою в експлуатації яких, як для будь якої АЕС, так і в нашому випадку з реакторами типу ВВЕР є утворення в наслідок процесу радіолізу води корозійних речовин та осадових відкладень на внутрішній частині стінок обладнання та трубного простору що зменшують терміни можливої експлуатації даного виробництва.

Основою функціонування більшості таких систем є імітаційна модель енергетичного об'єкта, що дозволяє проводити моделювання різних режимів функціонування.

- Робота виконана в межах науково дослідної роботи, на тему «Розроблення математичних моделей оцінювання стану теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000». Договір № 12-18.

Результати роботи були представлені на двох конференціях:

- Сьомій міжнародній науково-практичній конференції КМХТ, Київ, 2019
- Міжнародній науковій інтернет-конференції «Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення» Тернопіль, 2019.

ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМИ УТВОРЕННЯ КОРОЗІЙ ТА ВІДКЛАДЕНЬ В ПЕРШОМУ КОНТУРІ АЕС З ВВЕР-1000

1.1 Загальна інформація про водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР-1000.

Історичний екскурс. Водо-водяний енергетичний реактор (ВВЕР) – ядерний енергетичний реактор, основною робочою силою якого слугує теплоносій, а сповільнювачем служить вода під високим тиском. Стиснення води виконується для збереження її в рідкому стані, задля забезпечення високої температури теплоносія, понад 300 °С.

В перше напрямком технології водо-водяних енергетичних реакторів типу ВВЕР почали розробляти в радянському союзі на початку 1950-х років паралельно з реакторами типу РБМК. Під час наукових досліджень за основу реактору був взятий реактор ВЕС-2 з цирконієвою активною зоною та підвищеними параметрами пару.

В 1964-му році був запущений перший блок Нововоронезької АЕС з реактором ВВЕР-210 що став першим реактором даної серії.

В 1970-му році був запущений на тій самій станції другий блок з реактором ВВЕР-365. В 1971-му році був запущений знову ж на тій самій станції третій блок з реактором ВВЕР-440, що в свою чергу став серійним радянським реактором першого покоління. На його основі були створені ключові технічні рішення, використані при побудові реакторів ВВЕР-1000, серед яких наприклад залізобетонна герметична оболонка.

Робота що до створення реактору ВВЕР-1000 почалася в 1966 му році Курчатовським інститутом в місті Москва, науковим керівником був обраний А.П. Александров. До 1971го року під керівництвом головного конструктора В.В. Стекольникова був розроблений проект реактору ВВЕР-1000 на ОКБ «Гідропрес» (м. Подольськ). Першим виробником став Іжорський завод (м. Санкт-Петербург)

а до початку 90-х реактори також виготовлялися заводом Атоммаш (м. Волгодонськ) і компанією ŠKODA JS (Чехія).

Першим блоком АЕС де був застосований реактор ВВЕР-1000 став п'ятий блок Нововоронезької АЕС у 1980му році.

Сьогодні ядерні реактори цього типу встановлені на кожній з атомних електростанцій в Україні, а саме в Рівненській, Запорізькій, Хмельницькій, Південноукраїнській атомних електростанціях, а також на станціях в Росії, Болгарії, Чехії та Китаї, та складають приблизно 7,5% від загальної кількості ядерних реакторів усіх типів що експлуатуються в усьому світі.

Реактор ВВЕР-1000 (рисунок 1.1). Даний реактор має основні вузли серед яких основними є корпус, внутрішні пристрої, активна зона, верхній блок та ін. Для нашого дослідження основним вузлом, з яким ми частково працюємо, є активна зона реактору.

В активній зоні реактору ВВЕР-1000 наявні 163 паливні касети, розташовані з кроком 236 мм., кожна з яких містить по 312 твелів, та встановлені своїм хвостовиком на опорі днища шахти.

По довжині касети рівномірно розміщено 18 напрямних трубок. У даних трубках з допомогою механічного приводу, в залежності від розміщення по довжині активної зони касети, може бути переміщено зв'язка з 18 спеціальних поглинаючих стрижнів (ПС) до органу що керує регулюючими процесами в системі управління і захисту (ОР СУЗ).

Осердя даних стрижнів виготовлене з матеріалу на основі карбїду бору в матриці з сплаву алюмінію, також можуть застосовуватися й інші поглинаючі матеріали такі як титанат або гафній.

Рисунок 1.1 – Конструкція реактору ВВЕР-1000

Завдяки зміні ряду характеристик потужність блоку з реактором ВВЕР-1000 значно збільшилася порівняно реакторів більш старих версій таких як ВВЕР-440, ВВЕР-446 чи ВВЕР-466Б. Вага корпусу реактора становить близько 330 т. Середнє вигорання палива доходить приблизно до 50 МВт·добу/кг.

ВВЕР-1000 і обладнання першого контуру з радіоактивним теплоносієм розміщені в захисній оболонці з попередньо напруженого залізобетону (термооболонці).

Аналіз першого контуру АЕС з ВВЕР -1000.

Енергоблок сучасної ядерної установки являє собою складну технічну систему. Даному об'єкту притаманні всі основні ознаки системи, такі як наприклад цілісність, або ж наявність кількох підсистем зв'язаних між ними чи то структурованість і головне – робота суцільної системи для єдиної мети.

Структура технологічної схеми (ТС) енергоблоку атомної електростанції з водо-водяним реактором ВВЕР-1000 складається із двох контурів.

Перший контур є радіоактивним, він складається з ядерного реактору типу ВВЕР та чотирьох циркуляційних петель для його охолодження (Рисунок 1.2).

Кожна складається з горизонтального парогенератору ПГВ-1000, головного циркуляційного насоса та головного циркуляційного трубопроводу. До однієї з петель приєднаний паровий компенсатор тиску, для підтримки тиску води в контурі на заданому рівні.

Перший контур призначений для відводу тепла, виділеного в реакторі, і передачі його до другого контуру через парогенератор.

Вся утворена енергія внаслідок поділу ядерного палива відводиться теплоносієм з активної зони реактора, за допомогою циркуляційного насоса.

З реактора теплоносій по трубопроводах надходить в парогенератору, де віддає тепло котельній воді другого контуру і потім головними циркуляційними насосами повертається в реактор [3,9,16].

Другий контур технологічної схеми енергоблоку – нерадіоактивний, він складається з парогенераторів, турбіни К-1000-60 / 1500-2 з генератором ТВВ-1000-4 і допоміжного обладнання машинного відділення. В нашій роботі розглядається лише перший контур.

Рисунок 1.2 – Технологічна структура першого контуру енергоблоку АЕС: РУ - реакторна установка; ПГ - парогенератор; ГЦТ - головний циркуляційний трубопровід; КД - компенсатор тиску; ПВД - підігрівач високого тиску

Особливості теплового потоку першого контуру. Ядерне паливо в реакторах типу ВВЕР являють собою тепловидільні збірки (ТВЗ), що складаються з тепловидільних елементів (твелів), що містять таблетки з діоксиду урану, слабо збагаченого по 235-му ізотопу, який в процесі роботи виділяє теплову енергію, номінальне значення якої 3 000 МВт. Дана енергія відводяться до чотирьох парогенераторів по 750 МВт кожному [3,5,18,22].

Вода що знаходиться в реакторі в поточний час поглинає теплову енергію та нагрівається номінально від 290 до 320 °С. Оскільки тиск в першому контурі номінально складає 15,7 МПа то вода залишається рідкому стані навіть при таких надвисоких температурах.

Далі нагріта вода одночасно подається по трубопроводах, з швидкістю 4-6 м/с, до чотирьох парогенераторів типу ПГВ–1000, в яких теплова енергія передається до другого контуру, а теплоносій знову охолоджується до 290 °С та повертається до реактору [3,5,9].

При цьому теплова енергія що перейшла до води в другому контурі нагріває воду до стану пари, яка в свою чергу передається до турбін в яких перетворюється на електроенергію номінальне значення якої 1000 МВт.

Основні параметри для першого контуру наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Основні параметри ПК

Таким чином температура теплоносія в першому контурі змінюється з 290 до 320°C з постійним радіолізом на всій довжині контуру.

Звісно ж як і будь який механізм водо-водяні реактори мають свої переваги та недоліки.

Переваги та недоліки. До переваг водо-водяних реакторів слід віднести:

- доступність води як природнього ресурсу як теплоносія так і поглинача;
- менша кількість персоналу, що задіяна для обслуговування реактора в порівнянні з реакторами інших моделей;
- малий розмір по відношенню до інших типів реакторів схожої потужності, характерний для всіх PWR-реакторів. Розмір можна порівняти хіба що з реакторами типу CANDU, що мають меншу потужність;
- підвищена безпека експлуатації через двоконтурність конструкції в порівнянні з одно контурними реакторами;
- відносна простота очищення води першого контуру після виведення з експлуатації шляхом випаровування (за допомогою випарювання кількість радіоактивних елементів можна скоротити в 50-70 разів).

Разом з тим зазначена конструкція має ряд недоліків:

- неможливість перевантаження палива без зупинки реактора;

- корозійність води як теплоносія і, відповідно, необхідність її подвійної дистиляції;
- утворення в процесі радіолізу активного водню, який необхідно виводити;
- необхідність застосування борного регулювання;
- необхідність підтримки високого тиску для недопущення закипання води за температури понад 300°C і як наслідок значна небезпека під час виникнення аварійних ситуацій в порівнянні з іншими реакторами, що мають менший тиск.
- необхідність парогенераторів, які зменшують ККД реактора.

1.2 Дослідження проблеми утворення корозійних речовин та осадових відкладень в реакторах ВВЕР

Однією з головних проблем реакторів типу ВВЕР та зокрема реакторів ВВЕР-1000 є утворення під час взаємодії іонізуючого випромінювання та теплоносія, води, інших сполук речовин, деякі з яких впливають на можливість пошкоджень контуру внаслідок утворень корозійних речовин або осадових відкладень.

Для прикладу наведемо дослідження роботи спроможності теплообмінних труб парогенератора Нововоронезької АЕС з реакторами ВВЕР-440 та ВВЕР-1000 [3-11].

Працездатність теплообмінних труб пов'язана з проблемою збереження цілісності (запобігання утворенню наскрізних дефектів у теплообмінних трубах), внаслідок впливу ряду факторів, викликаних умовами експлуатації: статичними і вібраційними механічними навантаженнями, термічним впливом з одночасним впливом корозійного середовища, яка визначається водно хімічним режимом даного контуру [3].

Проведений аналіз однотипних парогенераторів в даній роботі виявив різний рівень їх надійності, навіть при аналогічному пристрої систем другого контуру.

При цьому відзначено і різний характер виявлення дефектів в часі. На деяких блоках інтенсивність появи дефектів з часом знижується, а на інших - навпаки інтенсивність підвищується, тобто спостерігається деякий інкубаційний прихований період, який може тривати 10 років і більше. Все це, на думку авторів, вказує на те, що одним з найважливіших факторів, що визначають процес корозії - є водний режим [3,4,7].

Підтримка щільності теплообмінної (т/о) трубочатки на всіх АЕС забезпечується завдяки [4]:

- періодичному неруйнівному ВТ контролю т/о труб;
- контролю величини протікання в парогенераторах з 1-го контуру в другий;
- контролю за водно-хімічним режимом теплоносія;
- хімічному промиванню.

Структурні дослідження зразків труб, вирізаних з різних ПГ АЕС з ВВЕР свідчать про те, що основним механізмом, відповідальним за пошкодження труб, є процес корозійного розтріскування під напругою. Даний вид корозії розвивається в аустенітних хромонікелевих нержавіючих сталях під дією розтягуючого сил, та корозійно-активного середовища, що містить активатори і окислювачі [3].

У випадку з теплообмінними трубами ПГ з ВВЕР розтріскування розвивається при концентруванні домішок (переважно хлорид-іонів) в щілинах і відкладеннях на їх зовнішній поверхні. В якості активатора корозії можуть розглядатися також сульфати. В якості окислювача виступає кисень. Характерно утворення тріщин в місцях виникнення виразок [8,9].

У багатьох роботах [4] відзначається, що тріщини найчастіше орієнтовані вздовж твірної лінії труби і можуть мати як міжкристалітного і транскристалітний, так і змішаний характер.

Результати металографічних досліджень і хімічного аналізу зразків вирізаних труб свідчать про зв'язок освіти виразок з осадженням у відкладеннях металевої міді. Вплив міді відзначається багатьма дослідниками [4,5,10]. Інші дослідники вважають визначальним для процесу корозії присутність сульфатів, хлоридів, натрію та інших елементів. При цьому вплив тих чи інших компонентів залежить від умов в локальній зоні (в щілині) після розпарювання теплоносія [11].

Склад відкладень на теплообмінних трубах відрізняється для різних енергоблоків.

В основному вони складаються з оксидів заліза (70 ÷ 90%) і міді (10 ÷ 30%), в незначних кількостях присутні також кальцій, кремній та інші елементи [3].

Дослідження хімічного складу відкладень на прямій ділянці і в зоні дистанціювання показали відмінність в їх хімічному складі. У деяких випадках відкладення пухкі та можуть бути легко зняті. В інших випадках вони жорсткі і щільно зчеплені з поверхнею труби. Зазвичай внутрішній шар відкладень більш щільний, ніж зовнішній [4].

В роботі [5] при дослідженні структури металу теплообмінних труб також були виявлені дефекти декількох видів. Спостерігалися, як зазначалося вище, виразки з подальшим розвитком у вигляді міжкристалітного руйнування, а також тріщини, як поодинокі з великим розкриттям, так і множинні, сильно розвинені. Мікро рентгеноспектральним аналізом в виразках виявлено підвищений вміст міді, а також значна кількість сірки. Всі дефекти розташовувалися під значним шаром відкладень, як на вільних ділянках труби, так і в місцях дистанціювання [2,6].

В роботі [3] з посиланням на джерело [8] відзначається, що за даними цього дослідження, що стосується розмірів дефектів теплообмінних труб ПГВ-1000 і ПГВ-440, виявлених методом вихрових струмів з використанням обертового датчика, довжини індикацій становлять від 5,8 до 20,4 мм, а ширина від 2,5 до 8,2 мм. Поєднання значної глибини і поверхні дефектів, на думку авторів дослідження, є характерним для розгалуженого міжкристалітного розтріскування, а в деяких випадках піттингу (виразок).

Відзначається також, що додатковими факторами, що впливають на пошкоджуваність теплообмінних труб можуть бути властивості металу і умови складання [3].

Вплив теплових навантажень на працездатність трубчатки ПГ можна оцінити з порівняння пошкоджуваності трубок ПГВ-440 і ПГВ-1000. Теплові навантаження цих парогенераторів помітно відрізняються. Істотно відрізняється і дефектність їх теплообмінних трубок. Так, наприклад, на ПГ ВВЕР-440 за період експлуатації всього було заглушено 0,7% трубок при середньому наробітку ПГ-19,5 років, а в ПГ ВВЕР-1000 на цей момент заглушено 0,8% теплообмінних трубок, що відповідає показнику ВВЕР-440, при вдвічі меншому відпрацьованому ресурсі (середнє напрацювання 10, 8 року)[3].

Підвищення теплового навантаження веде до ряду явищ, що впливають на працездатність трубного простору:

- збільшення швидкості утворення відкладень;
- зниження кратності циркуляції;
- підвищення утворення пари;
- підвищення концентрації домішок.

Дослідження стану теплообмінних труб парогенераторів ПГВ-440 за результатами контролю протягом 32 і 33-х років експлуатації та парогенераторів ПГВ-1000М протягом 15-років експлуатації [3].

За час експлуатації контроль щільності трубчатки парогенераторів ПГВ-440 і ПГВ-1000М спочатку проводився люмінесцентна-гідравлічним методом, згодом замінений на пневмогідравлічний акваріумний (бульбашковий) метод, а з 1992 року застосовується метод вихретокового контролю з порогом реєстрації дефектів понад 20% товщини стінки теплообмінної труби . При цьому до 1992р.

пошкоджені труби парогенераторів визначали за фактом течі, а з 1992р. шляхом застосування методу вихретокового контролю, відбраковування дефектних теплообмінних труб проводиться до появи наскрізного дефекту. Спочатку вихрострумний контроль теплообмінних труб проводився частково (~ 10%), а з 2002р. проводиться в обсязі 100% на всіх парогенераторах реакторів ВВЕР-440 в зв'язку з продовженням ресурсу [3].

На 5 енергоблоці 100% ВТ контроль теплообмінних труб проведено в парогенераторах 5ПГ-1 і 5ПГ-2 в 2002 г. При цьому глибина і розмір дефекту визначалися за параметрами сигналу, а місце розташування дефекту в трубці за параметрами індикації [3,10].

В наступній таблиці наведено кількість теплообмінних труб, заглушених в процесі експлуатації ПГВ-440 (після 32 і 33 років експлуатації) і ПГВ-1000М (після 15 років експлуатації) [3,10].

В даний час у зв'язку з продовженням ресурсу 3 і 4 енергоблоків НВ АЕС кожен раз при глушінні труб користуються рекомендаціями «ОКБ ГІДРОПРЕС». при цьому середнє значення критерію глушіння для 6-ти парогенераторів, наприклад, 3-го енергоблоку, з урахуванням основних принципів надійності, становить - 75% від товщини стінки теплообмінної труби [3].

Труби ПГ зберігають несучу здатність у разі виявлення несправностей (стоншування товщини стінки) глибиною до 65-70% при виконанні рекомендацій за умовами подальшої експлуатації [3,10].

Таблиця 1.1 Кількість теплообмінних труб, заглушених в процесі експлуатації [3]

В обсязі робіт по продовженню ресурсу 3 і 4 енергоблоків Нововоронезької АЕС були двічі проведені в 2000 і 2003 роках промивання всіх парогенераторів з метою видалення з поверхні труб відкладень, що є концентраторами корозійно активних домішок, що викликають корозійні пошкодження.

Кількість заглушених теплообмінних труб відразу після хімічної промивки в ППР-2003 і через рік роботи в ППР-2004 по результатах контролю [3,10].

Результати промивання вказані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Кількість заглушених теплообмінних труб.

Розташування дефектів по довжині теплообмінних труб наведено в таблиці 1.3 на підставі 100% ВТ-контролю парогенераторів 3 енергоблоку в ППР-2003.

Таблиця 1.3 - Розташування дефектів по довжині теплообмінних труб

Для з'ясування причини утворення наскрізних дефектів, в разі появи протікання теплоносія 1-го контуру через теплообмінні труби в різний час (1983, 1984, 1994 роки), а останній раз - в 2003 р., [3].

Проводилися дослідження механічних властивостей і металографічної структури з аналізом хімічного складу відкладень [3].

У вересні 1983р. з ЗПГ-1 (напрацювання 79474 годин) вирізані ділянки бездефектної труби (01-06) першого ряду і дефектної труби (02-07) другого ряду від 1-ї до 4-ї дистанціонуючих решіток, включаючи зони 2-й і 3-й дистанціонуючих решіток [3,10].

На верхній трубі були тонкі червоно-бурі відкладення, легко знімалися шабером. У зоні дистанціювання відкладення мали чорний колір [3,10].

Провівши металографічний аналіз, виконаний на зрізі зразку, вирізаного з ділянки труби з тріщиною з боку дистанціюється решітки НР1, показав, що тріщини утворюються і розвиваються з зовнішньої поверхні труби при експлуатації парогенератора. Бал зерна № 10 по ГОСТ 5639-82, що відповідає сертифікатним даними [5,7].

Структурних аномалій металу труби не виявлено.

Всі непрямі тріщини мають значну ширину до 50 мкм і заповнені продуктами корозії. (Рисунок 1.3)

Рисунок 1.3 Зовнішній вигляд тріщини в дефектній трубі (66-24) парогенератора ЗПГ-4 3 блоку.

Рисунок 1.4 Характер руйнування теплообмінної труби (66-24) в місці утворення наскрізної тріщини

До вищевикладеного слід додати, що наскрізна тріщина довжиною 73мм на теплообмінної трубі (66 - 24) виникла і розвивалася безпосередньо з зовнішньої поверхні труби, минаючи утворення виразки і, крім того, її виникнення і розвиток до наскрізної відбулося протягом року після ВТ контролю в ППР-2002. На момент контролю в ППР-2002 в цьому місці на трубі фіксувалися незначні електропровідні відкладення (Рисунок 1.4) [10].

Як висновок з даного підрозділу ми можемо сказати, що контроль за утворенням корозійних сполук та різного складу відкладень є критично важливим для безпечної роботи ядерних енергоблоків.

1.3 Радіоліз теплоносія у першому контурі АЕС з реактором ВВЕР

Відповідно до попередніх досліджень, основним процесом утворення даних речовин в ВХР першого контуру АЕС є процес зарядження води під дією вільних електронів, утворених під час ділення ядер радіоактивних елементів таких як уран-235. Цей процес має назву радіоліз.

Радіаційна хімія води та водних розчинів як наука виникла у відповідь на потребу атомної промисловості знати, що відбувається при дії випромінювання з теплоносіями ядерних реакторів і з водними розчинами - реагентами в технології виділення матеріалів, що діляться з опроміненого ядерного палива [13,15].

Перші систематичні експериментальні дослідження радіолізу води були виконані в США в середині 40-х років групами А. О. Аллена і Е. Дж. Харта. У нашій країні перші роботи по радіаційній хімії води були проведені в кінці 40-х - початку 50-х років в Інституті фізичної хімії АН СРСР (згодом, в Інституті електрохімії АН СРСР) і в Інституті теоретичної та експериментальної фізики групами Н. А. Бах - В. А. Медведовского і Б. В. Ершлера - П. І. Долина [13].

Теоретичні уявлення про механізм радіолізу води, так звана радикально-дифузійна теорія, в сучасному її вигляді була сформульована в США групами Р. Л. Платцмана і Дж. Маги. В даний час ця теорія є загальноприйнятою. Розглянемо її основні положення [13,15].

Основний постулат теорії: в результаті дії випромінювання на воду утворюються хімічно-активні частинки - порушені молекули і іони, радикали та

іон-радикали, реакціями яких один з одним і с іншими розчиненими речовинами визначаються макрозмін, що відбуваються з водою при опроміненні - виділення радіолітичного газів (водню і кисню), освіту пероксиду водню, окислювально-відновні процеси за участю розчинених речовин і т. д. Прийнято сумарний процес радіолізу рідкої води розділяти за часом на три стадії: фізичну, фізико-хімічну і хімічну [13,15].

Фізична стадія. На цій стадії, що триває 10^{-15} с, відбувається взаємодія частинки або високоенергетичного кванта з електронними оболонками молекул води. Останні мають енергію, достатню для іонізації ще кількох молекул води [13].

При цьому відстань, на якому відбувається кожна наступна іонізація, прогресивно зменшується, досягаючи декількох нанометрів при втраті вторинним електроном енергії, меншою потенціалу іонізації молекул води, рівного 12,6 еВ. В результаті такого процесу відбувається утворення "Блоб", коротких треків і "шпор" - локальних місць підвищеної іонізації. Вторинні електрони, які виробляють іонізації, мають достатньо енергії для збудження молекул води [15].

На фізичній стадії радіолізу утворюються збуджені H_2O^* і над збуджені H_2O^{**} молекули води (зокрема, рідбергівського стану з енергіями близько 8 еВ).

Рідбергівський стан – стан атомів, іонів і молекул з великими значеннями головного квантового числа n . Названі на честь І. Р. Рідберга, вперше експериментально досліджував атомні спектри поблизу кордону іонізації [14].

У рідкій воді можливо також утворення колективних збуджень - плазмонів з енергією 21,4 еВ і лінійними розмірами охопленої ними області близько 30 нм. Плазмони локалізуються за час близько 10^{-15} с з утворенням молекулярних іонів води. Молекулярні іони води (їх іноді називають "суха дірка") можуть мігрувати

по резонансного механізму; час міграції перевищує 10^{-15} с. Можлива також міграція збудження [13,15].

До кінця фізичної стадії, таким чином, в опроміненій воді є молекулярні іони води, електрони недозбудження, над збуджені іони. Система в цей момент є енергетично нерівноважною, неомогенною щодо просторового розподілу згаданих утворених частинок - недовготривалих продуктів радіолізу [13,15].

Фізико-хімічна стадія. На цій стадії радіолізу, що відбувається відповідно тривалості процесу коливання зарядженої молекули теплоносія, відбувається дисоціація заряджених і автоіонізації над заряджених молекул води: [13]

Процес термалізації електронів недозбудження відбувається тривалістю 10^{-13} секунд. Вони віддають власну енергію у внутрішніх молекулярних коливаннях та підчас дипольної релаксації молекули теплоносія [13].

Швидкість віддачі електронами недозбудження енергії наближено становить значення порядку 4.10^{13} eV/c.

Електрони, з певним надлишком енергії мають ймовірність взаємодії з іонами молекули води в триплетному та синглетному збуджених станах при співвідношенні три до одного [13,15].

Термолізовані електрони протягом поздовжньої діелектричної релаксації збираються в певних осередках з утворенням гідратованих електро нейронів [13].

Позитивні молекулярні іони води вступають в іон-молекулярну реакцію:

Утворений іон гідроксонію H_3O^+ гідратується за час порядку 10^{-13} с. [6]

В кінці даної стадії – заряджена вода переходить в стан теплової рівноваги. В ній можуть існувати гідратовані електрони, радикали H_2 OH і O_2 , іони гідроксонію та молекулярний водень. Ці частки розподіляються в просторі негомогенно, тобто вони концентруються на певних мікро ділянках.

У разі гамма-опромінення це - "шпори". Розподілення часток в "шпори" також нерівномірне: атоми O і H_2 радикали OH та іони гідроксонію знаходяться переважно в центрі "шпори", а гідратовані електрони - в кульовому шарі на відстані близько 4 нм від центру [13,15].

Хімічна стадія. Реакції хімічної стадії, починають відбуватись в період з $1 \cdot 10^{-10}$ с до $1 \cdot 10^{-8}$ с, та відбуваються у так званих "блобах", "шпорах" та коротких треках хімічних реакцій які були утворені на фізико-хімічній стадії.

Та призводить до становлення молекул водню, пероксиду водню та іонів гідроксилу. Одночасно наявно місце дифузії цих часток зі "шпор" до всього розчину.

В наслідок чого відбувається розмивання "шпор" та вирівнювання концентрацій продуктів радіолізу по довжині протікання реакції, тобто встановлення гомогенного розподілу отриманих речовин.

Час завершення такого розподілу становить близько 10^{-8} с. По закінченні цього часу в воді існують сполуки гідратованих електронів з атомами водню та кисню, радикали OH , молекулярний водень, пероксид водню, іони гідроксонію і гідроксилу [13,15].

Вся стадія протікає за наступними реакціями:

(1.8)

(1.9)

(1.10)

(1.11)

(1.12)

(1.13)

(1.14)

(1.15)

(1.16)

(1.17)

(1.18)

(1.19)

(1.20)

(1.21)

(1.22)

(1.23)

(1.24)

(1.25)

(1.26)

(1.27)

(1.28)

(1.29)

(1.30)

(1.31)

(1.32)

(1.33)

(1.34)

(1.35)

Всього даних реакцій 28. Де елемент e – це гідратовані електрони.

Ті частинки, що перейшли з місць підвищеної концентрації в загальний об'єм речовини, реагують з розчиненими речовинами, недовготривалими частинками, та стабільними продуктами радіолізу, що вийшли з інших місць підвищеної концентрації.

Ці реакції характеризуються, як правило, досить високими константами швидкості і низькими енергіями активації. Швидкість багатьох реакцій радикалів та іон-радикалів лімітується дифузією. Константи швидкості таких реакцій в рідкій фазі можуть бути з успіхом розраховані за допомогою рівнянь Смолуховського або Дебая, відповідно, для незаряджених частинок [13,15].

В результаті згаданих реакцій в системі відбувається руйнування первинних стабільних продуктів радіолізу води - водню, пероксиду водню, кисню - і виникнення вторинних радикальних продуктів, наприклад, радикалів HO_2 .

Якщо руйнується один з продуктів радіолізу, наприклад, то говорять про "зворотні" реакції [13,15].

В умовах безперервного впливу іонізаційного випромінювання такі реакції відіграють важливу роль, так як завдяки їм система не зазнає повного розкладання під дією випромінювання [13,15].

У ній встановлюється стаціонарний стан - динамічна рівновага, при якому швидкість руйнування речовини, що становить систему (в нашому випадку - води)

під дією випромінювання виявляється рівною швидкості відтворення цієї речовини з виниклих при дії випромінювання фрагментів або продуктів.

Таким чином в даній роботі будуть досліджені три стадії процесу радіолізу. Та залежність швидкостей реакцій при різних температурах.

Для отримання кількісних значень концентрацій небезпечних компонентів в системі необхідно враховувати те, що оскільки швидкість реакції залежить від температури необхідним є дослідження теплового потоку першого контуру.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Відповідно до інформації в даному розділі об'єктом дослідження є процеси що протікають у першому контурі АЕС з реактором типу ВВЕР-1000, зокрема водно хімічний режим теплоносія першого контуру. З отриманих даних, виконаний аналіз процесів та виведено, що необхідно побудувати наступні математичні моделі:

- 1) модель зміни значень температури по кільцю першого контуру АЕС;
- 2) модель розрахунок концентрацій продуктів радіолізу з врахуванням зміни констант швидкостей окремих стадій від температури;

2. МОДЕЛЮВАННЯ ВОДНО-ХІМІЧНОГО РЕЖИМУ ТЕПЛОНОСІЯ ПЕРШОГО КОНТУРУ АЕС З РЕАКТОРОМ ВВЕР-1000

Відповідно до даних отриманих в попередньому розділі, нашим об'єктом дослідження є процес радіолізу, що протікає в першому контурі АЕС з реактором типу ВВЕР-1000 при водно хімічному режимі.

Було визначено наступні чинники що можуть впливати на стан системи:

- Водень - H_2 ;
- Кисень – O_2 ;
- Перекис водню - H_2O_2 ;
- Пероксидалльний радикал - HO_2 .

На основі отриманих теоретичних даних, було проведено аналіз всіх внутрішніх процесів та виведено, що побудова моделі буде складатися з чотирьох умовних блоків:

- 1) розрахунок значень температур в заданих точках першого контуру АЕС;
- 2) розрахунок концентрацій компонентів першої стадії за час 10^{-15} с;
- 3) розрахунок концентрацій компонентів другої стадії за час 10^{-10} с;
- 4) розрахунок концентрацій компонентів третьої стадії за час 10^{-7} с.

2.1 Математична модель для розрахунку значення температури в ПК

Основним завданням нашого програмного додатку є моделювання водно-хімічного режиму теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000 [17,18,19,20].

При його створенні виконано наступні припущення:

- Вода в контурі протікає без збурень, утворень парів та з однаковою швидкістю;
- Температура в контурі змінюється в певному заданому діапазоні;
- В контурі відбуваються лише задані хімічні перетворення.

Оскільки даний розрахунок є спрощеним, модель побудована наступним чином.

Відповідно до даних із розділу 1.1 даного дипломного проекту ми почали розрахунок зі знаходження кількості енергії отриманої від реактору. Дана залежність має вигляд [17,18,19,20]:

(2.1)

Номінальне значення становить 3 000 МВт що розділяються на 4 петлі по 750 МВт кожна.

Наступним розраховувалася зміна тепла в реакторі, даний розрахунок проводиться для однієї петлі, але ця модель цілком придатна для побудови всього першого контуру, оскільки всі чотири петлі є ідентичними по характеристикам [17,18,19,20, 33].

Для цього були виведені наступні залежності [33]:

Для входу в реактор:

(2.2)

В реакторі:

(2.3)

Для виходу з реактору:

(2.4)

Далі розраховувалася зміна тепла в парогенераторі.

Для входу в парогенератор:

(2.5)

В парогенераторі:

(2.6)

Для виходу з парогенератору:

(2.7)

де: Q_P – кількість енергії Вт;

H_{CT} – положення регулюючої групи стрижнів, см.;

t_P^{BX}, t_P^{BIX} – значення температури на вході та виході реактора °С;

T_P – значення температури в реакторі °С;

C_G – питома теплоємність теплоносія Дж/кг·°С;

G_G – витрата теплоносія першого контуру кг;

$t_{III}^{BX}, t_{III}^{BIX}$ – значення температури на вході та виході парогенератора °С;

T_{III} – значення температури в парогенераторі °С;

C – питома теплоємність середовища кДж/°С·кг;

G – витрата теплоносія першого контуру кг;

$\tau, \tau_{TP1}, \tau_{TP2}$ – значення часу та часових запізнь с;

Температура теплоносія в кожній точці по довжині контуру чинить визначний вплив на усі процеси, що відбуваються з теплоносієм, зокрема на

процес радіолізу через залежність констант швидкості реакцій радіолізу від температури.

Розрахунок констант швидкостей. Для розрахунку констант швидкостей реакцій ми використовували метод Арреніуса, який є основним рівнянням хімічної кінетики.

2.2 Розрахунок концентрацій компонентів першої стадії

Даний розрахунок проводиться для двох рівнянь, що описують утворення збуджених та над збуджених молекул води, з кінцевим часом реакції 10^{-15} секунд [33].

(2.10)

(2.11)

Таким чином ми отримуємо систему рівнянь, побудованих за наступним типом:

(2.12)

Та має вигляд

(2.12)

Початкова концентрація:

Час реакції:

З даного розрахунку, за часу τ ми отримаємо значення концентрацій збудженої та над збудженої води, що є в свою чергу початковими значеннями для наступної частини розрахунку.

2.3 Розрахунок концентрацій компонентів другої стадії

Дана частина математичного розв'язку має повністю подібний метод розв'язку з іншими частинами. Звісно наявна різниця, що полягає в наступному:

- реакція протікає 10^{-10} секунд;
- кількість рівнянь в кінетиці 7 (рівняння 1.1-1.7);
- кінцеві значення для концентрацій з пункту 2.3 є початковими значеннями для концентрацій в даному пункті, при чому всі інші початкові концентрації рівні нулю.

Таким чином ми отримуємо систему рівнянь, побудованих за наступним типом:

(2.13)

Та має вигляд:

(2.14)

Кінцеві значення для концентрацій з пункту 2.3 є початковими значеннями для концентрацій в системі рівнянь 2.14, при чому всі інші початкові концентрації рівні нулю.

Час реакції:

З даного розрахунку, за часу τ ми отримали кінцеві значення концентрацій коефіцієнтів, що є в свою чергу початковими значеннями для останньої частини розрахунку а саме для розрахунку третьої стадії.

2.4 Розрахунок концентрацій компонентів третьої стадії

Дана частина математичного розв'язку має повністю подібний метод розв'язку з попередніми частинами. Звісно наявна різниця, що полягає в наступному:

- реакція протікає 10^{-7} секунд;
- кількість рівнянь в кінетиці 28 (рівняння 1.8-1.36);
- кінцеві значення для концентрацій з пункту 2.4 є початковими значеннями для концентрацій в даному пункті, при чому всі інші початкові концентрації рівні нулю.

Загальне рівняння кінетики матиме вигляд:

(2.14)

Оскільки дана система рівнянь має досить значний об'єм, в звіті її було наведено за допомогою таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – кінетична модель хімічної стадії радіолізу

Продовження таблиці 2.1

Продовження таблиці 2.1

Продовження таблиці 2.1

Створений алгоритм дає змогу досить точно та без значних обчислень провести розрахунок першого контуру атомної електростанції. При цьому результати розрахунків за даним алгоритмом достатньо подібні до реальним даним досліджуваного об'єкта згідно даних отриманих з джерел [3,25].

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Температура теплоносія в кожній точці по довжині контуру чинить визначний вплив на усі процеси, що відбуваються з теплоносієм, зокрема на процес радіолізу через залежність констант швидкості реакцій радіолізу від температури.

Виявити області у контурі реактора, які будуть найбільш небезпечними з точки зору окислення конструкцій контуру можна визначити за моделями радіолізу теплоносій з врахуванням зміни концентрації продуктів радіолізу від температури.

Результатом обрахунку ми отримуємо значення концентрації речовин серед яких вода та речовини що утворились з неї в наслідок радіолізу: основні - водень, пероксид водню та кисень.

3. АВТОМАТИЗОВАНЕ ВИРІШЕННЯ ЗАДІЧІ ПОШУКУ КОРОЗІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК ПЕРШОГО КОНТУРУ АЕС З ВВЕР-1000

3.1 Обґрунтування вибору програмного середовища

Дана робота виконувалася на основі науково-дослідної роботи на тему «Розроблення математичних моделей оцінювання стану теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000». За договором №12-18.

Програмне середовище обране для створення моделі ВХР теплоносія ПК був обраний програмний пакет MATLAB версії R2017a.

Дане програмне середовище обрано на основі пропозицій сторони замовника ТОВ "Науково-виробнича фірма "Інформація і технології".

Оскільки дане програмне середовище широко використовується в інших суміжних проектах даного підприємства. Це дозволить значно спростити інтеграцію створеного програмного модулю до інших систем та програм а також можливість швидкої зміни будь якої частини модулю залежно від необхідності.

Версія пакету R2017a була обрана задля спрощення підключення та модифікації модулю з більш старими системами.

3.2 Технічне завдання на розробку обчислювального модулю

Розробити програмний додаток для моделювання водно-хімічного режиму теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Вихідними даними для розрахунку є [17,18,19,20,21,22].:

Об'єкт дослідження: гілка першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000;

Температура реактора:

вхід до реактора- $280 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

реактор - $303 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

вихід з реактору- $320 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

Температура ПГ:

вхід до ПГ - $318 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

ПГ- $304 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

вихід з ПГ- $290 \pm 1\% \text{ } ^\circ\text{C}$;

Тиск води першого контуру 15,7 МПа;

Швидкість суміші: 5 м/с;

Результатами розрахунку є:

Графіки кінетики, трьох стадій, процесу радіолізу при заданій температурі;

По компонентні графіки кінетики, процесу радіолізу при заданій температурі;

Графіки зміни концентрації компонентів реакції радіолізу по довжині гілки першого контуру.

3.3 Структура і характеристики розробленого модулю

З метою автоматизації розв'язання математичних моделей, запропонованих в ході виконання цієї роботи, у роботі реалізований програмний модуль. Модуль реалізовано у середовищі MatLab з використанням технології оброблення інформації, представленої у формі матриць.

Розроблено алгоритм обчислювального модулю (рисунок 3.1). За яким був побудований сам програмний модуль.

Розроблений програмний модуль містить дві основні підпрограми:

1. Підпрограма розрахунку змін концентрацій продуктів радіолізу у часі. Ця підпрограма реалізує розв'язання системи диференціальних рівнянь кінетики процесу радіолізу теплоносія першого контуру реактору ВВЕР-1000. Результати роботи програми наводяться у вигляді графіків встановлення концентрацій продуктів радіолізу.

2. Підпрограма розрахунку змін концентрацій продуктів радіолізу по довжині контуру від температури. Підпрограма реалізує розрахунок зміни температури по довжині першого контуру реактора ВВЕР-1000 в залежності від температури. Підпрограма реалізує алгоритм, викладений в главі 2.1 (формули 2.1 – 2.7), а потім, на основі визначених температур та енергій активації реакцій, виконує розрахунок концентрацій окисників та відновників, які утворюються в результаті радіолізу теплоносія та є відносно стабільними. Розрахунок проводиться у характерних точках по довжині контуру. Результат подається у вигляді діаграми.

Програмний код обчислювального модулю, наведено в додатку А.

Відповідно до створених математичних моделей було розроблено алгоритм обчислювального модулю (рисунок 3.1). За яким був побудований сам програмний модуль.

Рисунок 3.1 – Блок схема роботи програмного модулю

Даний програмний модуль можна використовувати для розрахунку будь якого першого контуру АЕС з реактором типу ВВЕР в якому проходить реакція радіолізу. Інструкція з користування програмним модулем наведена в додатку Б.

3.4 Результат роботи програмного модулю

Як ми можемо спостерігати з попередньої схеми. При запуску програми відкривається меню в якому є можливість обрати одну з двох підпрограм – «дослідження швидкості процесу радіолізу» та «моделювання першого контуру реактора ВВЕР-1000» (Рисунок 3.2).

Рисунок 3.2 – Меню програмного модулю.

Підпрограма розрахунку концентрацій продуктів радіолізу.

Дана підпрограма проводить розрахунок концентрацій продуктів радіолізу теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Після обрання розрахунку, на робочому вікні з'являється запит з проханням ввести значення температури середовища проведення радіолізу в градусах Кельвіна.

Після уведення значення температури та натискання кнопки enter програма починає розрахунок відповідно до закладеного алгоритму.

Відповідно до матеріалів, викладених у главі 1.3, радіоліз води починається з фізичної стадії. Зміна концентрацій компонентів протягом фізичної стадії радіолізу наведено на рисунку 3.3.

Рисунок 3.3 - Графіки зміни концентрації концентрацій компонентів у фізичній стадії радіолізу.

Наведені рішення не використовуються безпосередньо через надзвичайно високу швидкість тривання цієї стадії. Проте вони є початковими даними для вирішення рівнянь моделей другої, фізико-хімічної стадії радіолізу.

Друга стадія радіолізу описана в розділі 1.3. Моделі цієї стадії наведені розділі 2.3.

Початковими даними для вирішення цих моделей є результати моделювання першої, фізичної стадії процесу. У якості початкових умов приймається, що всі компоненти, які не утворюються на першій стадії радіолізу мають нульову концентрацію.

Результати розв'язання кінетичних моделей фізико-хімічної стадії радіолізу наведено на рисунку 3.4

Рисунок 3.4 - Графіки зміни концентрації концентрацій компонентів у фізико-хімічній стадії радіолізу.

Результати розв'язання моделей фізико-хімічної стадії є початковими даними для моделювання третьої, хімічної стадії радіолізу.

Основні рівняння хімічної стадії радіолізу наведено у главі 1.3, система рівнянь (1.8) – (1.35). Кінетичні моделі зазначеної стадії наведено у таблиці 2.1, в другому розділі.

Початковими даними для розв'язання рівнянь кінетики хімічної стадії радіолізу води є результати розв'язання моделей фізико-хімічної стадії. За

аналогією з розв'язанням попередніх моделей, початковими умовами приймається, що всі компоненти, які не утворюються на фізико-хімічній стадії процесу радіолізу мають нульові концентрації.

Результати розв'язання кінетичних моделей хімічної стадії радіолізу наведено на рисунку 3.5.

Рисунок 3.5 - Графіки зміни концентрації концентрацій компонентів у хімічній стадії радіолізу.

Результати розв'язання цих моделей є основою для вирішення наступної задачі по зміні концентрації продуктів радіолізу по довжині контуру реактора. Як видно з графіків, найбільшій уваги заслуговують H_2 , O_2^- , а також радикал HO_2^\bullet . Крім того, на нашу думку, варто розглянути пероксид водню, як найбільш стабільний окисник, який утворюється в результаті радіолізу і здатен накопичуватися в теплоносії контуру завдяки високій розчинності.

Графіки зміни концентрації даних сполук наведена на рисунку 3.6. З отриманого модулю ми також дослідили що швидкість реакції радіолізу складає 10^{-9} секунд.

Рисунок 3.6 – Графіки зміни концентрації основних компонентів при реакції радіолізу.

Після завершення розрахунку, система знову виводить вікно меню (Рисунок 3.1) в якому ви можете провести розрахунок знову, розрахувати модель гілки або закрити програму.

Підпрограма розрахунку залежностей концентрацій продуктів радіолізу по довжині контуру.

Обравши кнопку «моделювання першого контуру реактору ВВЕР-1000», програма відразу почне виконувати розрахунки. Метою розроблення даної підпрограми є виявлення відрізків по довжині першого контуру водо-водяного реактора, які найбільш вразливі до дії окисників, утворених у результаті радіолізу води. У якості початкових даних підпрограма використовує номінальні значення концентрацій продуктів радіолізу.

Оскільки константи швидкості хімічних реакцій значуще залежать від температури, зміна температури по довжині контуру значуще впливає на концентрації продуктів, утворених на фізико-хімічній, і, перед усім, на хімічній стадії радіолізу.

На першому етапі роботи підпрограма розраховує зміну температур по довжині першого контуру. Для цього використовується математична модель зміни температури теплоносія першого контуру, описана у главі 2.1. Після розрахунку у контурі виділяється вісім характерних точок:

Точка 1 – вхід до реактора.

Точка 2 – усередині реактора.

Точка 3 – вихід з реактора.

Точка 4 – на трубопроводі між реактором та парогенератором.

Точка 5 – вхід до парогенератора.

Точка 6 – усередині парогенератора.

Точка 7 – вихід з парогенератора.

Точка 8 – на трубопроводі між парогенератором та реактором.

Схематично розміщення цих точок зображене на рисунку 3.7.

Рисунок 3.7 - Характерні точки зміни температури.

На другому етапі підпрограма розраховує концентрації визначених у попередній главі окисників та відновника у цих точках. Відновником, який у великій кількості утворюється в результаті радіолізу буде водень. Графік зміни його концентрації по довжині контуру зображена на рисунку 3.8.

Рисунок 3.8 - Графіки зміни концентрації молекулярного водню (H_2) у характерних точках першого контуру.

Як бачимо, утворення молекулярного водню буде найбільш інтенсивно відбуватися на ділянці контуру між характерними точками 3-4-5. Тобто на цій ділянці буде частково гаситися окисний потенціал окисників, що частково убезпечить цю ділянку від руйнацій.

Рисунок 3.9 - Графіки зміни концентрації кисню (O_2^-) у характерних точках першого контуру.

Підпрограма також розраховує зміну концентрації окисників по довжині першого контуру реактора. На рисунку 3.9 показано графік зміни концентрації одного з найбільше агресивних окисників – негативно зарядженого кисню.

Аналогічний графік, проте з іншими значеннями концентрацій, буде отримано для іншого агресивного окисника – гідроксильного радикалу. Графік зображено на рисунку 3.10.

Рисунок 3.10 - Графіки зміни концентрації гідроксильного радикалу (HO_2^*) у характерних точках першого контуру.

Менш агресивним, проте набагато більш стабільним та здатним до накопичення через високу розчинність у воді є пероксид водню. Графік зміни його концентрації по довжині контуру зображено на рисунку 3.11.

Рисунок 3.11 - Графіки зміни концентрації пероксиду водню (H_2O_2) у характерних точках першого контуру.

Таким чином, максимальна кількість пероксиду водню буде досягатися на ділянці між характерними точками 3-4-5, що відповідає трубопроводу між реактором та парогенератором. Проте цю ділянку не можна вважати найбільше небезпечною, оскільки на цій самій ділянці буде максимізуватися концентрація відновника – молекулярного водню, який буде вступати у реакцію з окисником з утворенням молекулярної води.

Таким чином, дана підпрограма дозволяє виділити найбільш не безпечні для впливу окисників ділянки контуру для подальшого вжиття заходів щодо їх захисту.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ

Таким чином, у даному розділі у програмному пакеті MatLab розроблено програмний модуль імітаційного розрахунку концентрацій продуктів радіолізу з врахуванням температури. З отриманих даних ми можемо стверджувати що найбільша концентрація H_2O_2 буде на виході з реактору а радикалу $HO_2\cdot$ у другій половині трубопроводу, який повертає воду з парогенератору та на вході до реактору.

Враховуючи швидкість води в реакторі 5 м/с та швидкість реакції радіолізу 10^{-9} с. небезпечну ділянку необхідно змістити на $5 * 10^{-6}$ см. від точки максимуму.

4. РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ

Бізнес-ідея: покращення безпеки роботи першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000 методом дослідження впливу радіолізу при водно-хімічному режимі.

Метою стартапу: є розробка та впровадження спеціалізованого програмного забезпечення під конкретне виробництво.

Тема: Моделювання водно-хімічного режиму теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Назва: система контролю впливу радіолізу при водно-хімічному режимі теплоносія першого контуру АЕС з реактором ВВЕР-1000.

Суб'єкт замовлення: атомні електростанції на яких встановлені реактори типу ВВЕР-1000

Об'єкт дослідження : перший контур АЕС з реактором типу ВВЕР-1000.

Місце розробки у інноваційному ланцюжку цінностей: В2В модель. В2С модель не застосовується, оскільки проект спрямований на взаємодію саме з бізнесом, а саме конкретним виробництвом.[32]

Таблиця 4.1 – Плановий обсяг продукції по місяцям на перший рік .

Продукт – програмне забезпечення під конкретне виробництво для дослідження та контролю впливу процесу радіолізу, в режимі реального часу.

Технологія базується на дослідженні радіолізу води в водно-хімічному режимі реакторів типу ВВЕР. Для цього розробляється спеціалізоване програмне забезпечення відповідно до вимог та бажань замовника.

Кваліфікація персоналу. Розробники мають вищу освіту за напрямом «кібернетика хіміко-технологічних процесів». Робітники мають повну середню освіту. Бухгалтер має вищу освіту економічного напрямку.

Споживачами є АЕС з реакторами ВВЕР-1000.

Ринок збуту. На сьогоднішній день існує десятки АЕС з реакторами типу ВВЕР-1000. При цьому для кожної з них є необхідність проводити подібні дослідження, що сприяють на покращення безпеки та довговічності системи.

Конкурентні переваги. Іноваційність, більшість АЕС сьогодні працюють по уже встановленим схемам, які є не оптимальними для сьогоднішніх умов. Аналізуючи виробництво можна підвищити рівень безпеки підприємства та збільшити можливий термін експлуатації.

Вартість розробки. На розробку програмного забезпечення буде виділено близько 605 тис. грн. Розробка програмного забезпечення під конкретне виробництво складатиме 100 тис. грн. Закупівля датчиків, апаратів та приладів для однієї гілки реактору до 1 млн. грн.

Ринкова ціна. На сьогоднішній день немає підприємств, які б могли скласти нам конкуренцію в даному напрямку. Оскільки в контурі реактору ВВЕР 1000 наявні 4 гілки, ціна може варіюватись від 1,1 – 4,4 млн. гривень.

Період повернення капіталовкладень - 0,52 роки.

4.1 Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапу

Таблиця 4.2 - Загрози і можливості зовнішнього середовища

Таблиця 4.3 - Аналіз факторів зовнішнього оперативного середовища

Таблиця 4.4 - Переваги і недоліки внутрішнього середовища

4.2 Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда

На підставі аналізу факторів зовнішнього і зовнішнього оперативного середовищ було визначено ключові фактори успіху. Під ключовими факторами успіху розглянемо ті, на які підприємство може самостійно впливати під час виробництва і реалізації продукту. Ключові фактори успіху надано у вигляді діаграми Шонфільда. [32]

Таблиця 4.5 – Ключові фактори успіху проекту за методом Шонфільда

З урахуванням коефіцієнту вагомості характеристики визначається бальна оцінка кожної характеристики для нашого програмного забезпечення і для конкурентів, яку приведено у таблиці 4.6. [32]

Таблиця 4.6 – Порівняння ринку

На підставі отриманих бальних оцінок будується графік порівняння конкурентних переваг нашого підприємства з конкурентами. [32]

Рисунок 4.1 – Графічне відображення порівняння ринку

Таким чином, бачимо, що наш продукт поступається конкурентам за обсягом виробництва та гарантією. Але, за рахунок кращої екологічності, безпеки виробництва та технічної підтримки застосовується інша технологія що має на увазі більш дорогі компоненти, через що ціна на продукцію вище ніж у конкурентів. Ключовою перевагою є безпека виробництва, що дозволить замовнику організувати надійне виробництво електроенергії та керування його процесами у більш зручному режимі. [32]

4.3 Розрахунок основних техніко-економічних показників проекту

Для розвитку даного стартап проекту було використано декілька джерел фінансування – власні та запозичені кошти. До власних коштів відносимо:

- заощадження, одержані від попередньої діяльності;
- формування на підприємстві фонду розвитку виробництва, науки і техніки шляхом відрахувань чітко обумовленого відсотку з доходу або прибутку підприємства протягом всього періоду функціонування.

А до запозичених коштів: державні інвестиції; [32]

Необхідними працівниками, для виконання даного обсягу роботи та повної комплектації робочих місць протягом зміни є програміст та начальник офісу. [32]

Таблиця 4.7 - Забезпеченість проекту трудовими ресурсами

Розрахуємо витрати на оплату праці:

(3.1)

Витрати на електроенергію. Розрахуємо витрати на електроенергію за нерегульованим тарифом, тариф за приєднану потужність: $T_{пр} = 2.5$ грн/кВт; Потужність обладнання: $H_{об} = 8$ кВт/добу; Освітлення цілодобове: $H_{ос} = 5$ кВт/добу. Підприємство працює 8 годин на добу, 250 днів на рік. Річні витрати на електроенергію: [32]

(3.2)

Оренда офісу складає 30 000 грн за місяць, в рік виходить 360 000 грн.

Витрати на опалення офісу. Загальна площа: 100 м²; тарифна ставка на опалення: 33 грн./м² міс; Сезон опалення: 6 місяців.

(3.3)

Таблиця 4.8 - Забезпеченість проекту оборотними фондами Амортизаційні відрахування. Здійснюються за прийнятими методами і нормами.

Таблиця 4.9 - Забезпеченість проекту основними засобами

Сумарна вартість основних фондів:

(3.4)

Розраховуємо величину амортизаційних відрахувань:

(3.5)

Сумарні витрати наведено у таблиці 4.10

Таблиця 4.10 - Сумарні затрати підприємства

Розрахунок ціни за основними методами ціноутворення: [32]

1. Метод, орієнтований на витрати (витратний метод):

(3.6)

2. Параметричний метод – враховує вагомість якісних параметрів товару і оцінку цих параметрів споживачем:

(3.7)

3. Метод ціноутворення на основі поточних цін або конкурентний метод.

Виокремивши програмне забезпечення, як основний продукт, який ми пропонуємо і проаналізувавши ціни на товари конкурентів.

А саме, конкурент А – ціни коливаються в діапазоні від 125 000 до 140 000 грн. Конкурент Б – від 94 500 до 112 000 грн.

Отже, для нашого продукту ціна може коліватися від 95 000 до 100 000 грн. І саме з такими цінами продукція на ринку може бути конкуренто спроможною.

4. Баловий метод.

Визначимо ціна одного балу:

(3.8)

Визначимо ціну нового виробу:

(3.9)

Ціна реалізації кінцевої продукції , розрахуємо ціну річного випуску продукції:

(3.10)

Визначаємо прибуток підприємства:

	(3.11)
Рентабельність підприємства:	
	(3.12)
Коефіцієнт економічної ефективності:	
	(3.13)
	(3.14)
Період повернення капіталовкладень:	
	(3.15)
Фондовіддача основних засобів виробництва:	
	(3.16)
Фондоємність:	
	(3.17)
Зведемо всі розраховані показники до таблиці 4.11	
Розрахуємо точку беззбитковості.	
	(3.18)
Точка беззбитковості – 14 шт/рік	

Таблиця 4.11 - Основні техніко - економічні показники підприємства

За знайденими техніко-економічними показниками можна зробити висновок, що дане підприємство є прибутковим.

Карта бізнес процесів використання стартап проекту

Таблиця 4.12 – Карта бізнес процесів

Таблиця 4.13 – Системний аналіз бізнес процесів стартапу

Оцінка ризиків та страхування розробки

Розглянемо основні ризики, що можуть бути на нашому підприємстві. [32]

1. Ринковий ризик: ринок є новим для України. Тому ми зможемо досить довго на ньому існувати.

2. Ризик конкуруючих технологій: існує можливість створення аналогічної технології конкуруючою фірмою. Але ринок є досить новим тому таких компаній поки що не має і на початку ми практично не матимемо конкурентів.

3. Ризик завершення або технічний ризик: технологія надійна, аналогічні продукти застосовуються у більшості країн з атомними електростанціями.

4. Політичний ризик: в майбутньому можуть бути прийняті нові нормативно-правові акти по контролю й обліку. Але у нас ведеться чіткий контроль за дотриманням усіх стандартів, і ми готові звітувати перед будь-яким органом.

Таблиця 4.14 – Ризики інноваційної розробки та ймовірність їх настання

Таблиця 4.15 – Методи управління ризиками

Найнебезпечнішими ризиками є поганий аналіз конкурентів, висока вартість програмного забезпечення, відсутність достатнього обсягу покупців.

Необхідно передбачити ризики для того, щоб непередбачені події не могли вплинути на компанію та не завдали великих збитків або ж краху. В таблицях 4.14 та 4.15 наведені заходи, які можуть запобігти основним ризикам та зберегти стартап від краху.

ВИСНОВКИ

За результатами виконання даної магістерської дисертації досліджений водно хімічний режим теплоносія першого контуру атомної електростанції з реактором типу ВВЕР-1000, та вирішені наступні задачі:

1. Проаналізовано технологічні особливості роботи першого контуру АЕС.
2. Досліджено процес радіолізу теплоносія (води) першого контуру.
3. Створено математичну модель розрахунку значення температури в цьому контурі.
4. Створено математичні моделі розрахунку зміни концентрації компонентів під час фізичної, фізико-хімічної та хімічної стадій процесу радіолізу.
5. Відповідно до технічного завдання розроблено програмний модуль в середовищі MATLAB версії R2017a.
6. З отриманих даних ми можемо стверджувати що найбільша концентрація H_2O_2 буде на виході з реактору а радикалу HO_2 у другій половині трубопроводу, який повертає воду з парогенератору та на вході до реактору. Також врахувавши швидкість води в реакторі та розраховану нами швидкість протікання процесу радіолізу 10^{-9}с . небезпечну ділянку необхідно змістити на $5 \cdot 10^{-6}$ см. від точки максимуму
7. Розроблено стартап проект на основі нашого програмного модулю з врахуванням основних ризиків. За техніко-економічними показниками визначено, що даний стартап є прибутковим.

Результати роботи були представлені на конференціях [33,34].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ястребенецкий М.А., Безопасность атомных станций. Информационные и управляющие системы./ М.А. Ястребенецкий, В.Н. Васильченко – К.: «Техника», 2004. – 472 с.
2. Нововоронежская АЭС. / Проект «АЭС-2006»// [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rosenergoatom.ru> (дата звернення 18.09.2019). – Назва з екрана.
3. Филимонов Г.Н., Работоспособность теплообменных труб парогенераторов нововоронежской аэс с реакторами ввэр - 440 и ввэр – 1000/ Г.Н. Филимонов, В.Н. Павлов, В.А. Викин, В.В. Жбанников, А.Н. Прытков, В.И. Фоменко, В.М. Бризицкий, М.Г. Щедрин, М.П. Сливкин, В.М. Илясов, В.М. Рогов, А.В. Галанин. – Сакт-Петербург, 2006. – 20 с.
4. Трунов Н.Б. Работоспособность теплообменных труб ПГ АЭС с ВВЭР/ Н.Б. Трунов, В.В. Денисов, Ю.Г. Драгунов, Г.Ф. Банюк, Ю.В. Харитонов. – Москва – 45 с.
5. Ткадлчик П. Целостность труб парогенераторов на АЭС Дукованы. Результаты эксплуатационного контроля/ П. Ткадлчик. - 2000г., - 39 с.
6. Шплихал К. Коррозионное повреждение и рабочие параметры парогенераторов для реакторов типа ВВЭР/ К. Шплихал, И. Бурда, Р. Рыбка. -
7. V. Nadinic. Experience in eddy current testing of WWER steam generators. Proceeding of IAEA Regional Workshop on Steam Generator Degradation and Inspection, Saint Denis / V. Nadinic. - France, 1999. – p. 34
8. Крицкий В.Г. Проблемы коррозии и водно-химических режимов АЭС / В.Г. Крицкий - СИНТО 1996. – 114 с.
9. Мамет В.А. О подходе к нормированию водного режима второго контура АЭС с ВВЭР-1000./ В.А. Мамет. - Теплоэнергетика №11, 1998. – 29 с.

10. Бакиров М.Б. Отчет “Исследование состояния металла трубопроводов 4 блока Нововоронежской АЭС после 200 тысяч часов эксплуатации”/ М.Б. Бакиров и др. - Москва. ВНИИ АЭС, 2002г. – 5 с.
11. Акользин П.А. Локальная коррозия тепломеханического оборудования/ П.А. Акользин, В.В. Герасимова, В.В. Герасимов, В.П. Горбрых. - Москва, Энергоатомиздат, 1992г. – 29 с.
12. Ефимов А. В., Разработка имитационной модели котельной установки для автоматизированной системы управления и диагностики энергоблоков электростанций/ А.В. Ефимов, Е.Д. Меньшикова, А.Т. Адель – Харьков: Вестник НТУ «ХПИ». –2001. – С.72-80.
13. Кабакчи С.А. Радіаційна хімія в ядерному паливному циклі (навчальний посібник)/ С.А. Кабакчи , Г. П. Булгакова. – Київ: Кафедрі хімії високих енергій і радіоекології РХТУ ім. Д.І. Менделєєва, 1997. – 96 с.
14. Герхард Герцберг. Электронные спектры и строение многоатомных молекул / Герхард Герцберг [пер. з англ.]. – Москва: Мир, 1969. – 772 с.
15. Бугаенко В.И. Количественная модель радиолиза жидкой воды и разбавленных водных растворов водорода, кислорода и перекиси водорода. / В.И. Бугаенко, В.М. Бяков. – Москва: Мир, 1991. –24 с.
16. Сорокин В.В. Парогенераторы АЭС. Методические указания по выполнению курсового проекта для студентов специальности 1-43.01.08 Паротурбинные установки атомных электрических станций. / Сорокин В.В., Карницький Н.Б. – Минск: БНТУ, 2013. – 75 с.
17. Ефимов А.В. Математическая модель горизонтального парогенератора типа ПГВ-1000 энергоблока АЭС с ВВЭР/ А.В. Ефимов, В. Л. Каверцев, Т.В. Потанина, Т.А. Гаркуша, Т.А. Есипенко. – Харьков: Вестник НТУ «ХПИ». –2014. – С.92-102.

18. Рассохин Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций/ Н.Г. Рассохин. –Москва: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
19. Аксенов П.Л. Выпускная квалификационная работа бакалавра Тема: Интенсификации теплообмена в оборудовании АЭС. / П.Л. Аксенов, А.А. Калютник. – Санкт-Петербург: СППУ ПВ, 2017. – 65 с.
20. Лаврентичев Д.В. Математическая модель первого контура энергоблока АЭС с реактором типа ВВЭР-1000 и оценка ее динамической точности в переменных режимах. / Д.В. Лаврентичев, Ю.С. Тверской. – Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2015. – 12 с
21. Медведєв Р.Б. Сучасна теорія управління хіміко-технологічними процесами: підручник [Текст] / Медведєв Р.Б. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 208 с.
22. Медведєв Р.Б., Зав'ялов А.Д., Сангінова О.В, Програмно-технічний комплекс моніторингу и управління водно-хімічним режимом другого контуру АЕС з ВВЕР-1000[Текст]// Енергетика та електрифікація. – № 1. 2007. – с. 31-41
23. Маргулова Т.Х., Атомні електричні станції [Текст] / Маргулова Т.Х. – Москва 1982 – 288 с.
24. Попович М.Г., Ковальчук О.В., Теорія автоматичного керування: Підручник [Текст] / Попович М.Г., Ковальчук О.В. – К.: Либідь, 1997. – 544с.
25. ГНД 95.1.06.02.002-04 «Водно-хімічний режим першого контуру АЕС з реакторами типу ВВЕР. Технічні умови до якості робочого середовища. Корекційна обробка гідрозин-гідратом, морфоліном, гідроокисом літію» [Текст]. – ГОСАТОМ України. 2004 - 22 с.
26. Бугаєва Л.М. Системний аналіз хіміко технологічних комплексів: навч. посіб. [Текст] / Л.М. Бугаєва, Ю.О. Безносик, Г.О. Статюха. – К. : НТУУ «КПІ», 2014. -132с.

27. Бугаєва Л.М., Бойко Т.В., Безносик Ю.О., Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів. Підручник [Текст] / Л.М. Бугаєва, Т.В. Бойко Ю.О. Безносик - Київ, «інтерсервіс», 2017. – 254 с.
28. Кафаров В.В. Математическое моделирование основних процессов химических производств: Учебное пособие для вузов. [Текст] / Кафаров В.В., Глебов М.В – М.: Вісш. школа, 1991. – 400с.
29. Луговський, В.І. Методи автоматизованих розрахунків хіміко-технологічних систем [Текст] / В.І. Луговський, В.М. Білоус, В.В. Брем – Одеса: Екологія, 2005. – 232 с.
30. Cabezas, H., Bare, J. C., Mallick, S.K. Pollution Prevention with Chemical Process Simulators: the Generalized Waste Reduction (WAR) algorithm - full version [Текст] / H.Cabezas, J. C.Bare, S.K.Mallick // Computers and Chemical Engineering. – 1999 - Vol. 23 - pp. 623-634.
31. Hilaly, A.K., Sikdar, S.K. Pollution Balance: New Methodology for Minimizing Waste Production in Manufacturing Processes [Текст] / Hilaly, A.K., Sikdar, S.K. // J. Air and Waste Manage. Assoc. – 1994. -№44. - рз.1303-1308
32. Економічна частина магістерської дисертації: розроблення стартап-проекту: [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О.А. Підлісна, Ю.В. Тюленєва – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 32 с.
33. Медведєв Р.Б., Наближений тепловий розрахунок парогенератора АЕС з реактором ВВЕР-1000 / Р.Б. Медведєв, Д.М. Складанний, Д.О. Пустовий // Збірник наукових статей сьомої міжнародної науково-практичної конференції КМХТ 2019 – Київ: НТУУ «КПІ», 2019. – С. 119-121.
34. Медведєв Р.Б., Моделювання зміни концентрації окисників у першому контурі реактора ВВЕР-1000./ Міжнародна наукова інтернет-

конференція "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення (випуск 43)"/ Р.Б. Медведєв, Д.М. Складанний, Д.О. Пустовий //Збірник тез доповідей: випуск 43 –Частина 2. – Тернопіль., 2019. – С. 61-63.