

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Онищука Юрія Анатолійовича

на тему «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки

ВВЕР- 1000 шляхом спряження розрахункових засобів»,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 14 «Електрична інженерія»

за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»

Актуальність теми дисертації.

Розрахункове моделювання аварій детерміністичними кодами (ДК) є основою сучасного аналізу безпеки ядерних енергоустановок (ЯЕУ). В даний час основними ДК розрахункового моделювання тепло-гідродинамічних процесів внутрішньокорпусної стадії аварії в ЯЕУ з ВВЕР для експлуатуючої та регулюючої безпеку організацій ядерної енергетики України являються різні модифікації зарубіжних ДК RELAP/ANSYS.

Аналіз багаточисленних отриманих результатів та досвіду детерміністичного моделювання аварій у ЯЕУ з ВВЕР дозволяє зробити такі висновки:

1. Спочатку ДК RELAP/ANSYS розроблялися для реакторних установок, які за конструкційно-технічними параметрами та умовами аварійних процесів у загальному випадку можуть істотно відрізнятися від ЯЕУ з ВВЕР за відповідними параметрами та умовами. Адаптація RELAP/ANSYS до умов ВВЕР зазвичай ґрунтувалася на результатах експериментальної верифікації/валідації. Однак, верифікація RELAP/ANSYS на модельних експериментальних установках для умов ВВЕР у більшості випадків здійснювалася на основі результатів пост-тест розрахунків (тобто після отримання результатів експериментів), а також не була проведена для всього спектру можливих вихідних аварійних подій в ЯЕУ з ВВЕР. З іншого боку, модельні експериментальні установки, у яких безпосередньо здійснювалася верифікація, найчастіше за критеріями тепло-гідродинамічної подібності аварійних процесів відповідали умовам аварійних процесів в ЯЕУ з ВВЕР. Результати валідації ДК, отримані з урахуванням дослідних даних експлуатації ВВЕР в робочих і перехідних режимах/режимах порушення нормальних умов експлуатації (ПНУЕ), також недостатньо обґрунтовані, оскільки в загальному випадку не відповідають умовам прогнозованих аварійних процесів. Крім того, ці результати здебільшого також ґрунтувалися на пост-тест розрахунках.

2. Адекватність ДК умовам натурних ЯЕУ суттєво залежить від коректності та обґрунтованості емпіричних/напівемпіричних формул/залежностей визначення інтенсивності міжфазового тепло-масообміну та гідродинамічної взаємодії, потужності залишкових тепловиділень та інших необхідних для розрахункового моделювання параметрів (так звана «система замикаючих залежностей» (СЗЗ) рівнянь фундаментальних законів збереження маси, імпульсу та енергії). Початково «система замикаючих залежностей» у RELAP/ANSYS розроблялася для умов ЯЕУ, в загальному випадку, відмінних від ВВЕР. Отже, з цього аспекту пріоритет мають ДК, які розроблялися безпосередньо для ЯЕУ з ВВЕР.

3. Відомі тепло-гідродинамічні ДК не розроблялися безпосередньо для моделювання умов та наслідків різних видів коливальної та імпульсної теплогідродинамічної нестійкості теплоносія в робочих та аварійних режимах систем, важливих для безпеки (СВБ). Зокрема, наслідками високочастотної теплогідродинамічної нестійкості теплоносія можуть бути порушення герметичності оболонок твел; наслідками низькочастотної гідродинамічної нестійкості при пуску насосів систем безпеки можуть бути порушення забезпечення необхідних функцій безпеки; наслідками імпульсної нестійкості можуть бути термо- та гідродинамічні «удари» та інші негативні феномени, важливі для забезпечення надійності та безпеки ЯЕУ.

Таким чином, необхідне подальше вдосконалення тепло-гідродинамічних ДК моделювання аварій на ЯЕУ з ВВЕР, а також на інших типах реакторів, які плануються для експлуатації в Україні.

Одним із таких підходів вдосконалення ДК є перехід від просторово квазі-двовимірних моделей теплоносія (RELAP) до тривимірних моделей (ANSYS). Не заперечуючи необхідність тривимірних моделей для вирішення окремих завдань при моделюванні аварій, слід зазначити:

- перехід до тривимірних моделей визначає необхідність залучення додаткових СЗЗ та апріорних припущень, що потребують обґрунтованої експериментальної верифікації, що зрештою сприяє відносному збільшенню невизначеності результатів розрахункового моделювання;

- загалом реалізація тривимірних моделей потребує необґрунтованих витрат на проведення аналізу безпеки ЯЕУ та інші негативні фактори.

Тому необхідний науково обґрунтований підхід пошуку вирішення питань адекватності застосування RELAP/ANSYS для аналізу безпеки ЯЕУ. Один з таких підходів, а саме використання спряжених засобів, запропонований в представленій роботі.

Таким чином, тематика роботи, яка присвячена подальшому вдосконаленню та розвитку розрахункових засобів моделювання аварій в ЯЕУ, досить актуальна.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в новому підході моделювання аварій в ЯЕУ на основі спряженого застосування тепло-гідродинамічних ДК RELAP (квазі-двовимірна модель) і ANSYS (тривимірна модель), що дозволяє уникнути залучення більш складних і недостатньо обґрунтованих тривимірних моделей у випадках обґрунтованої відсутності їх необхідності при збереженні/зменшенні рівня невизначеності кінцевих результатів, а також суттєве скорочення витрат на проведення аналізу безпеки ЯЕУ. Фактично в дисертації розроблено новий тепло-гідродинамічний ДК RELAP - ANSYS, що враховує переваги та недоліки кожного коду. Розроблений ДК RELAP - ANSYS може бути рекомендований експлуатуючій організації ЯЕУ з ВВЕР для розробки поточних Звітів з аналізу безпеки (ЗАБ) та уточнення результатів попередніх ЗАБ, а також регулюючій ядерну безпеку організації для проведення державних експертиз результатів ЗАБ експлуатуючої організації. Крім того, розроблений ДК може бути рекомендований експлуатуючій та регулюючій організаціям при аналізі безпеки перспективних для України проектів модульних реакторів та проекту AP1000.

Актуальним науковим результатом роботи можна також вважати проведену на основі експлуатаційних даних у робочих та перехідних режимах валідацію та уточнення розрахункових залежностей СЗЗ ДК. Отримані результати необхідні для подальшого вдосконалення розрахункових засобів моделювання аварій в ЯЕУ.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Онищука Ю.А повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 143 «Атомна енергетика» та напрямкам досліджень відповідно до освітньо-наукової програми «Атомна енергетика» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Енергетика та енергоефективність».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Онищука Юрія Анатолійовича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота написана українською мовою. Матеріал викладено доступною для сприйняття мовою із дотриманням загальноприйнятої термінології та інших характеристик.

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 198 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність роботи, подано її загальну характеристику, сформульована її мета, основні задачі, об'єкт та предмет досліджень, приведена наукова новизна та практична цінність отриманих результатів, представлено інформацію про особистий внесок здобувача та апробацію роботи, її структуру та обсяг.

У першому розділі приведено критичний огляд сучасного стану досліджень, пов'язаних зі спряженим моделюванням теплогідравлічних процесів в РУ ВВЕР. Описані традиційні підходи до моделювання за допомогою ДК, наведено короткий огляд таких кодів, як RELAP5, ATHLET, TRACE, CATHARE. Проведено огляд наукової літератури щодо методів обчислювальної гідродинаміки (CFD) та основних етапів отримання чисельного рішення за їх допомогою. Проаналізовано сучасний стан досліджень, спрямованих на розвиток методів спряження розрахункових засобів моделювання, приведено класифікацію підходів щодо теплогідравлічного спряження, виконано огляд стану розробки та застосування спряжених розрахункових засобів на теплогідравлічних моделях різноманітної конфігурації та складності. На основі виконаного літературного огляду сформульовано мету та завдання дослідження.

Другий розділ присвячений вдосконаленню моделювання стаціонарних та перехідних режимів в теплогідравлічному обладнанні шляхом спряження ДК RELAP5/MOD 3.2 та CFD-коду ANSYS CFX. Приведено аналіз обраних кодів щодо можливості створення інтерфейсів для обміну даними, обрано найбільш оптимальні варіанти. Представлено опис розробленого модулю спряження RELAP5/CFX, висвітлено його структуру, основні функції, приведено схему виконання спряженого розрахунку та обміну даними між RELAP5 та ANSYS CFX. В якості тестового завдання приведено розрахунки послідовно з'єднаних RELAP5- та CFD-моделей горизонтальних труб, а також моделі замкнутого контуру. Розрахунки виконані для трьох основних типів інтерфейсу: «вхідний потік», «вихідний потік», поєднання «вхідний/вихідний потік» на замкнутому контурі. Результати розрахунків перехідних режимів для всіх трьох тестових завдань підтверджують коректність реалізації технології спряження.

Третій розділ присвячений розробці спряженого підходу до оцінки можливості виникнення гідравлічного удару у проточній частині ГЦН-195М при перехідному процесі пов'язаному з заклинюванням валу. Для оцінки

амплітуди підвищення тиску теплоносія, а також розподілу поля тиску за допомогою CFD-аналізу представлено розроблену модель проточної частини ГЦН-195М для коду ANSYS CFX. Для реалізації спряження, представлено модифіковану модель енергоблоку №1 ВВЕР-1000/В-320 ЗАЕС для ДК RELAP5/MOD 3.2. Описано підхід до виконання спряженого розрахунку, приведено валідацію спряженого стаціонарного стану РУ, виконано моделювання перехідного процесу із заклинювання валу ГЦН-195М. За результатами моделювання зроблено висновки щодо можливості виникнення гідравлічного удару в проточній частині насосу.

Четвертий розділ присвячений моделюванню процесів теплообміну між елементами верхнього блоку та корпусу реактору з охолоджуючим середовищем систем вентиляції TL03, TL05 із застосуванням спряженого підходу. Запропоновано підхід до вирішення даного завдання з застосуванням спряження між системним теплогідравлічним кодом, методами обчислювальної гідродинаміки та аналітичними методами. Описано розроблену спряжену розрахункову процедуру, яка реалізує метод кінцевих елементів, складний теплообмін та систему балансових рівнянь. Приведено валідацію розробленої спряженої розрахункової процедури на основі експлуатаційних даних енергоблоку АЕС. На основі експериментальних даних аналізується можливість коректного моделювання складного теплообміну розрахунковим кодом ANSYS CFX, визначаються та обґрунтовуються комбінації замикаючих моделей випромінювання і турбулентності. На основі розробленої спряженої процедури отримано результати розрахунків з оцінки граничних умов на зовнішній поверхні верхнього блоку і корпусу реактору в робочих і перехідних режимах та зроблено висновки щодо отриманих результатів.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 5 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 3 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України.

Також результати дисертації були апробовані на двох наукових фахових конференціях.

Зміст та науковий рівень публікацій та доповідей на конференціях висвітлюють значний вклад до наукового дослідження за темою дисертації та відповідають принципам академічної доброчесності, а наукові результати, описані в дисертаційній роботі, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. У роботі недостатньо представлений аналіз відмінностей запропонованого підходу та методу спряження ДК RELAP та ANSYS від інших аналогічних відомих спряжених тепло-гідродинамічних ДК.

2. У роботі недостатньо представлений аналіз невизначеності результатів розрахункового моделювання розробленим новим тепло-гідродинамічним ДК та зіставлення результатів цього аналізу з іншими аналогічними ДК.

3. У роботі (розділ 3) модель гідравлічного удару (ГУ) при різкому заклинюванні ГЦН ґрунтується на відомій формулі Жуковського, що визначає амплітуду імпульсу тиску ГУ в залежності від густини та швидкості звуку теплоносія, а також різниці швидкостей потоку до і після ГУ. Формула Жуковського фактично відображає вплив на амплітуду імпульсу тиску ГУ лише ефекту стисливості теплоносія (за параметром швидкості звуку). Крім того, формула Жуковського не визначає умови/причини виникнення ГУ, а визначає лише можливі наслідки з апіорі відомої швидкості потоку після ГУ. Основною умовою виникнення ГУ є різке (імпульсне) гальмування потоку, що відбувається при заклинюванні ГЦН (ст.71). У разі імпульсного гальмування потоку кінетична енергія та імпульс руху потоку повністю або частково переходить в енергію та потужність ГУ. Тому, модель ГУ при заклинюванні ГЦН повинна враховувати не тільки ефекти стисливості, а й ефекти перетворення кінетичної енергії та імпульсу руху потоку. Тому висновки автора про відсутність ГУ при різкому заклинюванні ГЦН недостатньо обґрунтовані.

4. У розділі дисертації «наукова новизна одержаних результатів» недостатньо обґрунтовано визначено 6 наукових результатів роботи, одержаних вперше. Вважаю, що таке формулювання наукової новизни одержаних результатів може бути віднесене лише до розробленого в дисертації нового тепло-гідродинамічного ДК RELAP - ANSYS та одержаних результатів валідації системи замикаючих залежностей на основі дослідних даних експлуатації в робочих та перехідних режимах реактора. Водночас результати валідації не знайшли належного відображення у розділі «наукова новизна одержаних результатів».

5. У загальному випадку необхідні додаткові обґрунтування прийнятності екстраполяції отриманих результатів валідації ДК у робочих та перехідних режимах експлуатації на умови всіх аварій, що моделюються.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Онищука Юрія Анатолійовича на тему «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки ВВЕР-1000 шляхом спряження розрахункових засобів» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 14 «Електрична інженерія». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Онищук Юрій Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 «Атомна енергетика».

Офіційний опонент:

завідувач кафедри атомних електростанцій

Національного університету

«Одеська політехніка»

доктор технічних наук, професор



(підпис)

Володимир Кравченко

М.П.

« 29 » __ липня 2024 року

