

Відгук

Офіційного опонента на дисертаційну роботу

Филонича Юрія Володимировича

на тему: «Удосконалення технології діагностики течі з першого контуру в другий за допомогою детекторів іонізуючого випромінювання для реакторних установок з ВВЕР-1000»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
в галузі знань 14 «Електрична інженерія»
за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»

Актуальність теми дисертації

Парогенератори відіграють важливу роль у відведенні залишкового тепла в реакторах ВВЕР та забезпеченні цілісності 3 фізичного бар'єру безпеки, відповідно, порушення цілісності ПГ має велике значення для забезпечення безпеки АЕС.

В теперішній час на енергоблоках АЕС України впроваджується низка модернізацій, спрямованих на оптимізацію управління аварійними процесами з втратою теплоносія першого контуру включаючи течі з першого контуру в другий, коли відбувається втрата теплоносія за межі герметичної оболонки, внаслідок якої може спостерігатися викид радіоактивного теплоносія в атмосферу та можливе порушення охолодження активної зони реактора.

Для контролю міжконтурних течей важлива наявність контрольно-вимірювальних засобів, які оптимізовані на основі аналізу перехідних процесів, для ініціювання сигналізації, а також ручних і автоматичних заходів. Найефективніший спосіб запобігти серйозним наслідкам міжконтурної течі – це раннє виявлення протікання на основі вимірювань активності детекторами, що розташовані біля паропроводу аварійного парогенератора. Цей метод виявлення течі вважається найбільш сучасним, оперативним, чутливим та найбільш поширеним у світі.

Одною з основних особливостей таких аварій є необхідність втручання оператора, яке впливає на хід протікання аварійного процесу. Тому оператор, при виникненні міжконтурної течі, повинен чітко розуміти про стан основного та допоміжного технологічного обладнання, що безпосередньо впливає на своєчасність та коректність оцінки ситуації.

В дисертаційній роботі запропоновано використання удосконаленого методу для визначення взаємозв'язку між витратою в міжконтурну течу та величиною активності на паропроводі, яка корелює з відгуками детекторів, що розташовані біля паропроводів аварійного ПГ. При цьому досліджено наявний ефект перехресних завад, при якому оператор може хибно ідентифікувати неаварійний парогенератор як аварійний. Враховуючи необхідність впровадження в промислову експлуатацію автоматизованої системи управління аварією «теча з першого контуру в другий» на всіх АЕС України з реакторами ВВЕР-1000, що передбачається в рамках заходів КзППБ, то вирішення питання розробки комплексного методу визначення аварійного парогенератора при міжконтурній течі за допомогою детекторів реєстрації іонізуючого випромінювання, розташованих на паропроводах гострої пари ПГ, в дисертаційній роботі – є актуальним.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірність та новизна

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. На основі розробленої розрахункової моделі реактора ВВЕР-1000 з деталізацією водовмісних об'ємів в MCNP6.2 виконано уточнення розрахункової залежності швидкості напрацювання ^{16}N від глибини вигорання ядерного палива. Ця розрахункова залежність, на відміну від раніше існуючих, достовірніше корелює з експериментальними даними.
2. Отримали подальший розвиток математичні моделі для розрахунку транспорту летючих радіонуклідів в другому контурі, в яких, на відміну від існуючих, моделюється розпад та дисперсія атомів ^{16}N протягом транспорту від місця течі до паропроводу гострої пари парогенератора з урахуванням проходження шару кип'ячої рідини.
3. Вдосконалено розрахункову модель лічильника Гейгера-Мюллера БДМГ-04-02, що забезпечило більш достовірне прогнозування залежності відгуку лічильника від активності джерела іонізуючого випромінювання в широкому енергетичному діапазоні, що виходить за межі експлуатаційних характеристик лічильника.
4. Вперше поєднано комплекс сучасних н.-ф., теплогідравлічних та аналітичних розрахунків для визначення витрати в течу за допомогою газорозрядних лічильників іонізуючого випромінювання, що дозволило

детально дослідити ефект взаємного впливу та усунути можливість хибної ідентифікації аварійного парогенератора при аварії з течею з першого контуру в другий.

Результати представлені у дисертації достатньо обґрунтовані. Ступінь обґрунтованості наукових положень і висновків підтверджуються порівнянням експериментальних даних з проведеними теоретичними дослідженнями з використання сучасних методів та валідованих програмних засобів, які базуються на загальноприйнятих підходах щодо аналізу нейтронно-фізичних та теплогідравлічних процесів. Здобувач для визначення транспортного часу використовує теплогідравлічні моделі ЯПГУ ЗАЕС-5 та РАЕС-3, які верифіковані та валідовані в рамках виконання аналізів безпеки. Нейтронно-фізична модель реактора, яка є базовою для розрахунку швидкості напруцювання азоту-16 в активній зоні, розроблена автором дисертації і проходила валідацію експертами ДНТЦ ЯРБ при виконанні ПЗ №747-06-18/41 «Аналіз можливості виникнення критичності під час розвитку важкої аварії» від 21.06.2018 року (захід програми робіт з аналізу аварійних феноменів важких аварій ДП «НАЕК» Енергоатом» ПМ-Т.0.41.414-15). До того ж швидкості напруцювання ^{16}N , транспортного часу в першому контурі та відгуку лічильника Гейгера-Мюллера підтверджуються валідаційними розрахунками і/або порівняльним аналізом з експериментальними даними. Всі інші представлені результати є реалістичними та не суперечать перебігу фізичних процесів.

Достовірність результатів дослідження забезпечується коректною постановкою завдань і виконаних досліджень, застосуванням сучасних програмних засобів, а також висновками, отриманими іншими авторами.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що сформовані рекомендації доцільно застосовувати при виборі уставки запуску автоматизованої системи управління аварією «теча з першого контуру в другий», враховуючи наявні ефекти взаємного впливу суміжно розташованих паропроводів. Запропонована автором зміна розташування і уставок спрацювання технічних засобів, а також, застосування додаткових бар'єрів від випромінювання мають забезпечити відсутність ситуацій з хибною ідентифікацією аварійного парогенератора. Важливо зазначити, що отримані здобувачем проміжні результати можуть бути застосовані при розробці нових або удосконаленні існуючих типів детекторів, визначенні місць з можливими ефектами перехресних завад на працюючих енергоблоках, при впровадженні

систем визначення теплової потужності реактора, витрати теплоносія по петлям головного циркуляційного контуру тощо.

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 Филонича Ю. В. повністю відповідає Стандарту вищої освіти за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» та відповідає напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Атомна енергетика».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям підвищення безпеки та надійності енергетичного обладнання АЕС.

Результати виконаного здобувачем дослідження свідчать про хороший науковий рівень дисертації і методичну цінність проведеної роботи. Отримані автором результати вирішують сформульовані в дисертації завдання і свідчать про теоретичне і практичне значення виконаних досліджень.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Филонича Ю. В. є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементи фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тести інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Завдання, що виконані у співавторстві, зазначаються у вступі дисертації.

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота викладена українською мовою.

Дисертаційна робота написана коректною технічною мовою, послідовно та доступно, з використанням сучасної наукової термінології, Текст дисертації у достатньому для розуміння обсязі проілюстрований графічним матеріалом, таблицями тощо.

Наукова робота складається зі вступу, трьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Основний текст дисертації викладений на 161-ій сторінці, який містить 51 рисунок, 63 таблиці. Список використаних джерел – 161 найменування на 18-ти сторінках.

У вступі розглянуті актуальність, мета та завдання дослідження, наукова новизна та практична значущість роботи.

Перший розділ носить оглядовий характер і присвячений огляду підходів, методів, систем для визначення характеристик течії з першого контуру в другий, які мають місце на АЕС України з реакторами ВВЕР-1000. Представлений аналіз експлуатаційних та конструкційних особливостей вітчизняних двоконтурних реакторних установок, які впливають на визначення витрати та місця виникнення протікання. В останньому підрозділі сформульовані висновки та завдання дослідження.

Другий розділ присвячений розробленню розрахункових моделей та способів для визначення залежності потужності поглиненої дози, що фіксується детекторами біля аварійного парогенератора, від величини витрати в міжконтурну течію. У ході дослідження розглянуто різні варіанти працюючих та непрацюючих ГЦН, різні рівні потужності (від 20 до 100 % від «номіналу»). Кількісно оцінено вклад від процесів (швидкість нагрівання азоту-16 в реакторі, транспортний час в першому та другому контурі, невизначеність місця виникнення течії, достовірність реєстрації іонізуючого випромінювання лічильниками Г-М тощо), що можуть впливати на достовірне визначення взаємозв'язку між витратою та показами детектора.

Третій розділ присвячений аналізу можливості визначення витрати в течію за допомогою детекторів іонізуючого випромінювання за допомогою удосконаленого методу. Оцінено зведену невизначеність та обґрунтовано обмеження автоматизованої системи управління аварією «теча з першого контуру в другий». Встановлено слабкі особливості (вразливості) технічної компоновки системи та кількісно визначено вплив від ефекту суміжного розташування паропроводів парогенераторів. Розроблено методи запобігання визначанню неаварійного парогенератора як аварійного. Окреслено недоліки та переваги застосування кожного методу. Отримано залежність витрати в течію та потужності поглиненої дози, що реєструється детекторами, від активності в області детектування. В підсумку представлені рекомендації щодо вдосконалення подібних систем контролю або моніторингу характеристик міжконтурної течії.

У висновках наведено узагальнення отриманих у дисертаційній роботі наукових і практичних результатів.

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

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Наукові результати дисертації висвітлені у 4-ох наукових публікаціях здобувача у періодичних журналах, які включені на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України та проіндексовані у базах даних Scopus. При цьому 3 статті опубліковані у виданнях, віднесених до першого-третього квартилів (Q1-Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Результати дисертації були апробовані на 4-ох наукових фахових конференціях.

Всі представлені публікації виконані на належному рівні з усіма необхідними складовими, згідно до умов видавництва. Статті пройшли рецензування.

Аналіз публікацій здобувача дозволяє зробити висновок, що вони у достатній мірі охоплюють результати дисертаційного дослідження.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

Представлена дуже складна багатофакторна актуальна проблема: «Обґрунтування уставки потужності дози гамма-випромінювання від трубопроводів гострої пари ПГ для запуску автоматизованого алгоритму СУА ТПКД енергоблоку № 4 ВП РАЕС», яка потребує вирішення науково-технічної задачі, трансформовану у дисертаційну роботу, що привело до наступних спостережень:

- кожен з перших трьох пунктів наукової новизни роботи міг би бути окремою дисертаційною роботою з наповненням нових дослідницьких рішень.
- в роботі застосована велика кількість скорочень при описі обладнання та систем, що для працівників АЕС спрощує розуміння, проте в дисертаційній роботі така кількість скорочень ускладнює розуміння викладеного матеріалу. До того ж потрібен певний підхід до скорочень, тобто використовувати тільки проєктні або експлуатаційні, або скорочення з обґрунтування безпеки.

У тексті дисертаційної роботи доволі багато орфографічних та стилістичних помилок, деякі з яких заважають розумінню тексту. Мали місце труднощі з перекладом науково-технічних термінів на українську мову. Також присутні англіцизми при використанні певних термінів. Треба більш прискіпливо відноситись до написання науково-технічних текстів та підвищити якість документування:

- 1) Анотація, стор. 3, параграф 4: «Ба більше, висвітлено...», – це не технічний стиль тексту, краще – «Більш того, висвітлено....».
- 2) Анотація, стор. 5, параграф 1: «...метод розрахунку транспорту летючих радіонуклід в другому контурі»... Мабуть «радіонуклідів»?
- 3) Мають місце випадки використання застарілої інформації, наприклад, Розділ 1.1, пар. 3, стор. 32: «...дослідження дій оператора на повномасштабному тренажері [13]...». Необхідно зазначити, що наведені у [13] дані застарілі та засновані на застосуванні подієвих ІЛА. Зараз використовуються симптомно-орієнтовані ІЛА, та якість підготовки операторів АЕС підвищена за рахунок багаторічного використання повномасштабних тренажерів.
- 4) Розділ 1.3, пар. 2, стор. 35. «Очевидно, що за приростом активності (в межах ННЕ)...». Такого поняття як норми нормальної експлуатації не існує, є межі нормальної експлуатації.
- 5) Розділ 2.1.1, пар. 2, стор. 52. Не зрозуміла нумерація таблиць у додатках: у Додатку Б, таблиці В.1 і В.2, а у Додатку В знов Табл. В.1? Рисунки у Додатку В позначені як Рис. С.1?
- 6) Розділ 2.3.6, пар. 1, стор. 96. «Реалізацію співвідношень (2.40) для розрахунку динаміки зміни активності пари по нелетючим радіоізотопами проведено за допомогою алгоритмічної мови програмування Delphi 6» - було б доцільно привести у окремому додатку як мінімум блок-схему алгоритму.
- 7) Розділ 2.4.6, Рис. 2.19, стор. 116. Без підпису до рисунку з поясненнями, що зображено – нічого неможливо зрозуміти. Теж саме стосується Рис. 2.9.
- 8) Розділ 2.4.6, стор. 121. В таблиці 2.35 представлені результати розрахунку відгуку лічильника Гейгера-Мюллера для реперних нуклідів першого контуру, проте не надано пояснення, чому ці результати не використовуються в подальшому.

- 9) Розділ 2.5, п. 1, стор.125. «...в об'ємі АкЗ і на її околиці...». Краще «периферії».
- 10) Розділ 3.1.1, пар.1, стр.127. «Отримані результати свідчать про те, що при певних витратах ТПКД БД обох паропроводів фіксуватимуть підвищення ПАЕД, яке може перевищувати уставку на спрацьовування СУА ТПКД». Сама уставка ненаведена, тому ствердження не інформативно.
- 11) Розділ 3.4.1.1, Табл. 3.16, стр.153. Перший рядок – мабуть потужність 65, а не 60%.
- 12) По тексту розрив трубки ПГ визначається як DN13, DN15, DN18. Вочевидь, мова іде про внутрішній діаметр трубки ПГ 13.2 мм.
- 13) Додаток В, Розділ 1. п.3. Нодалізація реактора на рис. С.1 не відповідає наданому опису: «Перші точки «контролю» розташовувалися у вхідній ноді частини АкЗ (в ГЕ 41-01, 42-01, 43-01, 44-01), що обігрівається. Другі – в вихідній ноді частини АкЗ (в ГЕ 41-10, 42-10, 43-10, 44-10), що обігрівається.», тоді як у п.1 частина АкЗ, що обігрівається представлена ГЕ «030, 032 і 039 – ділянка АкЗ реактора, що обігрівається».
- 14) Має місце плутанина початкових та граничних умов. Так, потужність ректору на момент виникнення ТПКД – це початкова умова.

Незважаючи на загальне позитивне враження при розгляді дисертаційної роботи були виявлені наступні недоліки, питання та зроблені відповідні зауваження:

1) Розділ 2.1.1, пар. 4, стор. 57. Пишеться, що «Початкове збагачення свіжих ТВЗА за ^{235}U становить 4.38 %», тоді як у Додатку Б, Таблиця В.1, зазначено середнє збагачення 2.48 %. Насправді, активна зона при перевантаженні ТВЗА отримує лише десь 30 % свіжого палива різного збагачення (від 2.2 % до 4.39 %), тоді як інше паливо має певне збагачення за ^{235}U , що залежить від глибини вигоряння. Як це відображено у розрахунках не зрозуміло. Крім цього, середнє збагачення свіжих ТВЗА (439МТ) за ^{235}U становить 4.39 %, а в складі ТВЗ застосовуються твел зі збагаченням 4.4 % та 3.6%, тобто вони профільовані.

2) Розділ 2.1.2, пар. 1, стор. 60. Розглядати паливну кампанію реактора лише як 300 ефективних діб на сьогодні не зовсім коректно – мають місце випадки від 270 до 320 еф. діб. Тому треба обрати консервативний варіант. Також зазначено: «Прийнявши те, що кампанія реактора складає 300 еф. діб, в

результаті отримуємо відмінність між R_n напочатку і наприкінці кампанії реактора (450÷750 діб) приблизно 12.7 % (див. Табл. 2.2)» – виконана робота не зрозуміла – у працюючій активній зоні реактора 25 % свіжого палива підживлення, 25 % палива 2 року експлуатації, 25 % палива 3 року експлуатації і 25 % палива 4 року експлуатації. Тому, враховуючи мету розрахунку з напрацювання азоту-16, пропонується приймати момент кампанії, коли активність по азоту-16 мінімальна або максимальна. Так як написано, то зовсім не зрозуміло які значення R_n застосовувались у розрахунках.

3) Розділ 2.1.2, пар. 1, стор. 60. Не зрозуміло, як була розрахована середня глибина вигорання всього завантаженого палива «19.00 ГВт·доба/т». Наприклад, для 28 паливної заправки РАЕС-3 це 20.84 ГВт·доба/т на початок кампанії. Сама кампанія має 312 еф. діб. Тому, не зрозумілі дані, які наведені у Таблиці 2.2.

4) Розділ 2.2. Поза увагою залишився потік ТПК з витратою 600-800 м³/год, який з напору ГЦН прямує до КТ і далі до гарячої нитки петлі №4. З урахуванням часу розпаду ¹⁶N в гарячу нитку майже не поступає ¹⁶N з КТ.

5) Розділ 2.3. При ТПКД близьких до еквівалентного діаметру 100 мм може спостерігатись потрапляння теплоносія 1 контуру з аварійного до неаварійних парогенераторів через паропроводи в перший час одразу після появи течі та закритті СК ТГ. Тому, спрацювання блоків детектування на паропроводах неаварійних ПГ також можливо за рахунок перетікання середовища із аварійного ПГ через систему паропроводів, особливо при спрацюванні пароскидних пристроїв неаварійних ПГ. Цей фактор також потрібно врахувати.

6) Розділ 2.3, останній параграф, стор. 78. Речення: «При розробці моделей та проведенні розрахунків передбачається, що величина ТПКД залишається постійною протягом часу, принаймні у кілька разів перевищує суму повного транспортного часу теплоносія від АкЗ до місця протікання і характерного часу транспорту газоподібних радіонуклідів від місця протікання до точки детектування.», незрозуміле. Порівнюється витрата та час. Також, при ТПКД до DN100 тиск у 1 контурі швидко зменшується, що зменшує витрату у течу, ще до спрацювання АЗ (приблизно 15 с до падіння ОР СУЗ на НКВ).

7) Розділ 2.3.4.2, стор. 90, буліт 2. Не зрозуміло як реалістичний підхід у подальшому застосовується для аналізу з урахуванням консервативного підходу: «...в теплогідравлічних розрахунках застосовувався реалістичних підхід для визначення «граничних» режимів відносно до діапазону активності в

місцях детектування, які в подальшому використовуються для аналізу з урахуванням консервативного підходу»? Реалістичний підхід приведе до реалістичних результатів, які неможливо застосувати для консервативних заключень, так як, наприклад, не розраховується невизначеність результатів. Взагалі, обґрунтування значень уставок повинно виконуватись за консервативним підходом.

8) Розділ 2.3.4.2, стор. 90, буліт 5. Відрив кришки колектору ПГ розглядається як теча DN100 лише у аналізі проектних аварій як консервативна гранична умова. Оскільки заявлено, що розрахунковий аналіз використовує реалістичний підхід, то з урахуванням модернізації кришок ПГ витрата в течу на ПГ в Україні складає від DN25 до DN42 по різних оцінкам.

9) Розділ 2.3.5, стор. 95. У результаті розрахунків (за всіма летючими радіонуклідами, окрім ^{16}N) ОА пари в місці детектування на петлях з відключеними ГЦН отримані дані, які наведені у Табл. 2.24 для 50 % від НРП та при працюючих 2-х протилежних ГЦН. Згідно з цими даними при вищій потужності (наприклад Табл. 2.21) (більше потік нейтронів – більше напрацювання летючих радіонуклідів) та більшій витраті (більше радіонуклідів потрапить у аварійний ПГ за той же проміжок часу) активність теплоносія буде меншою. Результат є дещо несподіваний, а пояснень не надано.

10) Розділ 3.4.1.1, Табл. 3.17, стор. 154. Відповідно до методології аналізу проектних аварій початкові та граничні умови встановлюються окремо по відношенню до критерію прийнятності, який визначає категорією вихідної події. По-перше, запропоновані у Таблиці 3.17 не всі початкові умови (наприклад, глибина вигорання від якої залежить генерація азоту-16), по-друге, повинні бути обґрунтовані (чому для відриву кришки колектора ПГ потужність макс., а для розриву трубки – мін. значення?). До того ж граничні умові зовсім відсутні.

11) Розділ «Висновки», п.7, стор. 188. В роботі дуже ретельно показані проблеми з застосуванням уставок за значенням ПАЕД для визначення аварійного ПГ. Вони залежать від великої кількості факторів. Чому не розглядались такі варіанти як уставка по швидкості зростання ПАЕД, або зростання ПАЕД на певну величину за певний час?

12) В роботі не враховано вплив спрацювання технологічних систем. Спрацювання АЗ припиняє напрацювання азоту-16. Робота технологічних систем підживлення 1 контуру в аварійну петлю розбавляє теплоносій 1 контуру.

13) Додаток В. У розділі 2.2 сказано, що для розрахунків використана модель блоку №5 ЗАЕС, а нодалізація ПГ та петель представлена з моделі блоку №3 РАЕС?

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують наукову новизну та практичну значимість результатів, а також не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційного дослідження.

Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційна робота Филонича Юрія Володимировича на тему: «Удосконалення технології діагностики течії з першого контуру в другий за допомогою детекторів іонізуючого випромінювання для реакторних установок з ВВЕР-1000» виконана на відповідному науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має суттєве значення для атомної галузі. 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 року №44.

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

Опонент:

Доцент кафедри атомної енергетики
навчально-наукового інституту атомної
та теплової енергетики
НТУ України «Київський політехнічний
інститут імені Ігоря Сікорського»

Сергій КЛЕВЦОВ

« ____ » _____ 2023 року