

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.філос.н., проф.

Анатолій МЕЛЬНИЧЕНКО

“ 07 ” 06 2024 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 19 від 29 травня 2024 р. наукового семінару
кафедри атомної енергетики

Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

З кафедри Атомної енергетики: к.т.н. доцент Воробйов М.В., д.т.н. професор Сорокова Н.М., к.т.н. доцент Коньшин В.І., д.т.н. професор Туз В.О., к.т.н. ст.н.с. Алексеїк Є.С., к.т.н. доцент Рогачов В.А., к.т.н. доцент Новаківський Є.В., к.т.н. доцент Філатов В.І., к.т.н. доцент Бібік Т.В., асистент Остапенко І.А., к.т.н. доцент Клевцов С.В., к.т.н. доцент Лебедь Н.Л., к.т.н. доцент Гавриш А.С., д.т.н. професор Хайрнасов С.М., аспірант Кулеш Н.С.

Запрошені з інших організацій: НЦДК ІЯД НАН України, к.фіз.-мат.н. Драпей С.С.

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри атомної енергетики Онищука Юрія Анатолійовича за матеріалами дисертаційної роботи «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки ВВЕР-1000 шляхом спряження розрахункових засобів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 «Атомна енергетика». Освітньо-наукова програма «Атомна енергетика» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти.

Тему дисертаційної роботи «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки ВВЕР-1000 шляхом спряження розрахункових засобів» затверджено на засіданні Вченої ради ТЕФ (протокол № 5 від “25” листопада 2019 року) та перезатверджено на засіданні Вченої ради НН ІАТЕ (протокол № 11 від “29” квітня 2024 року).

Науковим керівником затверджений к.т.н., доцент кафедри атомної енергетики Клевцов С.В.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: доцент Коньшин В.І., д.т.н. професор Сорокова Н.М., д.т.н. професор Туз В.О, к.т.н., доцент Рогачов В.А., к.т.н. доцент Філатов В.І.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: доцент Коньшин В.І., д.т.н. професор Сорокова Н.М., д.т.н. професор Туз В.О, к.т.н., доцент Рогачов В.А., к.т.н. доцент Філатов В.І.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження.

За останні десятиліття в рамках міжнародних програм та проектів світовою ядерною спільнотою здійснено значний комплекс наукових і експериментальних досліджень та накопичений великий досвід в розумінні теплогідравлічних процесів і явищ, характерних для аварійних сценаріїв на АЕС. Аналіз можливих сценаріїв аварій, розробка ефективних чисельних методів для розв'язання рівнянь математичної фізики та використання розроблених програмних кодів для аналізу динаміки аварій являються основними напрямками таких досліджень. Однак, сучасні вимоги з безпеки вимагають все більш поглибленого і детального вивчення та моделювання таких процесів та явищ.

Особливо важливим компонентом таких досліджень є створення та оптимізація програмних кодів для моделювання та аналізу динаміки аварій. Такі коди являються необхідним інструментом для реалістичного відтворення поведінки систем у нештатних умовах, що надає точні дані для обґрунтування та підвищення безпеки на АЕС.

Найбільш перспективним засобом в моделюванні аварійних процесів на АЕС являються коди обчислювальної гідродинаміки (CFD-коди), які призначені для точного моделювання та аналізу складних теплогідравлічних та масообмінних процесів з непростю геометрією та багатофазними потоками. Вони надають ефективний інструмент для точного моделювання процесів завдяки їх високому рівню деталізації при реалізації фізичних моделей. Однак, розробка та застосування повноцінної CFD-моделі всієї реакторної установки включно з першим та другим контуром та їх допоміжним обладнанням є недоцільною через значні обчислювальні затрати, що являються основним обмеженням використання CFD-кодів для аналізу безпеки АЕС.

Одним з підходів до вирішення наведеної проблеми є застосування в спряженні швидкого в розрахунку системного теплогідролічного коду (СТГ-коду), наприклад RELAP5, в якому потік може бути апроксимований з високою точністю одномірною моделлю, та CFD-коду, наприклад ANSYS CFX, для окремого обладнання АЕС чи його локальних частин, де важливий високий рівень деталізації, а також аналітичних методів. Застосування такого підходу дозволяє більш точно та якісно, при цьому в адекватні терміни, моделювати складні теплогідролічні та масообмінні процеси та явища в обладнанні РУ. При цьому спряження CFD-моделі з моделлю СТГ-коду дасть змогу застосовувати накопичений досвід з використання СТГ-кодів, а саме: використання нодалізаційних схем першого та другого контуру максимально близьких до тих, що розроблені і верифіковані в даних кодах та застосовуються для аналізу безпеки АЕС, а також використання алгоритмів роботи систем нормальної експлуатації та систем безпеки.

Тому, розробка підходів та отримання спряжених розрахункових моделей є досить важливим та актуальним завданням, що надасть можливість деталізованого моделювання теплогідролічних процесів в окремому обладнанні АЕС чи його локальних частинах з врахуванням зовнішнього впливу з боку РУ при протіканні аварій на АЕС.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тематика дисертаційної роботи відповідає пріоритетному напрямку «Енергетика та енергоефективність» відповідно Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки»

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

- запропоновано класифікацію наявних підходів та розвинуто теорію щодо спряженого розрахункового моделювання теплогідролічних процесів шляхом застосування СТГ-та CFD-кодів;

- запропоновано спряжений підхід до оцінки можливості виникнення гідравлічного удару у проточній частині ГЦН-195М при перехідному процесі пов'язаному з заклинюванням валу. На основі методів обчислювальної гідродинаміки та одновимірної теплогідроліки створені спряжені розрахункові моделі, що дозволяють з задовільними часовими та обчислювальними затратами врахувати зовнішній вплив з боку РУ на протікання перехідного процесу;

- встановлено відсутність гідравлічного удару у проточній частині ГЦН 195М при перехідному аварійному процесі пов'язаному з заклинюванням валу. Підтверджено, що основний вплив на внутрішню поверхню ротора ГЦН здійснює фронт обертової хвилі тиску, яка викликана перебудовою потоку теплоносія в проточній частині ГЦН та переходом кінетичної енергії потоку в потенційну енергію рідини;

- запропоновано спряжений підхід між системним теплогідролічним кодом, методами обчислювальної гідродинаміки і аналітичними методами

для вирішення геометрично та теплофізично складних нестационарних задач з оцінки граничних умов на зовнішній поверхні корпусу реактору та верхнього блоку;

- на основі експериментальних даних та проведення комплексного аналізу встановлено можливість коректного моделювання складного теплообміну розрахунковим кодом ANSYS CFX; визначено та обґрунтовано комбінації замикаючих моделей випромінювання і турбулентності;

- на основі розробленої спряженої процедури виконано оцінку граничних умов на зовнішній поверхні верхнього блоку та корпусу реактору в стаціонарних та перехідних режимах, що надає кількісні та якісні характеристики для подальшого аналізу крихкої міцності в рамках завдань з оцінки продовження терміну експлуатації даних елементів.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження полягає у можливості їх застосування для проведення розрахункових аналізів при розробці та науково-технічній підтримці стратегій з аваріями на АЕС, а також для обґрунтування безпеки АЕС як при продовженні терміну їх експлуатації, так і при проектуванні нових РУ. Запропоновані підходи та алгоритми також можуть бути застосовані для розробки нових програмних засобів або враховані для оптимізації та покращення розрахункових можливостей наявних.

5. Апробація результатів дисертації була здійснена на 2-ох міжнародних наукових конференціях:

- 1) Онищук Ю.А. Моделювання процесу деградації корпусу реактору при важкій аварії на АЕС / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XIX міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 20-23 квітня 2021 р.
- 2) Онищук Ю.А. Розробка модулю спряження RELAP5/MOD 3.2-CFX для застосування на РУ ВВЕР-1000 / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали XX міжнародна науково-практична конференція молодих вчених та студентів (присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та 90-річчю НН ІАТЕ (ТЕФ)) «Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики», Київ, 25-28 квітня 2023 р.

та на «Конкурсі проєктів у сфері ядерної науки, атомної енергетики та промисловості «Атомні інноватори», Київ, травень 2023 р.

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Онищука Ю. А. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача.

За результатами досліджень опубліковано 5 наукових публікацій, у тому числі:

- 3 статті у наукових фахових виданнях України за спеціальністю 143 «Атомна енергетика»;

- 2 тези виступів на наукових конференціях.

Перелік публікацій, в яких опубліковані основні наукові та практичні результати дисертації:

- 1) Онищук Ю. А. Проблематика моделювання внутрішньо-корпусної фази важкої аварії / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». №3. 2021. С. 111–121. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2021.251279> *(Особистий внесок здобувача полягає в аналізі протікання важкої аварії, виділенні та аналізі основних фаз внутрішньокорпусної фази важкої аварії, проведенні аналізу характерних для даних фаз процесів та явищ. Здобувачем розглянуто основні невизначеності, що виникають при моделюванні процесів важкої аварії в межах корпусу реактору. Для усунення/зменшення невизначеності запропоновано підхід до спряженого моделювання важкої аварії з застосуванням CFD-коду ANSYS CFX та системного теплогідравлічного коду RELAP5/Mod 3.2.)*
- 2) Онищук Ю.А. Модуль спряження RELAP5-CFX: тестування на простих теплогідравлічних моделях / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія». №3. 2022. С. 98–106. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2022.272087> *(Особистий внесок здобувача полягає в розробці та описі модулю спряження між системним теплогідравлічним кодом RELAP5/Mod. 3.2 та кодом обчислювальної гідродинаміки CFX, із застосуванням зовнішньої явної схеми спряження без перекриття, в якій CFX виступає в якості головного коду, а RELAP5 – другорядного. Для відпрацювання технології спряження здобувачем виконано тестування модулю на спрощених об'єктах – послідовно з'єднаних RELAP5- та CFD-моделях горизонтальних труб, а також на замкненому контурі. Виконано оцінку достовірності результатів розрахунків, отриманих в спряженні, шляхом їх порівняння з результатами автономних розрахунків в RELAP5.)*
- 3) Онищук Ю.А. Моделювання перехідного процесу на РУ ВВЕР-1000 зі застосуванням спряженого підходу / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія».

№2. 2024. С. 81–87. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2024.303099> (Особистий внесок здобувача полягає в розробці підходу до декомпозиції теплогідравлічної моделі реакторної установки ВВЕР-1000 на підмоделі, які розраховуються в спряженні окремими екземплярами системного теплогідравлічного коду RELAP5/Mod 3.2. Здобувачем виконано спряжений розрахунок стаціонарного та перехідного режиму РУ ВВЕР-1000, та проведено оцінку достовірності результатів розрахунків, отриманих в спряженні, шляхом їх порівняння з результатами автономних розрахунків в RELAP5.)

- 4) Онищук Ю.А. Моделювання процесу деградації корпусу реактору при важкій аварії на АЕС / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХІХ Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ., м. Київ, 20–23 квіт. 2021 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2021. – Т.1. – 334 с. URL: <https://aesitf.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/11/2021-tom1-tezy.pdf> (Особистий внесок здобувача полягає в аналізі основних фаз внутрішньокорпусної фази важкої аварії. Здобувачем розглянуто основні механізми що вносять вклад в протікання процесу деградації корпусу реактору. Визначено основні підзавдання, які необхідно виконати для розробки комплексної методики та розрахункової моделі для спряженого моделювання протікання важкої аварії з урахуванням системного впливу.)
- 5) Онищук Ю.А. Розробка модулю спряження RELAP5/MOD 3.2-CFX для застосування на РУ ВВЕР-1000 / Онищук Ю.А., Клевцов С. В. // Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики. У 2-х т. : Матеріали ХХ Міжнар. наук.-практ. конф. молод. вчених і студ. (присвячена 125-річчю КПІ ім. Ігоря Сікорського та 90 річчю НН ІАТЕ (ТЕФ)), м. Київ, 25–28 квіт. 2023 р. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2023. – Т. 1. – 256 с. URL: https://iate.kpi.ua/uploads/p_21_89484232.pdf (Особистий внесок здобувача полягає в розробці та опису функціональності модулю спряження між системним теплогідравлічним кодом RELAP5/Mod. 3.2 та кодом обчислювальної гідродинаміки CFX. Здобувачем розроблено модифікаційну модель, що застосовується, як надбудова над RELAP-моделлю РУ ВВЕР-1000/В-320 енергоблоку №1 ЗАЕС та проведено налагодження та тестування модифікованої RELAP моделі на автономному розрахунку стаціонарного стану).

Якість та кількість публікацій відповідають “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”.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота **Онищука Ю. А.** «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки ВВЕР-1000 шляхом спряження розрахункових засобів», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань в галузі знань 14 «Електрична інженерія» за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред’являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПП ім. Ігоря Сікорського «Атомна енергетика» третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти зі спеціальності 143 «Атомна енергетика».

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Вдосконалення методики розрахунків реакторної установки ВВЕР-1000 шляхом спряження розрахункових засобів», подану **Онищуком Юрієм Анатолійовичем** на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді.

2. Вченій раді КПП ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

доктор технічних наук, завідувач кафедри атомної енергетики НН ІАТЕ КПП ім. Ігоря Сікорського **Туз Валерій Омелянович;**

Члени:

Рецензенти:

кандидат технічних наук, доцент кафедри атомної енергетики НН ІАТЕ КПП ім. Ігоря Сікорського **Воробйов Микита Валерійович;**

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент кафедри ядерної фізики та високих енергій фізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка **Борисенко Володимир Іванович;**

доктор технічних наук, завідувач кафедри атомних електростанцій Національного університету «Одеська політехніка» **Кравченко Володимир Петрович;**

доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України,
заступник директора Інституту технічної теплофізики НАН України,
завідувач відділу тепломасообміну і гідродинаміки в елементах
теплоенергетичного устаткування **Авраменко Андрій Олександрович**.

Головуючий на засіданні

д.т.н., професор, завідувач кафедри АЕ



Валерій ТУЗ

Вчений секретар

кафедри атомної енергетики

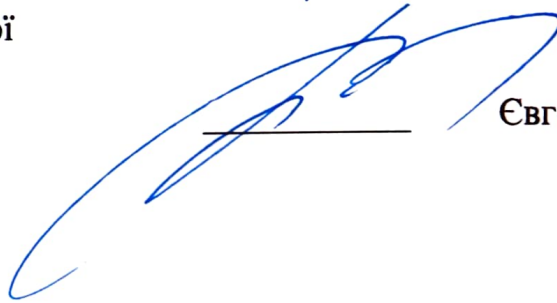
к.т.н., доцент кафедри



Микита ВОРОБІОВ

Гарант освітньо-наукової
програми

Доктор технічних наук, професор



Євген ПИСЬМЕННИЙ