

ВІДГУК

на дисертаційну роботу
Мазурка Олександра Сергійовича
**«Удосконалення методики теплогідравлічного аналізу в рамках робіт по
продовженню ресурсу корпусних реакторів»**,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» (галузь знань 14 - Електрична інженерія)

офіційного опонента
доктора технічних наук
Комарова Юрія Олексійовича

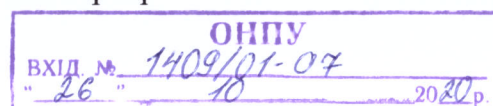
Дисертаційна робота Мазурка О.С. спрямована на вирішення прикладної наукової задачі з удосконалення методики теплогідравлічного аналізу з визначенням можливості та умов виникнення термоудару корпусу реактора у різних перехідних режимах реакторної установки з ВВЕР-1000, що є актуальним в рамках робіт з продовження терміну експлуатації енергоблоків та програми підвищення номінальної потужності енергоблоків АЕС.

Коротка характеристика роботи

У **Вступі** у стислій формі надано обґрунтування актуальності теми дослідження (що повністю розкрито у подальших розділах 1, 2), мета і завдання дослідження (сформульовано 6 завдань), чітко окреслено об'єкт та предмет дослідження, вказані методи дослідження та отримана наукова новизна, особливий внесок здобувача, апробація матеріалів дисертації, структура дисертації. Робота виконувалась у Одеському національному політехнічному університеті в рамках держбюджетної НДР, а також в рамках трьох госпдоговірних робіт. Вказана інформація з практичної значущості отриманих результатів.

Розділи 1 та 2, фактично, є оглядом різного роду літературних джерел (наукові паці, нормативні методики, звіти з виконання робіт у атомно-енергетичній галузі). Розділ 1 достатньо повно розкриває сутність існуючих методик проведення аналізу термоудару, наведено огляд та критичний аналіз підходів, які використані у цих методиках, виявлені аспекти, які потребують уточнення або не прийнятні для вітчизняних ядерних енергоустановок. Розділ 2 представляє аналіз виконаних в раках подовження терміну експлуатації звітів з оцінки технічного стану (ОТС) корпусу реактора (КР) енергоблоків АЕС України. На основі аналізу, наведеного у розділах 1 і 2, визначено мету подальших досліджень з вдосконалення методики виконання теплогідравлічного аналізу для обґрунтування опору крихкому руйнуванню (ОКР) КР енергоблоків АЕС України. У розділах 1 та 2 коректно виконано мету 1 та 2 наукового дослідження. Загальний обсяг розділів 1 та 2 складає 40 стор.

Розділ 3 містить опис специфічних для поставлених завдань моделей відомого розрахункового коду RELAP5: розробка моделі реактору (розробка нодалізаційної схеми), розробка моделі CAO3 з використанням розробленого програмного засобу (ПЗ) PumpFlowCharacteristic, вдосконалення розрахункового механізму кінетики реактора шляхом визначення відповідних характеристик активної зони реактора з використанням розробленого ПЗ Core_Kinetics. Наведено використання розробленого ПЗ DC-MIX для



спрощення роботи з відомим розрахунковим кодом GRS-MIX. Також в розділі наведено процедуру валідації розрахункових моделей на основі порівняльного аналізу ходу протікання аварій з результатами розрахунку (аналіз перехідного процесу із спрацюванням аварійного захисту та перехідного процесу із незакриттям ІЗП КТ). В рамках цього розділу було коректно виконано мету 3 наукового дослідження. Загальний обсяг розділу складає 26 стор.

У **розділі 4** на основі результатів імовірнісного аналізу безпеки (ІАБ) енергоблоку №3 ЮУАЕС проводиться вибір домінуючих груп сценаріїв (відібрано 14 сценаріїв) з високим рівнем частоти виникнення (частоти вихідної події аварії) Викладено недоліки існуючих критерії оцінки крихкого руйнування корпусу реактору типу ВВЕР-1000. В роботі було запропоновано в якості критерія оцінки ступеня небезпеки виникнення термоудару (у сценарії, що аналізується) виконати кількісне порівняння теплогідравлічних характеристик з ізотермічними граничними кривими тиску першого контуру та температури внутрішньої поверхні стінки корпусу реактора. На основі цього критерію автором запропоновано Р-Т-діаграму на якій відповідно до критеріальних залежностей визначено області можливості виникнення термоудару корпусу реактору з ВВЕР-1000. Далі наведено результати теплогідравлічних розрахунків (різних сценаріїв протікання аварій) з аналізом на запропонованій діаграмі та з подальшим розрахунком на міцність. Для розрахунків на міцність використовувався код ANSYS. Для ряду домінантних теплогідравлічних розрахунків додатково виконано аналіз перемішування теплоносія в опускній камері реактора за допомогою розрахункового коду GRS-MIX, результати якого також слугували граничними умовами при проведенні розрахунків на міцність. В результаті проведеного наукового дослідження, в окреmostі, було визначено найбільш небезпечний сценарій, що визначає ресурс корпусу реактора та сценарії які є представницькими для визначення ресурсу. В рамках цього розділу було коректно виконано мету 4 наукового дослідження. Загальний обсяг розділу складає 39 стор.

У **розділі 5** наведено загальну інформацію щодо причин та засобів підвищення одиничної потужності енергоблоків АЕС. Наведено результати розрахунку значень уставок та меж теплової потужності активної зони при підвищенні номінальної потужності на 1% та 7%. Проаналізовано можливий вплив підвищення номінальної потужності на частоту пошкодження активної зони (ЧПАЗ). Встановлено потенційно значущий вплив підвищення номінальної потужності на параметри першого контуру (температури та тиску) у ряді сценаріїв аварій, що потребує поновлення результатів розрахунків на міцність. В рамках цього розділу було коректно виконано мету 5 наукового дослідження. Загальний обсяг розділу складає 11 стор.

У **розділі 6** представлено конкретні рекомендації щодо поліпшення методологічної бази документів ДП НАЕК «Енергоатом» СОУ НАЕК 177:2019 «Методика оценки хрупкой прочности корпусов реакторов ВВЭР», ПМ-Т.0.03.415-16 «Типовая программа оценки технического состояния и продления срока эксплуатации корпусов, верхних блоков и главных разъемов реакторов энергоблоков ВВЭР-1000». Також заявлено, що було розроблено удосконалену методику теплогідравлічного аналізу для оцінки крихкої міцності в рамках робіт по продовженню ресурсу корпусів реакторів АЕС України. Однак самої методики у тексті дисертації не наведено. В рамках цього розділу було частково виконано мету 6 наукового дослідження (докладніше див. зауваження №5). Загальний обсяг розділу складає 5 стор.

У **висновках** сформульовані основні наукові та практичні результати дисертації.

Список використаних джерел містить 128 найменувань.

Додатки містять перелік публікацій за темою дисертації з зазначенням особистого внеску здобувача, містять окремі результати розрахунків, містять опис розроблених програмних продуктів, містять акти впровадження результатів роботи здобувача від ВП «Южно-Українська АЕС» ДП «НАЕК «Енергоатом», ТОВ «ІПП-Центр», Одеського національного політехнічного університету.

Аналіз дисертаційної роботи за основними аспектами

Актуальність теми дисертаційної роботи. При подовженні терміну експлуатації енергоблоку АЕС встановлення як самої можливості подовження та к і конкретного терміну в основному базується на дослідженнях стану реактора. При цьому особливу увагу приділяється технічному стану корпусу реактору. Підчас такої оцінки значну роль відіграє обґрунтування опору крихкому руйнуванню корпусу реактору (КР). В рамках даного аналізу, необхідно визначити умови виникнення термоудару КР та провести розрахунки на міцність, які обґрунтують цілісність КР у даних умовах.

Існуючі керівництва і методики з вказаного аспекту містять лише загальні рекомендації та не враховують специфіку енергоблоків і набутий досвід оцінки в рамках продовження терміну експлуатації енергоблоків. Це призводить до великого об'єму непотрібних обґрунтувань та розпорошує сили висококваліфікованих спеціалістів.

Тому удосконалення методики теплогідравлічного аналізу та, в окремоті, конкретизація критеріїв можливості виникнення термоудару на корпусі реактора є актуальною науковою задачею, яка дуже затребувана вітчизняною ядерно-енергетичною галуззю.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Дисертація є логічною та аргументованою науковою працею, виконаною з врахуванням сучасного рівня науки і техніки.

Ступінь обґрунтування наукових положень є достатньо високим та базується на використанні спеціальних програмних розрахункових кодів для теплогідравлічного аналізу безпеки RELAP5 та GRS-MIX та відповідних валідованих і верифікованих розрахункових моделях, що були розроблені за участю здобувача.

Також обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Мазурка О. С., забезпечено тим, що звітні матеріали в розробці яких приймав участь здобувач, та в яких викладено основні положення дисертації, проходили Державну експертизу відповідно до процедури впровадження результатів розрахункових обґрунтувань у експлуатаційну діяльність ДП НАЕК «Енергоатом».

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій. Дисертаційна робота дозволила вирішити науково-технічну задачу, що є важливою як для відповідного напрямку науки, так і для практичних питань проектування та експлуатації (в тому числі подовження терміну експлуатації) енергоблоків АЕС.

Вважаю, що у роботі містяться наступні наукові положення і наукові результати, які раніше не захищалися:

1) запропоновані та обґрунтовані нові кількісні критерії оцінки впливу протікання аварійних сценаріїв на формування умов термоудару корпусу реактора АЕС у вигляді Р-Т-діаграми, де виділена область, попадання в яку свідчить про загрозу термоудару. На відміну від існуючих, ці критерії окреслюють зазначену область для реакторів типу ВВЕР-1000 із більшою точністю;

2) проведено удосконалення методологічної частини теплогідрравлічного аналізу (та розробка відповідних допоміжних програмних засобів) для обґрунтування опору крихкому руйнуванню корпусів реакторів енергоблоків АЕС України, що, на відміну від існуючих підходів, дозволяє з більшою точністю визначити перелік небезпечних для експлуатації енергоблоку АЕС перехідних процесів, які мають в подальшому проходити поглиблену теплогідрравлічну оцінку та для яких потрібно виконувати розрахунки на міцність, що в цілому скорочує перелік цих процесів, зменшуючи об'єм обґрунтувань та запобігає ряду помилок при проведенні розрахунків.

Слід відзначити, що наведені вище аспекти наукової новизни дещо відрізняються від наведених у Дисертаційній роботі.

Практичне значення дисертаційного дослідження. Удосконалення, які запропоновані здобувачем можуть бути застосовані у процедурах продовження експлуатації та у процедурах з підвищення номінальної можності енергоблоків АЕС України з реакторами ВВЕР-1000. В окреmostі проводиться уточнення таких документів ДП НАЕК «Енергоатом», як СОУ НАЕК 177:2019 «Методика оценки хрупкой прочности корпусов реакторов ВВЭР», ПМ-Т.0.03.415-16 «Типовая программа оценки технического состояния и продления срока эксплуатации корпусов, верхних блоков и главных разъемов реакторов энергоблоков ВВЭР-1000». При цьому підходи, які покладені до основи уточнення методичної бази вказаних документів були погоджені у ДП «НАЕК «Енергоатом» та Держатомрегулювання України у складі документації, наданої для продовження терміну експлуатації енергоблоку № 3 ВП ЮУАЕС.

Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах. Основні наукові результати дисертаційного дослідження опубліковані в 10 наукових працях, з яких: 4 статі (ЯРБ-2012, ЯРБ-2015, ICON21, ICON22) у періодичних виданнях, що входять до міжнародної науково-метричної бази SCOPUS та 6 статей у спеціалізованих фахових наукових журналах та збірниках наукових праць, з переліку, що затверджено МОН України. Наукові роботи у матеріалах конференцій, які засвідчують апробацію результатів дисертації складають 3 шт., з яких 2 (NURETH-18, ICON27) увійшли до науково-метричної бази SCOPUS. Наукові роботи, які додатково відображають наукові результати дисертації в кількості 7 шт.

Відсутність порушення академічної доброчесності підтверджується інформацією, наведеною у звіті про подібність StrikePlagiarism [ID:7592471]. Запозичення, виявлені в роботі, є загальноновживаними і не є плагіатом.

Оформлення роботи. Дисертацію викладено українською мовою. Загальний обсяг дисертації складає 224 аркушів, з них 130 аркушів основного тексту. Оформлення дисертації відповідає «Вимогам до оформлення дисертації», затверджених Наказом МОН України №40 від 12 січня 2017 р.

Зауваження до дисертаційної роботи

1. При проведенні аналізу літературних джерел (у розділах 1, 2 дисертації) приділено недостатню увагу існуючим світовим методикам та теоретичним дослідженням у напрямку аналізу термоудару на корпусі ядерного реактору. Наприклад, відсутній аналіз відомих російських методик:

Методика расчета на сопротивление хрупкому разрушению корпусов реакторов АЭС с ВВЭР в процессе эксплуатации, МРКР-СХР-2004, С.-Петербург-Москва, 2004;

Методика определения ресурса корпусов атомных реакторов в процессе эксплуатации, МРК-СХР-2000, С.-Петербург-Москва, 2000.

У обмеженому об'єму виконано аналіз наукових праць, наприклад стаття:

Критериальный метод оценки условий возникновения термоудара на корпус реактора / В. И. Скалозубов, Т. В. Габлая, И. Л. Козлов, Е. С. Лещетная // Ядерная физика та енергетика. - 2014. - Т. 15, № 1. - С. 43-49. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/yadf_2014_15_1_7

Повністю відсутній аналіз дисертаційних робіт інших здобувачів у цьому напрямку досліджень.

2. У розділі 3 дисертації (Розробка розрахункових моделей та програмних засобів для обробки даних), п.3.1 вказано: «В рамках дослідження були застосовані розрахункові моделі енергоблоку №3 ЮУАЕС для відповідних розрахункових кодів (РК), а саме ... модель для РК ANSYS для розрахунків на міцність.»

Однак у подальшому викладені РК ANSYS не згадується, а розрахункові моделі для цього РК не наводяться.

3. У першій частині розділу 4 надається вибір домінуючих груп сценаріїв аварій для подальшого їх детального аналізу. У табл. 4.1 під назвою «Перелік домінуючих груп сценаріїв» наведено 14 сценаріїв за критерієм частоти виникнення даної вихідної події аварії (ВПА) більш ніж 10^{-5} 1/рік. В подальшому (стор. 105 дисертації) вказано, що в якості розрахункових сценаріїв для обґрунтування опору крихкому руйнуванню корпусу реактора обрано 54 сценаріїв.

Принцип вибору саме цих (54 шт.) сценаріїв та кореляції з раніш відібраними 14 сценаріями у дисертаційній роботі відсутнє (викладено не повною мірою) та було з'ясовано протягом особистого спілкування із здобувачем.

4. Основні критеріальні залежності (п.4.2 дисертації), на яких базується запропонована здобувачем оцінки впливу протікання аварійних сценаріїв на формування умов термоудару корпусу реактора в вигляді Р-Т-діаграми, базуються на розрахункових значеннях тиску теплоносія біля поверхні стінки КР (P_p), мінімальній температурі внутрішньої поверхні стінки КР (T_p) та критичних значеннях цих параметрів ($P_{кр}$, $T_{кр}$).

Вважаю, що значення P_p , T_p , $P_{кр}$, $T_{кр}$ та критеріальний параметр $\Theta(P_p, T_p, P_{кр}, T_{кр})$ потребує оцінки величини похибки його визначення, а також оцінки впливу різних невизначеностей (похибка розрахункових кодів, похибка вихідних даних, тощо) на результат. Такого роду аналіз у дисертаційній роботі не проведено.

5. У розділі 6 дисертації (Впровадження результатів дослідження) досить докладно визначені рекомендації щодо вдосконалення методик, які наразі використовуються ДП НАЕК «Енергоатом» для оцінки крихкої міцності та оцінки ресурсу корпусів ВВЕР.

Однак сама вдосконалена методика в матеріалах дисертації відсутня. Тому мету дисертаційної роботи яка сформульована як: «6. Апробація вітчизняних методик з розробкою нової удосконаленої методики для обґрунтування опору крихкому руйнуванню корпусу реактору енергоблоків АЕС України.» вважаю виконано частково.

6. Загальне зауваження до усього тексту дисертації полягає у наступному - стиль викладу дисертаційної роботи є знеособленим, що є некоректним.

Відповідно до п.10 Положення: «Дисертація подається у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, виконується здобувачем особисто,... а також свідчити про особистий внесок здобувача в науку та характеризуватися єдністю змісту.»

Тобто за текстом дисертації потрібно чітко вказувати, що отримано автором особисто, а що подається описово як результати інших теоретичних або галузевих досліджень, характеристик розрахункових кодів, вітчизняних або закордонних методик.

В той же час відповідні посилання на літературні джерела за текстом дисертації подаються коректно, тому вказаний недолік лише ускладнює сприйняття тексту дисертації, а зауваження можна віднести до недоліків оформлення.

Слід зазначити, що вказані зауваження значним чином не знижують цінності роботи та не впливають на загальне позитивне враження від дисертації.

Висновок щодо відповідності дисертації вимогам МОН України

Вважаю, що дисертаційна робота є важливою науковою працею в актуальному напрямку подовження терміну експлуатації водо-водяних енергетичних реакторів енергоблоків АЕС України, що містить нові наукові положення та нові важливі прикладні результати теплогідравлічного аналізу.

Результати роботи опубліковано у провідних наукових виданнях та апробовано на конференціях та семінарах. Аналіз публікацій дисертанта показує, що основні результати дисертації було отримано автором самостійно.

Тема дисертації є актуальною, наукові положення, висновки та рекомендації містять наукову новизну та є обґрунтованими і достовірними. Основні результати дисертації впроваджені в практичну діяльність.

Таким чином, на підставі актуальності теми дисертації, обґрунтованості її наукових положень і висновків, практичного значення і новизни результатів, отриманих здобувачем особисто, вважаю, що дисертаційна робота «Удосконалення методики теплогідравлічного аналізу в рамках робіт по продовженню ресурсу корпусних реакторів» повністю відповідає вимогам «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою КМУ № 167 від 06 березня 2019 р., які висуваються до дисертацій, а її автор, Мазурок Олександр Сергійович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 143 «Атомна енергетика» (галузь знань 14 - Електрична інженерія).

Офіційний опонент,
старший інженер
відділу теплотехнічних процесів і аварійних режимів
відділення науково-технічної підтримки у м. Одеса
ВП «Науково-технічний центр»
ДП НАЕК «Енергоатом», д.т.н.



Ю.О. Комаров

Підпис Комарова Юрія Олексійовича підтверджую

Т.в.о. начальника відділу по роботі з кандидатами наук
ВН 2917

