

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Піркового Д.С. «Підвищення надійності та безпеки енергоустановок шляхом запобігання гідродинамічних ударів»**, що подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 «Теплоенергетика»

1. Актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими державними й галузевими програмами.

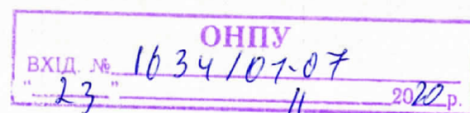
Питанням підвищення надійності і модернізації систем нагнітання енергетичних установок присвячено багато досліджень. Однак, питання впливу тепло-гідродинамічної нестійкості на надійність насосних систем вивчені недостатньо. Явище тепло-гідродинамічної нестійкості полягає у виникненні умов автоколивальних і аперіодичних процесів зміни тепло-гідродинамічних параметрів потоків теплоносія (тиску, швидкості, парозмістовності і т.п.) в системах теплотехнічного обладнання теплових і ядерних енергоустановок. Виникнення умов тепло-гідродинамічної нестійкості призводить до додаткових гідродинамічних навантажень (гідрударів) на конструкції теплоенергетичного обладнання і трубопроводів, а також знижує надійність їх експлуатації в робочих, перехідних і аварійних режимах. У випадках умов, що критичні по надійності, відбувається відмова на виконання проектних функцій експлуатації та руйнування конструкцій теплоенергетичного обладнання і трубопроводів. Визначальними факторами виникнення гідродинамічної нестійкості і гідрударів в широких діапазонах зміни режимних параметрів можуть бути специфічні особливості витратних (мережевих) характеристик насосів, тобто залежність гідродинамічного напору від швидкості руху або витрати потоку. Це визначає актуальність запобігання гідродинамічних ударів для підвищення надійності і безпеки енергоустановок.

Свідченням актуальності розглянутої дисертаційної роботи є її виконання в рамках виконання держбюджетної науково-дослідної роботи МК 17/03 «Розробка і впровадження методики адаптації непроектного ядерного палива в аварійних режимах щодо атомних електростанцій України» (номер держреєстрації 0115U000414), де здобувач був виконавцем окремих розділів.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації.

Дисертаційна робота складається зі вступу, основної частини з 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 126 найменувань та додатків. Матеріал викладено на 157 сторінках друкованого тексту, основного тексту – 109 сторінок, має 34 рисунка та 14 таблиць.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, відзначено її зв'язок з держбюджетною науково-дослідною роботою кафедри МК 17/03 «Розробка і впровадження методики адаптації непроектного ядерного палива в аварійних режимах щодо атомних електростанцій України» (номер держреєстрації 0115U000414), де виконувалась робота. Сформульовано мету й задачі дослідження. Вказано методи дослідження, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.



Наведено інформацію про публікації та апробацію викладеного в роботі матеріалу, а також відзначено особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено загальні питання аналізу безпеки і надійності енергоустановок, аналіз відомих досліджень в області моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів. Проаналізовано розрахункові та експериментальні дослідження основних причин зниження надійності при експлуатації насосів теплових і ядерних енергоустановок та умови гідродинамічної подібності експериментальних установок і натурних насосних систем теплових і ядерних енергоустановок.

На основі аналізу стану проблем запобігання гідродинамічних ударів для підвищення надійності і безпеки енергоустановок сформульовані основні завдання для їх вирішення.

В другому розділі наведені імовірнісні показники надійності теплотехнічного обладнання активних систем безпеки згідно нормативних документів НАЕК «Енергоатом», але відсутній аналіз традиційних методів моделювання надійності обладнання енергоустановок. Тому не зрозуміло, за якими показниками надійності теплотехнічного обладнання активних систем безпеки будуть в подальшому робитися дослідження.

У третьому розділі наведені результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів в розімкнутих контурах з насосами.

Наведено модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів в замкнутих контурах з насосами. Для вирішення питань верифікації розробленої іншими авторами методики використані відомі експериментальні дані інших авторів, отримані для замкнутої трубопровідної системи з поршневіми насосами. Але ж не зрозуміло, які результати верифікації і по яких параметрах вони були проведені. Не вказано відхилення експериментальних та розрахункових даних у числовому еквіваленті (відсотки або доли). Також не зрозуміла участь здобувача у верифікації.

Приведено модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при закритті арматури як наслідок аперіодичної нестійкості. У якості зауважень слід відзначити, що в математичній моделі відсутні початкові та граничні умови. Це не дозволяє застосовувати дану модель для вирішення моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при закритті арматури.

Також наведено модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах двофазних потоків. У якості зауважень слід відзначити, що в математичній моделі відсутні граничні умови.

Наведено модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при аварійному заповненні компенсатора тиску. У якості зауважень слід відзначити, що в математичній моделі відсутні початкові та граничні умови.

Чотири останніх моделі не верифіковані, тому не зрозуміло у яких межах похибок будуть отримані результати та чи можна їх застосовувати у атомній та тепловій енергетиці.

У четвертому розділі представлено результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів в розімкнутих контурах з насосами. Наведена зміна середньої швидкості потоку при тепло-гідродинамічній нестійкості з різною чутливістю напірно - витратної (мережевої) характеристики насоса при коефіцієнтах лінійної

апроксимації $\kappa_1 > \kappa_2 > \kappa_{кр}$. Але ж з тексту дисертації не зрозуміло, які інтервали зміни середньої швидкості потоку та які значення коефіцієнтів лінійної апроксимації. Також не зрозуміло, від яких параметрів залежить вигляд кривих.

Також у четвертому розділі наведено результати моделювання умов виникнення та наслідків гідродинамічних ударів в замкнутих контурах з насосами. Але ж з тексту дисертації не зрозуміло з якими експериментальними даними порівнювалася розрахункова область амплітуд коливань тиску в робочих режимах, якого значення досягають похибки при верифікації. Тому не зрозуміло, чи може застосовуватися зазначена розрахункова методика для енергетичного обладнання. Також на рис.4.2.(стор.116) не вказані змінні по осі абсцис, тому не можна проаналізувати від чього залежить відносна зміна тиску.

На стор. 116-117 не приведені результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при закритті арматури. Тому важко оцінити правильність наведених висновків (п.1 та п.2).

Результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах двофазних потоків не представлені в тексті дисертації. Не зрозуміло з тексту дисертації, як використовується наведена область значень критеріїв виникнення гідродинамічних ударів від аперіодичної нестійкості при трансзвукових течіях двофазних парорідинних потоків (на рис.4.3, стор.119) та як різні області залежать від вихідних визначальних критеріїв розрахункового моделювання K_v і $K_{п}$.

Також у розділі наведено результати виникнення і наслідки гідродинамічних ударів в компенсаторі тиску ВВЕР. Але ж при порівнянні результатів експериментальних та розрахункових досліджень за рівняннями Н.Є. Жуковського (3.59) та автора дисертації (3.76) (рис. 4.4, стор. 120) необхідно вказати числові значення розбіжностей визначення тиску, щоб можна було оцінити можливість застосування запропонованої автором формули. З рис. 4.5. Межі області гідравлічного удару в форматі визначальних критеріїв (стор.120-212) не зрозуміло, які критерії зміни умов формування і амплітуд імпульсів тиску гідравлічного удару є визначальними і в чому їх фізичний сенс.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації базується:

- на аналізі літературних джерел по даній проблемі, на коректній постановці мети і задач дослідження,
- на використанні сучасних методів дослідження, програмних продуктів та математичного апарату,
- на широкому співставленні отриманих результатів з результатами інших дослідників та даними експериментів,
- на загальноприйнятих допущеннях і обмеженнях, що є досить правомірними та забезпечують повторювальність результатів з достатньою точністю,
- на правильному формулюванні отриманих висновків.

3. Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, наукова новизна результатів дослідження.

Достовірність отриманих наукових результатів роботи забезпечувалась коректним застосуванням математичного апарату для вирішення поставлених наукових

задач, та підтверджувалась узгодженням результатів розрахункових досліджень з результатами фізичних експериментів та досліджень інших авторів, виконаних за апробованими методиками.

Наукова новизна отриманих результатів та висновків полягає в тому, що вперше запропоновано метод моделювання умов виникнення критичних по надійності гідроударів внаслідок коливальної гідродинамічної нестійкості в системах теплоенергетичного обладнання. Вперше розроблений метод визначення умов виникнення і наслідків гідродинамічного удару при закритті арматури від аперіодичної гідродинамічної нестійкості. Встановлені умови і наслідки гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах течії двофазних потоків в системах теплоенергетичного обладнання внаслідок аперіодичної теплогідродинамічної нестійкості, що враховує перехід кінетичної енергії гальмування потоку в енергію імпульсу гідродинамічного удару.

Вперше розроблено метод визначення умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів в компенсаторі тиску ядерних енергоустановок в аварійних режимах при аперіодичній нестійкості з переходом кінетичної енергії гальмування теплоносія в енергію імпульсу гідроудару.

4. Рекомендації з використання та практична значимість отриманих результатів дослідження

Практична значимість отриманих результатів дослідження полягає в тому, що розроблені методи визначення умов виникнення і наслідків гідроударів внаслідок теплогідродинамічної нестійкості можуть бути використані при проектуванні і експлуатації систем теплоенергетичного обладнання з метою підвищення їх надійності.

5. Повнота викладу матеріалів дисертації в опублікованих працях, відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності.

В опублікованих працях здобувача достатньо повно викладені основні результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи.

Основні результати дисертації представлено у 12 друкованих роботах, з яких 3 статті у спеціалізованих фахових виданнях України, що входять до переліку рекомендованих МОН, 4 статті в наукових журналах, 2 статті в зарубіжних наукових виданнях та 1 робота - матеріали конференції. З них 5 статей у Scopus, 5 статей у міжнародній реферативній базі Web of science, також є 2 монографії.

Дисертація написана відповідно до вимог до науково-технічних текстів. Висновки повністю відповідають основному змісту роботи.

Основні теоретичні положення, результати та висновки наукового дослідження доповідались автором, обговорювались та отримали позитивну оцінку на наукових семінарах та міжнародних науково-технічних конференціях: «ХІ Міжнародна науково-технічна конференція (Міжнародна Академія Холоду, г. Одеса 21-22 вересня 2017 року); VIII Міжнародна науково-практична конференція з культури безпеки АЕС (Енергоатом, Київ, 29-30 березня 2017 року); Міжнародна конференція «Сучасний підхід до здійснення науково-технічної підтримки регулювання безпеки використання ядерної енергії: компетентність, прозорість, відповідальність» (ДНТЦ ЯРБ, Київ 22-23 березня 2017 року); The 2nd International Conference on Energy Engineering and Environmental

Protection(EEEP 2017) (Guangzhou,China Dec 15-17 2017);5th Annual International Conference on Material Science and Engineering (ICMSE 2017) (Xiamen, Fujian, China October 20-22 2017); 2017 International Conference on Applied Mathematics , Measurements , Simulation and Modelling (AMMSM2017) (Sanya,China November 19-20 2017); VI заочна наукова конференція «Наукові Підсумки 2017» (м. Харків, Україна 16 листопада 2017 року);IV Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології та інтенсифікація розвитку національного виробництва» (м. Тернопіль 30 листопада 2017 року); III Міжнародна наукова конференція «Поточні проблеми енергетики, будівництва і машинобудування» (м Кельце (Польща) 23-25 листопада 2017 року); VI Міжнародна науково-практична конференція «Безпека та ефективність атомної енергетики» (з 04.09.2018 по 06.09.2018 ОНПУ); International Ukrainian – Turkey Nuclear Summer School (ONPU,Odessa-Energodar(Ukraine),13-20 July 2018); Grabchenko's International Conference on Advanced Manufacturing Processes (InterPartner-2019) (ONPU, September 10-13, 2019).

Проведена перевірка на плагіат в системі Unicheck виявила наявність схожості 15,8%, що відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт.

6. Дискусійні положення та зауваження по дисертаційній роботі і автореферату

1. Не вдало сформульований пункт новізни, а саме вперше розроблений метод визначення умов виникнення і наслідків гідродинамічного удару при закритті арматури як слідства аперіодичної гідродинамічної нестійкості. Вираз «як слідства» бажано замінити на вираз «як наслідок».

2. В першому розділі мають не наведений аналіз умов проведення експериментів на стендах насосних систем. Представлені тільки рівняння руху потоку в типовій трубопровідній системі, поточні зміни гідродинамічного напору насоса та умови гідродинамічної подібності експериментальних установок і натурних насосних систем теплових і ядерних енергоустановок.

3. В другому розділі відсутній аналіз традиційних методів моделювання надійності обладнання енергоустановок. Тому не зрозуміло, за якими показниками надійності теплотехнічного обладнання активних систем безпеки будуть в подальшому робитися дослідження.

Посилання на таб.2.3 на стор.43 бажано прибрати, тому що воно передусе посилянню на таб.2.1 та 2.2. Крім того, при описі технічних і конструкційних характеристики активних систем безпеки треба згідно вимог до оформлення дисертацій навести додатки, а саме Д1, Д2 тощо.

4. В третьому розділі при верифікації моделі умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів в замкнутих контурах з насосами не зрозуміло, які результати верифікації і по яких параметрах вони були проведені. Не вказано відхилення експериментальних та розрахункових даних у числовому еквіваленті (відсотки або доли). Також не зрозуміла участь здобувача у верифікації.

5. Не мають даних щодо граничних умов модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при закритті арматури як наслідок аперіодичної нестійкості, модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах двофазних потоків, модель умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах двофазних потоків та модель умов виникнення і наслідків

гідродинамічних ударів при аварійному заповненні компенсатора тиску. Це не дозволяє застосовувати ці моделі для вирішення практичних задач. Чотири останніх моделі не верифіковані, тому не зрозуміло у яких межах похибок будуть отримані результати та чи можна їх застосовувати у атомній та тепловій енергетиці.

6. У четвертому розділі наведена зміна середньої швидкості потоку при тепло-гідродинамічна нестійкість з різною чутливістю напірно - витратної (мережевої) характеристики насоса при коефіцієнтах лінійної апроксимації $\kappa_1 > \kappa_2 > \kappa_{кр}$ (рис.4.1). Але ж з тексту дисертації не зрозуміло, які інтервали зміни середньої швидкості потоку та які значення коефіцієнтів лінійної апроксимації. Також не зрозуміло, від яких параметрів залежить вигляд кривих, що мають різний характер зміни параметрів.

7. У четвертому розділі наведено результати моделювання умов виникнення та наслідків гідродинамічних ударів в замкнених контурах з насосами. Але ж з тексту дисертації не зрозуміло з якими експериментальними даними порівнювалася розрахункова область амплітуд коливань тиску в робочих режимах, якого значення досягають похибки при верифікації. Тому не ясно, чи може застосовуватися зазначена розрахункова методика для енергетичного обладнання. Також на рис.4.2. (стор.116) не вказані змінні по осі абсцис, тому не можна проаналізувати від чого залежить відносна зміна тиску. На стор. 116-117 не приведені результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при закритті арматури. Тому важко оцінити правильність наведених висновків (п.1 та п.2).

8. Результати моделювання умов виникнення і наслідків гідродинамічних ударів при трансзвукових режимах двофазних потоків не представлені в тексті дисертації. Не зрозуміло з тексту дисертації, як використовується наведена область значень критеріїв виникнення гідродинамічних ударів як наслідка аперіодичної нестійкості при трансзвукових течіях двофазних парорідинних потоків (на рис.4.3, стор.119) та як різні області залежать від вихідних визначальних критеріїв розрахункового моделювання K_v і K_p .

9. При порівнянні результатів експериментальних та розрахункових досліджень за рівняннями Н.Є. Жуковського (3.59) та автора дисертації (3.76) (рис. 4.4, стор. 120) необхідно вказати числові значення розбіжностей визначення тиску, щоб можна було оцінити можливість застосування запропонованої автором формули. З рис. 4.5. (стор.120-121) не зрозуміло, які критерії зміни умов формування і амплітуд імпульсів тиску гідравлічного удару є визначальними і в чому їх фізичний сенс.

Зроблені зауваження не вплинуть на загальну позитивну оцінку роботи, яка є завершеним науково-практичним дослідженням.

7. Висновок про відповідність дисертаційної роботи.

В цілому можна констатувати, що рецензована робота є закінченим науковим дослідженням, в якому отримані нові науково обґрунтовані результати, та по змісту відповідає паспорту спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Зважаючи на актуальність теми досліджень, ступінь обґрунтованості наукових результатів дисертаційної роботи, новизну та повноту викладу результатів в опублікованих працях автора, вважаю, що дисертація Пірковського Д.С. на тему: «Підвищення надійності та безпеки енергоустановок шляхом запобігання

гідродинамічних ударів» відповідає вимогам пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, що висувається до дисертації, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії (PhD) зі спеціальності 144 «Теплоенергетика».

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри теплоенергетичних
установок теплових та атомних електростанцій
Національного технічного
університету України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,

Ольга ЧЕРНОУСЕНКО

Підпис д.т.н., проф. Черноусенко О.Ю. засвідчую
Вчений секретар
Національного технічного університету
України «Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»



Валерія ХОЛЯВКО