

## ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, доцента Ромашова Юрія Володимировича на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача Петік Таї Володимирівни «Удосконалення АСУ ТП за рахунок пошуку меж використання математичних моделей урахування внутрішніх збурень ЯЕУ», представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

### **Актуальність теми.**

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю забезпечення безпечної експлуатації та стабільного виробництва енергії на ядерних енергетичних установках з ВВЕР-1000 під час перехідних процесів у реакторі. Удосконалення математичних моделей та методів оптимізації автоматизованої системи управління потужністю є важливим для точного врахування внутрішніх збурень активної зони реактора. Визначення меж використання таких моделей і оптимальних параметрів моделювання є критично важливим для досягнення балансу між точністю та часом моделювання та є актуальним науковим завданням практичного значення.

Актуальність теми також підтверджується тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень згідно планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетних НДР за темами: «Підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем управління (КІСУ) за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», НДР № 235-47 (№0123U102484) і «Розробка моделі і методу ефективного керування експлуатацією енергоустановок від поновлюваних джерел енергії для забезпечення балансу енергосистеми», НДР № 205-55 (№0122U000565).

### **Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.**

Наукову новизну теоретичних та експериментальних результатів дослідження представлено в опублікованих наукових періодичних виданнях, а саме:

1. Петік, Т. В. & Лисюк, Г. П. «Автоматична система регулювання рівня води в парогенераторі енергоблоку 1000МВт атомної електричної станції». Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019; 30 (69) Ч. 2 № 3: 7–13. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2019.3-2/02>.

2. Петік, Т. В. & Давидов, В. О. «Розробка моделі процесу зміни рівня води в парогенераторі енергоблоку 1000 МВт атомної електричної станції». Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2020; 31 (70) Ч. 2 № 1: 40–45. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.1-2/08>.

3. Petik, T., Vataman, V. & Beglov, K. “Simulation of pressurized water reactor to find the best control solution”. Energy Engineering and Control Systems. 2021; 7 (2): 126–135. DOI: <https://doi.org/10.23939/jeecs2021.02.126>.

4. Vataman, V., Petik, T. & Beglov, K. “Mathematical model and method for automated power control of a nuclear power plant”. *Electronic Modeling*. 2022; 44 (4): 28–40. DOI: <https://doi.org/10.15407/emodel.44.04.028>.

5. Beglov, K. V., Odrekhovska, Y. O., Petik, T. V. & Vataman, V. V. “A method for searching the best static program for nuclear power unit control in the event of perturbations of different nature”. *Herald of Advanced Information Technology*. 2023; 6 (2): 139–151. DOI: <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.9>.

6. Beglov, K. V., Petik, T. V. & Vataman, V. V. “Analysis of models of an automatic power control system for a pressurized water reactor in dynamic mode with a change in the static control program”. *Proceedings of Odessa Polytechnic University*. 2023; 1 (67): 60–72. DOI: <https://doi.org/10.15276/opu.1.67.2023.08>.

7. Petik, T., Lobachev, M., Yavorskyi, O. & Holey, V. “Automatic Control System for Changing the Power of a Nuclear Power Unit”. *Electrotechnic and Computer Systems*. 2023; 38 (114): 40–45. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.38.114.2023.5>.

8. Петік, Т. В. & Лобачев, М. В. «Пошук меж представлення внутрішніх збурень активної зони ВВЕР-1000 у вигляді фізико-математичної та апроксимаційної моделей». *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. 2024; 39 (115): 55–64. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.39.115.2024.6>.

Наукові результати, що опубліковані, відповідають основним науковим результатам, які представлено в роботі і до яких слід віднести наступне:

– Отримано подальший розвиток тривимірної математичної моделі активної зони ядерного реактора типу ВВЕР, яка на відміну від існуючих, реалізувала можливість розрахунку вектору керуючого впливу на основі характеристик гомогенного і гетерогенного поглиначів нейтронів, що дало змогу автоматизованого управління в реальному часі при компенсації зовнішніх збурень для підтримки сталості регулюючого параметру у вигляді електричної потужності та кількісної міри сталості реактора у вигляді аксіального офсету як міри безпеки експлуатації.

– Отримав подальший розвиток методу автоматизованого управління плановою зміною потужності ЯЕУ з ВВЕР–1000, на базі математичної моделі реактивності активної зони, за допомогою якої можна розраховувати стани керування коли немає необхідності пригнічувати збурення викликані зміною концентрації ксенону для зменшення зміни концентрації борної кислоти і тим самим підтримувати кількісну міру стабільності реактора який складається з трьох контурів керування, один з яких підтримує зміну потужності реактора за рахунок регулювання концентрації БК в теплоносії, другий підтримує необхідне значення аксіального офсету шляхом зміни положення стрижнів СУЗ, а третій температурний режим теплоносія за рахунок регулювання положення головних клапанів ТГ, який відрізняється від відомих тим що для забезпечення стабільності енерговиділення в АКЗ при зміні її потужності за нормальних умов експлуатації реактора процес керування потужності: по-перше реалізується на малому проміжку часу як зміна завдання керування потужності при стабільній поточній потужності (принцип керування по відхиленню) і по друге використання внутрішньо притаманної властивості активної зони (отруєння-розотруєння реактора) при зміні

потужності, що дозволило підтримувати сталість балансу виробництва та споживання енергії в ядерній установці.

– Вдосконалено комп'ютерну систему автоматизації АЕС з ВВЕР при зміні навантаження ядерного реактора для забезпечення стабільного і контрольованого енерговиділення по об'єму активної зони реактора за прийнятих технологічних параметрів для підтримки сталості балансу в енергетичних контурах АЕС з ВВЕР за рахунок того, що в імітаційну структурну модель додатково інтегрується уявлення межі використання апроксимаційної або фізико-математичної моделей, які в залежності від умов сталості розв'язують задачу керування, що дає можливість мінімізувати поточні зовнішні та внутрішні збурення.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.**

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі Петік Т. В. є достатньо високим й базується на детальному аналізі літературних джерел за обраною проблемою, накопиченому на протязі багатьох років практичному досвіді роботи автоматизованої системи керування АЕС з ВВЕР, мети та задач дослідження, коректному використанні сучасних методів дослідження, зіставленні та критичному аналізі отриманих результатів у порівнянні з результатами інших дослідників, якісному формулюванні отриманих висновків.

По-перше, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій доведено конкретними, застосованими методами дослідження. Для проведення і обґрунтування дисертаційного дослідження були використані: теоретичні засади формування рівнянь матеріального балансу та чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь при розробці математичної моделі реактора; методи імітаційного моделювання та теорії автоматичного керування при розробці математичної моделі реактора; числові методи аналізу та узагальнення результатів для пошуку меж використання математичних моделей урахування внутрішніх збурень ЯЕУ; апроксимація експериментальних даних для побудови спрощених моделей.

По-друге, ступінь обґрунтованості наукових положень доведено по сформульованим завданням, завдяки яким необхідно було:

– удосконалити тривимірну математичну модель активної зони ядерного реактора типу ВВЕР, для можливості розрахунку вектору керуючого впливу на основі характеристики гомогенного і гетерогенного поглиначів нейтронів;

– удосконалити метод автоматизованого управління плановою зміною потужності ЯЕУ з ВВЕР–1000, на базі математичної моделі реактивності активної зони;

– розробити схему автоматизованої системи управління для циклічного навантаження при змінні температурного поля ядерного реактора на базі різних моделей математичного уявлення, для відомих статичних програм регулювання;

– знайти межу використання представлення існуючих внутрішніх збурень активної зони у вигляді фізико-математичної або апроксимаційної моделей для використання в імітаційному моделюванні для аналізу структур керування.

**По дисертаційній роботі є наступні зауваження:**

1. У пункті 2.2.4 наведені рівняння для визначення ефектів реактивності активної зони та, зокрема, значення коефіцієнтів реактивностей. На сторінці 80 не вистачає значення коефіцієнта реактивності, що виникає внаслідок зміни концентрації ксенону.

2. На сторінках 88 та 89 бракує пояснень деяких складових наведених виразів. Пояснення зустрічається на сторінці 98.

3. Пункт 4.5 розказує про пошук меж використання представлення внутрішніх збурень активної зони, але не зрозуміло яке саме відхилення було обрано для інтеграції в моделі, що використовуються в АСУ ТП. Варто більше пояснити значення отриманих результатів.

Наведені зауваження ніяким чином не знижують високий науковий рівень роботи та її наукову і практичну цінність.

**Рівень виконання поставленого наукового завдання.**

Високий рівень поставленого наукового завдання, який полягає у розробці умов безпечної експлуатації ядерної енергетичної установки в динамічних режимах за рахунок розробки схеми автоматизованої системи управління для циклічного навантаження на базі різних моделей математичного уявлення, які застосовуються для пошуку меж використання представлення існуючих внутрішніх збурень активної зони у вигляді фізико-математичної або апроксимаційної моделей для пошуку можливих структур технічних засобів для керування.

*Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.*

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях у повній мірі відображають основні результати дослідження. Результати наукових досліджень представлено в 8 друкованих працях у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України, а також 5 тезах міжнародних конференцій.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи мають достатній часовий інтервал. В них в повному обсязі відображені наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно Постанови КМУ №44 від 12.01.2022, із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024.

*Відсутністю порушення академічної доброчесності.*

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є публікації Петік Т. В. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того Петік Т. В. дотримано вимоги академічної доброчесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism від 21.04.2024 року, що опрацьовано фахівцями кафедри Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій та членами групи

забезпечення підготовки докторів філософії по ОНП за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», які зробили висновок, що дисертаційна робота відповідає нормам академічної доброчесності. В цілому при підготовці відгуку в тексті дисертації не було знайдено порушень академічної доброчесності.

*Значимістю отриманих результатів для практичного використання.*

На основі дисертаційного дослідження можливе вдосконалення комп'ютерної системи автоматизації АЕС з ВВЕР при зміні навантаження ядерного реактора за рахунок інтеграції в імітаційну структурну модель уявлення меж використання апроксимаційної або фізико-математичної моделей, які в залежності від умов сталості розв'язують задачу керування, що дає можливість мінімізувати поточні зовнішні та внутрішні збурення.

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджено в Національному університеті «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки (ІШІР) на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» при викладанні наступних дисциплін: Автоматизація виробничих процесів; Моделювання процесів і систем; Сучасні системи керування; Оптимальні та адаптивні системи управління.

### **Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.**

Автор дисертаційної роботи Петік Тая Володимирівна на тему «Удосконалення АСУ ТП за рахунок пошуку меж використання математичних моделей урахування внутрішніх збурень ЯЕУ» оволоділа методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що доведено отриманими науковими результатами, які викладені в науковій новизні. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв'язанні мети роботи узгоджуються з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», забезпечує розвиток науково-педагогічних компетентностей майбутніх докторів філософії для проведення власного наукового дослідження та захисту дисертації за спеціальністю, оволодіння методологією наукової і викладацької роботи у наукових і вищих навчальних закладах шляхом розвитку системного мислення і особистісного творчого потенціалу, з метою набуття здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

### **Висновок**

Все перелічене дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Петік Таї Володимирівни «Удосконалення АСУ ТП за рахунок пошуку меж використання математичних моделей урахування внутрішніх збурень ЯЕУ» є закінченим самостійним науковим дослідженням, у якому отримані нові науково

обґрунтовані результати в певній галузі науки, що в сукупності розв'язують важливу наукову задачу.

Науковий рівень дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача відповідають вимогам п.п. 5, 6, 7, 8 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно з Постановою КМ України №44 від 12.01.2022, із змінами, внесеними відповідно до Постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 р., та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності розв'язують актуальну наукову задачу, яка полягає у вдосконаленні автоматизованої системи управління потужністю, яка враховує межі застосування математичних моделей, що враховують внутрішні збурення активної зони реактора.

Вважаю, що автор дисертації «Удосконалення АСУ ТП за рахунок пошуку меж використання математичних моделей урахування внутрішніх збурень ЯЕУ» Петік Тая Володимирівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування».

### **Офіційний опонент**

Доктор технічних наук, доцент,  
професор кафедри комп'ютерно-інтегрованих  
технологій автоматизації та робототехніки,  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки

Юрій РОМАШОВ