

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**доктора технічних наук, доцента**

**Козлова Олексія Валерійовича на дисертаційну роботу**

**БАТАМАН ВІКТОРІЇ ВОЛОДИМИРІВНИ**

«Удосконалена система автоматизованого керування PWR за рахунок використання апроксимаційної моделі внутрішніх збурень», яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151

«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15  
«Автоматизація та приладобудування», із зазначенням наукового рівня дисертації і наукових публікацій

### **Актуальність обраної теми.**

Дисертаційна робота присвячена питанням створення умов безпечної експлуатації ядерної енергетичної установки (ЯЕУ) в циклічних режимах навантаження. На сьогоднішній день енергосистема України не здатна повністю покривати пікові і напівпікові навантаження, у зв'язку з чим впроваджено перехідні режими роботи ЯЕУ, які дозволяють маневрувати потужністю в різні періоди часу. Адаптування системи автоматизованого керування (САК) атомною електростанцією (АЕС) з водно-водяним енергетичним реактором (ВВЕР) до нового значення потужності відбувається, безпосередньо, за допомогою оператора. Для автоматизації наведеного процесу із забезпеченням рівномірного енерговиділення в активній зоні реактора при дії збурювальних впливів з метою підвищення загальної ефективності та безпеки функціонування доцільним є удосконалення існуючої САК. Це стає можливим за рахунок розробки апроксимаційної моделі внутрішніх збурень на основі метода двовимірної ідентифікації параметрів активної зони реактора. Тому, тема дисертаційних досліджень, спрямованих на розвиток методів, моделей та удосконалення комп'ютерної системи автоматизації ЯЕУ для оптимізації її роботи у перехідних режимах, загального підвищення ефективності та зниження ризику аварії, безумовно є актуальною.

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

Окремі положення, що сформульовано у вигляді наукової новизни, разом вирішують нове наукове завдання, важливе для галузі знань, з якої представлена дисертаційна робота захищається, а саме: автоматизація та приладобудування, галузь знань – 15, за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Можна погодитися, що дана робота містить раніше незахищені наукові положення та отримані автором нові науково обґрунтовані результати. А саме:

– отримала подальший розвиток розподілена у просторі математична 3D модель активної зони ядерного реактора типу PWR, яку на відміну від інших використано в якості елемента умови автоматизованого керування в реальному часі, що дозволило розраховувати багатокоординатну взаємопов'язану поточну систему керуючого впливу, що залежить від виникаючих внутрішніх та зовнішніх збурень на температурне поле активної зони реактора, яке змінює нейтроне поле і

в подальшому дозволяє в перехідних процесах підтримувати сталість виробництва та споживання енергії між контурами установки;

- вперше запропоновано для обчислення перехідних процесів використовувати апроксимаційну модель реактивності активної зони, обчислювальний розв'язок якої дозволив використовувати штатні системи керування енергоблоку, за допомогою яких можна пригнічувати збурення, викликані зміною концентрації ксенону, і підтримувати кількісну міру стабільності реактора, що дозволяє підтримувати сталість балансу виробництва та споживання енергії в установці;

- вдосконалено комп'ютерну систему автоматизації АЕС з ВВЕР для своєчасного корегування регульованих параметрів при збільшенні чи зменшенні навантаження ядерного реактора, що забезпечує стабільне і контрольоване енерговиділення по всьому об'єму активної зони при необхідних параметрах з підтримки сталості балансу виробництва та споживання енергії в першому та другому контурі АЕС з ВВЕР за рахунок того, що в комп'ютерну імітаційну модель додатково інтегрується апроксимаційна модель, що впродовж поточної доби виконує функції для розв'язання задач керування, коефіцієнти до якої розраховуються паралельно під час експлуатації та подаються з математичної моделі в 3D представленні.

Додатково потрібно зазначити, що пункти наукової новизни теоретичних та експериментальних результатів дослідження опубліковано в наукових періодичних виданнях:

- Brunetkin O., Beglov K., Maksymov M., Baskakov V., Vataman V., Kryvda V. Designing an automated control system for changing NPU energy release compensating for arising internal disturbing factors based on their approximation model. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2022. Vol. 3, No.2 (117). P. 63-75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.258394> (Indexed in SCOPUS)

- V. Vataman, T. Petik, K. Beglov. Mathematical model and method for automated power control of a nuclear power plant. *Electronic Modeling*. 2022. V. 44. № 4, P. 28-40. <https://doi.org/10.15407/emodel.44.04.028>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)

- V. Vataman, T. Petik, K. Beglov. 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: Scientific, science and technology collected articles*. Odesa, 2023. Issue 1(67), P. 60-72. DOI: 10.15276/opu.1.67.2023.08. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)

- Petik T., Vataman V., Beglov K. Simulation of pressurized water reactor to find the best control solution. *Energy Engineering and Control Systems*. 2021. Vol. 7, No. 2. pp. 126-135. <https://doi.org/10.23939/jeecs2021.02.126>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»)

- Vataman V., Zhanko K. Implementation of the approximation model as an automated control system of the generation II reactor energy release. *Grail of Science*. 2023. Vol. 27. P. 265-269. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.041>.

- Vataman V., Zhanko C., Maksymova O. A system of automated power control during disturbances that occur inside a PWR nuclear reactor. *International Science*

Journal of Engineering & Agriculture. 2023. Vol. 2, No. 2. P. 82-89. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230203.08>.

– 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. Vol.6, No.2. P. 139-151. <https://doi.org/10.15276/hait.06.2023.9>. (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «Б»).

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень є достатньо високим, що підтверджується коректно сформульованою метою роботи, яка полягала у визначенні умов безпечної експлуатації ядерної енергетичної установки в циклічних режимах навантаження за рахунок вдосконалення методів та моделей комп'ютерної системи автоматизації керування АЕС з ВВЕР, що використовують апроксимаційну модель внутрішніх збурень активної зони, властивості якої змінюються з часом та є нелінійними.

По-перше ступінь обґрунтованості наукових положень доведено сформульованими завданнями дисертаційного дослідження:

- провести аналіз поточного стану роботи комп'ютерної системи автоматизації керування АЕС з ВВЕР при проєктних та позапроєктних ситуаціях;
- розробити математичну 3D модель ядерного реактора типу PWR, що включає в себе розподілення активної зони на елементарні комірки;
- представити метод двовимірної ідентифікації внутрішніх збурень в активній зоні PWR, які впливають на регульований параметр, внаслідок чого обчислювальний розв'язок є нелінійним результатом, що змінюється у часі та залежить від умов експлуатації;
- розробити апроксимаційну модель у вигляді передавальної функції, що відповідає результатам розв'язання системи нелінійних диференціальних рівнянь, які розраховують властивості активної зони;
- розробити модель автоматичної системи управління з базою правил для циклічного навантаження при зміні температурного поля ядерного реактора на базі взаємодії апроксимаційної і математичної 3D моделей, що забезпечує кількісну міру стійкості активної зони;
- провести верифікацію розробленої апроксимаційної моделі в якості об'єкта управління ЯЕУ.

По-друге, ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій доведено застосованими методами та моделями дослідження.

Для створення математичної моделі ЯЕУ використано числові методи розв'язку диференціальних рівнянь та теоретичні основи використання рівнянь матеріального балансу. Числові методи апроксимації експериментальних даних застосовано для побудови спрощеної нелінійної моделі ЯЕУ, придатної для прогнозування її стану в залежності від подання певних керуючих впливів. Методи теорії автоматичного керування використано для вдосконалення комп'ютерної системи автоматизації енерговиділення ЯЕУ при дії внутрішніх збурень.

### **По дисертаційній роботі є зауваження:**

1. У другому розділі математичний опис окремих структурних компонентів загальної моделі ядерного реактора, які застосовуються для моделювання кінетики реактора, ефектів реактивності, процесів енерговиділення та передачі енергії від палива до теплоносія, доцільно було б об'єднати в один підрозділ 2.2.

2. У підрозділі 3.1 зазначено, що вираз (3.4) являє собою відображення чисельного розв'язку в просторі зображень, яке записане за допомогою апроксимації Паде. Також, у підрозділі 3.2 на рисунках 3.5 (ст. 92) і 3.6 (ст. 95) представленні результати порівняння отриманих рішень за допомогою математичної моделі фізики процесів та апроксимації Паде для випадків зміни навантаження. Чому використовується саме апроксимація Паде?

3. У четвертому розділі на ст. 134-135 наведено порівняння загального значення аксіального офсету при проведенні верифікації запропонованої моделі, але не пояснюється, чи відрізняється висота занурення регулюючих стрижнів при порівнянні двох запропонованих методів (безударного перемикачання і апроксимаційної моделі), хоча в третьому розділі йде про них мова (ст. 104).

4. У тексті дисертаційної роботи зустрічаються стилістичні неточності та аббревіатури без попереднього розшифрування.

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 полягає у розробці безпечних умов експлуатації ядерної енергетичної установки в циклічних режимах навантаження за допомогою вдосконалення методів та моделей комп'ютерної САК АЕС, до яких застосовувалась апроксимаційна модель внутрішніх збурень активної зони, що побудована на основі методу двовимірної ідентифікації активної зони, а також доводиться наступними чинниками.

*Зв'язком проведених здобувачем досліджень з:*

– планами, затвердженими Міністерством освіти і науки України в Національному університеті «Одеська політехніка», та держбюджетною НДР за темою: «Підвищення ефективності КІСУ за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» (№ ДР 0123U102484).

*Відсутністю порушення академічної доброчесності.*

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності є публікації Ватаман В. В. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того, підтвердженням дотримання автором вимог академічної доброчесності є протокол програми StrikePlagiarism від 10.06.2023 року. Представлений протокол 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 відгука в тексті дисертації не було знайдено порушення академічної доброчесності.

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

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях і у повній мірі відображають основні результати дослідження. Результати наукових досягнень викладено у 10 друкованих працях, з яких 7 – у фахових виданнях України та інших держав (1 публікація – у міжнародній науково-метричній базі даних SCOPUS, 6 – у спеціалізованих наукових виданнях, рекомендованих МОН України), а також 3 – тези доповідей на міжнародних та національних конференціях.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий інтервал, протягом якого вони публікувалися, достатньо великі. У наведених роботах достатньо повно відображені основні 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 з постановою КМ України №44 від 12.01.2022, зі змінами, внесеними відповідно до постанови КМ України № 341 від 21.03.2022.

*Значимістю отриманих результатів для практичного використання.*

На підставі розроблених моделей і методів синтезовано автоматичну систему управління з базою правил енерговиділення ЯЕУ, яка підтримує кількісну міру стійкості реактора типу PWR.

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджено:

- в Обслуговуючий Кооператив «Цитадель-Сервіс», де апроксимаційні залежності прогнозують попит продукції підприємства;
- у навчальний процес кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», зокрема, при викладанні дисциплін «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування» і «Оптимальні та адаптивні системи управління».

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

Автор дисертаційної роботи на тему «Удосконалена система автоматизованого керування PWR за рахунок використання апроксимаційної моделі внутрішніх збурень» Ватаман Вікторія Володимирівна оволоділа методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що доведено отриманими науковими результатами, які викладено у науковій новизні. Методологія наукового пізнання, яку застосовано при розв'язанні основних задач у відповідності до мети роботи, узгоджується з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним, предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

### **Оцінка дисертації в цілому.**

Вважаю, що дисертаційна робота Ватаман Вікторії Володимирівни «Удосконалена система автоматизованого керування PWR за рахунок використання апроксимаційної моделі внутрішніх збурень» та наукові публікації, в яких викладено її основні результати, мають високий науковий рівень. Робота за своїм змістом та оформленням задовольняє чинним вимогам і є завершеним самостійним науковим дослідженням, в якому є нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують складну актуальну науково-технічну задачу, яка полягає у розробці умов безпечної експлуатації ядерної енергетичної установки в циклічних режимах навантаження. Розв'язання даної науково-технічної задачі можливе за рахунок удосконалення методів та моделей комп'ютерної системи автоматизації керування АЕС з ВВЕР, які використовують апроксимаційну модель внутрішніх збурень активної зони, що побудована на основі методу двовимірної ідентифікації активної зони.

Дисертаційна робота відповідає ОНП «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за спеціальністю 151».

Науковий рівень дисертаційної роботи та наукових публікацій здобувача відповідають вимогам п.п. 5-9 «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, зі змінами, внесеними відповідно до постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, оскільки наведені в роботі науково обґрунтовані результати у сукупності вирішують актуальну наукову задачу.

Вважаю, що Ватаман Вікторія Володимирівна заслуговує на присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузь знань: 15 – автоматизація та приладобудування.

### **Офіційний опонент**

Професор кафедри інтелектуальних  
інформаційних систем  
Чорноморського Національного університету  
імені Петра Могили  
доктор технічних наук, доцент

О.В. Козлов