

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету імені
В. Н. Каразіна, доктору технічних наук,
професору, заступнику директора Навчально-
наукового інституту «Українська інженерно-
педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна
Купріянову Олександру Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, викладача кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна Близниченко Олени Миколаївни на дисертаційну роботу **Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій»** подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Дисертаційна робота Дрозда В.А. присвячена актуальному науково-прикладному завданню удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій. Актуальність теми зумовлена тим, що головні циркуляційні насоси належать до критично важливого обладнання АЕС, а їх функціонування безпосередньо впливає на надійність, безпечність та ефективність роботи енергоблока.

Підвищення вимог до експлуатаційної надійності енергетичного обладнання, до рівня автоматизації технологічних процесів, до енергоефективності систем

власних потреб, а також до якості перехідних процесів у пускових та робочих режимах обумовлює необхідність поглибленого дослідження головних циркуляційних насосів як об'єктів керування. У цьому контексті удосконалення методів синтезу систем керування ГЦН є своєчасним і практично значущим завданням.

Тема дисертації відповідає сучасним напрямкам розвитку автоматизації складних електромеханогідравлічних систем та спрямована на отримання результатів, що можуть бути використані при аналізі, проєктуванні та модернізації систем керування насосним обладнанням енергетичних об'єктів.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота має завершений характер, чітку логічну структуру та послідовний виклад матеріалу. Побудова дисертації відповідає поставленій меті та сформульованим завданням дослідження.

У першому розділі розглянуто особливості роботи головних циркуляційних насосів АЕС, проаналізовано їх вплив на показники ефективності та надійності енергоблоків, структури систем керування, нормативні документи та шляхи підвищення показників якості. Другий розділ присвячено математичному моделюванню насоса, мережі, електроприводу з частотним перетворювачем, пускових режимів, роботи з гідромурфтою, а також моделюванню показників якості та втрат енергії. У третьому розділі наведено результати синтезу систем керування ГЦН, побудови лінеаризованої моделі, структурної схеми керування, розрахунку передатних функцій і постановки задачі оптимізації режимів роботи за різними критеріями якості. Четвертий розділ містить матеріали експериментальних досліджень роботи ГЦН у пускових та стаціонарних режимах, результати аналізу втрат енергії, показників якості за різними законами оптимізації, а також проєкт технічних умов.

Зміст дисертації є цілісним, а виклад матеріалу – послідовним і достатньо аргументованим. Розділи взаємопов'язані між собою та завершуються висновками, які відповідають змісту проведеного дослідження. Оформлення роботи в цілому відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційна робота відповідає сучасним науковим напрямкам у сфері кваліметрії, автоматизації, інформаційно-вимірювальних технологій, електромеханічних систем та енергозбереження. Тематика дослідження узгоджується з науково-практичними завданнями, пов'язаними з підвищенням якості систем автоматичного керування відповідальним технологічним обладнанням.

Робота має міждисциплінарний характер, оскільки поєднує методи математичного моделювання, теорії автоматичного керування, аналізу електроприводних і гідравлічних систем, а також підходи до оцінювання якості та енергетичної ефективності. Це свідчить про її відповідність профілю спеціальності та сучасним науковим вимогам.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри та відповідає пріоритетам розвитку науки і техніки у частині ресурсозберігаючих технологій. Матеріали дисертації узагальнюють результати, отримані у 2022–2025 рр. на кафедрі автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії (ННІ «УІПА» ХНУ імені В.Н. Каразіна), зокрема в межах держбюджетної НДР № ФН-21-10 «Розробка алгоритмів та структур енергозберігаючих автоматизованих систем керування нагнітальними установками нафто- та газоперекачувальних станцій».

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертаційній роботі, є достатньо обґрунтованими. Їх достовірність забезпечується системним характером дослідження, коректною постановкою задач,

використанням адекватного математичного апарату та проведенням експериментальних досліджень.

У роботі застосовано методи математичного моделювання, лінеаризації, аналізу динамічних режимів та синтезу систем автоматичного керування за показниками якості. Такий підхід є обґрунтованим з огляду на складність об'єкта дослідження та дає можливість перейти від якісного опису процесів до кількісного аналізу їх характеристик.

Позитивним є те, що автор розглянув ГЦН як складний технічний об'єкт, у якому взаємодіють насос, електропривод, система керування та гідравлічна мережа. Це дало змогу дослідити не лише стаціонарні режими, а й пускові та перехідні процеси, які мають вирішальне значення для забезпечення надійності та ефективності функціонування обладнання. Сформульовані рекомендації впливають із результатів моделювання та експериментальної перевірки, що свідчить про належний рівень їх практичної придатності.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

До основних наукових результатів, отриманих у дисертації, слід віднести:

- удосконалення підходів до оцінювання показників якості роботи головних циркуляційних насосів АЕС з урахуванням енергетичних, динамічних та експлуатаційних характеристик;
- подальший розвиток математичних моделей ГЦН, які дозволяють досліджувати їх роботу в пускових та стаціонарних режимах, а також аналізувати втрати енергії за різних способів керування;
- розробка лінеаризованої моделі ГЦН та побудову на її основі структурної схеми системи керування за показниками якості;
- постановку задачі оптимізації режимів роботи ГЦН за різними критеріями якості;
- проведення експериментальних досліджень, які підтверджують можливість практичного використання запропонованих підходів до підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному вирішенні задачі

підвищення якості систем керування ГЦН АЕС шляхом поєднання математичного моделювання, синтезу структури керування, оцінювання енергетичних втрат і порівняльного аналізу різних законів керування.

6. Дотримання академічної доброчесності

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено ознак порушення принципів академічної доброчесності. Подання матеріалу має послідовний характер, наукові результати викладено логічно, а використання положень і результатів інших авторів, судячи зі структури роботи, повинно бути відображене належним чином через систему посилань. Підстав вважати, що дисертаційна робота містить недоброчесні запозичення, немає.

7. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що вони можуть бути використані при проєктуванні, удосконаленні та модернізації систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій. Запропоновані моделі та методи дозволяють більш обґрунтовано підходити до вибору параметрів системи керування, оцінювання динамічних характеристик і визначення втрат енергії в різних режимах роботи насосного агрегату.

Отримані результати мають значення для покращення якості пускових процесів, зниження перевантажень електроприводу, зменшення амплітуди перехідних коливань і підвищення стабільності функціонування ГЦН. Їх використання потенційно сприяє підвищенню надійності насосного обладнання, зменшенню рівня динамічних навантажень та покращенню енергетичних показників роботи систем власних потреб енергоблока.

Практична цінність роботи також полягає у можливості використання її результатів для порівняльного аналізу різних способів керування, різних режимів пуску та різних підходів до оптимізації. Це створює підстави для прийняття більш обґрунтованих інженерних рішень при виборі технічних засобів та алгоритмів керування насосними агрегатами.

Крім того, результати дисертації можуть бути застосовані у навчальному

процесі під час викладання дисциплін, пов'язаних з автоматизацією технологічних процесів, електромеханічними системами, інформаційно-вимірвальними технологіями та математичним моделюванням технічних об'єктів.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Загалом дисертаційна робота заслуговує позитивної оцінки. Разом із тим у процесі її аналізу виникли окремі зауваження та питання дискусійного характеру:

1. Аналіз втрат енергії в перехідних режимах (пункт 2.6., стор. 96) є цікавим, проте недостатньо пов'язаний із ресурсними та надійнісними аспектами роботи обладнання. Для таких насосних агрегатів зниження енергетичних втрат саме по собі не є самодостатнім критерієм, якщо не показано, як це співвідноситься з механічними навантаженнями, зносом та експлуатаційною довговічністю вузлів. У поточному вигляді ця частина роботи виглядає дещо ізольованою від загальної проблеми забезпечення якості.

2. Лінеаризована модель (пункт 3.2., стор. 108), використана для задач керування, безумовно є корисним інструментом, однак у роботі бажано було б ширше показати межі її адекватності. Особливо це стосується режимів, віддалених від типової робочої точки, де поведінка реального об'єкта може істотно відрізнитися від лінеаризованого опису.

3. Аналіз показників якості ГЦН за різними законами оптимізації (пункт 4.6., стор. 144) виглядає змістовним, однак хотілося б бачити більш чітке ранжування самих законів керування за областю доцільного застосування. У теперішньому вигляді порівняння подано переважно через результати, але меншою мірою через умови, за яких кожен із підходів є методично виправданим.

4. У розділі експериментальних досліджень бракує докладнішого аналізу відтворюваності результатів. Для досліджень такого рівня важливо показати, що одержані висновки не є наслідком одиничного сценарію моделювання чи окремого набору вихідних даних, а мають стійкий характер.

5. Практична орієнтація дисертації не викликає сумнівів, однак окремі результати потребували б ширшого обговорення з точки зору можливостей їх впровадження на діючих енергоблоках. Насамперед йдеться про технологічні,

організаційні та режимні обмеження, які в реальних умовах можуть впливати на реалізацію запропонованих рішень.

6. В роботі присутні стилістичні помилки.

Зазначені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи та мають переважно рекомендаційний характер.

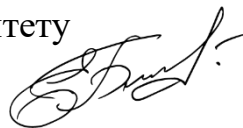
9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій» є завершеною самостійно виконаною науковою працею, у якій отримано науково обґрунтовані результати, що мають наукову новизну та практичну цінність.

За актуальністю теми, змістом, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю висновків, практичною цінністю та якістю оформлення дисертація відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та оформлена згідно з вимогами Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), а її автор, Дрозд Володимир Анатолійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

Офіційний рецензент:

Кандидат технічних наук, доцент
кафедри автоматизації, метрології
та енергоефективних технологій
Навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна



Олена БЛИЗНИЧЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 13:14:56 08.05.2026

Назва файлу з підписом: Рецензія_Близниченко О_М_ДроздВ_А_.pdf.xml

Розмір файлу з підписом: 16.8 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецензія_Близниченко О_М_ДроздВ_А_.pdf

Розмір файлу без підпису: 146.5 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Близниченко Олена Миколаївна

П.І.Б.: Близниченко Олена Миколаївна

Країна: Україна

РНОКПП: 2611000924

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 13:15:18 08.05.2026

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 514B5C86A1E5DA1104000000C2B2560022D09305

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в окремих файлах (XAdES detached)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.04.06 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету імені
В. Н. Каразіна, доктору технічних наук,
професору, заступнику директора Навчально-
наукового інституту «Українська інженерно-
педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна
Купріянову Олександровичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри агроінженерії Одеського державного аграрного університету Дядюри Костянтина Олександровича на дисертаційну роботу **Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій»** подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю 66 Інформаційно-вимірювальні технології.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Тема дисертаційної роботи є актуальною як у науковому, так і в прикладному аспектах. Головні циркуляційні насоси атомних електростанцій належать до числа ключових елементів технологічного контуру, від надійності, енергоефективності та динамічної якості функціонування яких безпосередньо залежать безпечність, стійкість і економічність роботи енергоблока в цілому. У сучасних умовах підвищення вимог до експлуатаційної надійності обладнання АЕС, зниження енерговитрат на власні потреби станції та вдосконалення автоматизованих систем керування проблема підвищення якості роботи ГЦН набуває особливого значення.

Практика експлуатації таких насосних агрегатів свідчить, що їх робота

відбувається в умовах значних динамічних навантажень, складних пускових режимів, впливу збурень з боку гідравлічної мережі та електроприводу, а також обмежень, пов'язаних із вимогами ядерної та промислової безпеки. За таких умов традиційні підходи до керування не завжди забезпечують одночасне досягнення високих показників швидкодії, точності, енергоефективності, надійності та допустимого рівня навантаження на елементи агрегату. Саме тому розроблення нових або удосконалених методів підвищення якості систем керування ГЦН АЕС є своєчасним і науково обґрунтованим завданням.

Актуальність дисертації посилюється тим, що в роботі проблема розглядається комплексно: від аналізу конструктивних, режимних і нормативних аспектів функціонування ГЦН – до математичного моделювання, синтезу систем керування та проведення експериментальних досліджень. Такий підхід відповідає сучасним тенденціям розвитку автоматизації енергетичних об'єктів і спрямований на досягнення практично значущого результату.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертаційна робота є завершеним самостійним науковим дослідженням, побудованим логічно, послідовно та цілісно. Структура дисертації відзначається внутрішньою узгодженістю й охоплює всі основні етапи наукового пошуку: від аналізу сучасного стану проблеми та нормативного забезпечення – до розробки математичних моделей, синтезу систем керування і підтвердження отриманих результатів шляхом експериментальних досліджень.

Розглянуто особливості роботи головних циркуляційних насосів АЕС, їх вплив на ефективність і надійність енергоблоків, проаналізовано структури систем керування, чинні нормативні документи та підходи до оцінювання показників якості. Другий розділ присвячено математичному моделюванню насоса, мережі, електроприводу з частотним перетворювачем, пускових режимів, роботи з гідромурфтою, а також моделюванню показників якості та втрат енергії. У третьому розділі наведено результати синтезу систем керування ГЦН, зокрема розроблення лінеаризованої моделі, структурної схеми керування, передатних функцій, постановки задачі оптимізації та побудови структури системи керування. У

четвертому розділі представлено експериментальні дослідження пускових і стаціонарних режимів, результати аналізу енергетичних втрат, показників якості та розроблення проєкту технічних умов.

Матеріал дисертації викладено на належному науковому рівні, технічно грамотно, з достатнім використанням графічних, табличних та розрахункових матеріалів. Розділи завершуються висновками, які логічно випливають зі змісту проведеного дослідження. Оформлення роботи в цілому відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційна робота відповідає сучасним напрямкам розвитку автоматизації енергетичного обладнання та узгоджується з тематикою наукових досліджень у сфері підвищення якості, надійності та енергоефективності технічних систем. Її зміст безпосередньо пов'язаний із вирішенням науково-прикладних завдань, що стосуються вдосконалення автоматизованих систем керування відповідальним насосним обладнанням енергетичних об'єктів.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри та відповідає пріоритетам розвитку науки і техніки у частині ресурсозберігаючих технологій. Матеріали дисертації узагальнюють результати, отримані у 2022–2025 рр. на кафедрі автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії (ННІ «УІПА» ХНУ імені В.Н. Каразіна), зокрема в межах держбюджетної НДР № ФН-21-10 «Розробка алгоритмів та структур енергозберігаючих автоматизованих систем керування нагнітальними установками нафто- та газоперекачувальних станцій».

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та

рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі Дрозда В.А., забезпечується системним підходом до вирішення поставленого завдання та логічною послідовністю етапів дослідження.

Наукова обґрунтованість результатів базується на:

– коректному застосуванні фундаментальних законів та методів: автор використовує класичні положення теорії автоматичного керування, методи системного аналізу, теорії гідравлічних машин та теоретичних основ електротехніки. Використання матричного апарату для опису динамічних процесів у системі «частотний перетворювач – електродвигун – насос» дозволило отримати математично строгі розв'язки задач синтезу регуляторів.

– адекватності побудованих математичних моделей: обґрунтованість моделювання підтверджується використанням апробованих фізичних констант та технічних характеристик обладнання першого контуру АЕС. Результати імітаційного моделювання перехідних процесів (пуску та регулювання ГЦН) демонструють високу кореляцію з відомими фізичними закономірностями функціонування потужних насосних агрегатів, що свідчить про адекватність обраних допущень при лінеаризації нелінійних рівнянь.

– використанні сучасних методів оптимізації: застосування чисельних методів мінімізації інтегральних критеріїв якості для пошуку параметрів АСК дозволило отримати об'єктивні результати, які не залежать від випадкових факторів. Використання комплексного показника якості забезпечує багатокритеріальну обґрунтованість рішень, де технічна ефективність узгоджується з показниками енергозбереження та надійності.

– логічній несуперечливості та послідовності викладу: основні положення роботи логічно випливають із результатів аналітичного огляду та постановки задачі. Висновки до кожного розділу та загальні висновки за роботою повною мірою відповідають результатам теоретичних та експериментальних досліджень, не містять внутрішніх суперечностей та підтверджуються даними верифікації моделей у середовищі Matlab/Simulink.

– апробації та впровадженні: достовірність рекомендацій підтверджується результатами їх обговорення на представницьких науково-технічних

конференціях, публікаціями у фахових виданнях та актами впровадження результатів роботи у навчальний процес і проектно-конструкторську діяльність, що свідчить про визнання науковою спільнотою та фахівцями галузі.

Усі наукові положення, висновки та рекомендації дисертанта є належним чином аргументованими, базуються на перевірених фактах та методах і складають цілісну наукову концепцію вдосконалення систем керування ГЦН АЕС.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Наукова новизна результатів дисертації полягає у вирішенні значущого науково-прикладного завдання — удосконалення методів аналізу та синтезу систем керування головними циркуляційними насосами (ГЦН) АЕС на основі розробки інтегральних критеріїв якості та математичного моделювання енергетичних втрат у складних електромеханічних комплексах.

Головними науковими результатами, що визначають новизну роботи, є:

– Вперше сформовано та науково обґрунтовано комплексний показник якості функціонування системи керування ГЦН, який інтегрує електротехнічні (якість струму та напруги), гідравлічні (стабільність витрати теплоносія), енергетичні (мінімізація втрат) та надійнісні характеристики. Це дозволяє відійти від вузької стабілізації одного параметра до системної оптимізації режиму роботи ГЦН як критично важливого вузла першого контуру АЕС, забезпечуючи баланс між безпекою та енергоефективністю.

– Вперше розроблено узагальнену математичну модель втрат енергії в системі «частотний перетворювач – електродвигун – насос», яка враховує неідеальність керування в перехідних та усталених режимах роботи. Новизна полягає у формалізації фізичного зв'язку між «динамічною похибкою керування» та «додатковими енергетичними втратами», що створює підґрунтя для кількісного оцінювання економічної ефективності впровадження сучасних АСК на енергоблоках АЕС.

– Удосконалено метод синтезу параметрів регуляторів АСК ГЦН на базі чисельної мінімізації розробленого комплексного показника в просторі станів. На відміну від типових налаштувань за стандартними перехідними характеристиками,

запропонований метод дозволяє враховувати специфічні обмеження атомної енергетики щодо швидкості зміни потужності та запобігання кавітаційним явищам, що підвищує робастну стійкість системи.

– Удосконалено математичні моделі ГЦН як об'єктів керування, в яких реалізовано комплексне врахування зворотних зв'язків між параметрами теплоносія (температура, тиск) та характеристиками електропривода. Це дозволило підвищити точність імітаційного моделювання на 10-15% у критичних режимах (пуск ГЦН на розхолодженій петлі, перехід на вибіг), що є важливим для верифікації алгоритмів керування в рамках систем підтримки рішень оператора АЕС.

– Набули подальшого розвитку методики багатокритеріальної оптимізації складних технічних систем шляхом розробки алгоритму адаптивного вибору вагових коефіцієнтів залежно від поточного стану енергоблока. Запропонований підхід дозволяє системі автоматично пріоритезувати показники надійності в аварійних ситуаціях та показники енергоефективності під час нормальної експлуатації.

Отримані результати у сукупності складають нову науково обґрунтовану методику підвищення якості автоматизованих систем керування відповідальним обладнанням АЕС. Новизна підтверджена публікаціями у провідних фахових виданнях та апробована на міжнародних конференціях.

6. Дотримання академічної доброчесності

За результатами ознайомлення з текстом дисертації, змістом основних положень та характером їх викладення підстав стверджувати про порушення принципів академічної доброчесності немає. Посилання на використані джерела, наукові положення та результати інших авторів, судячи зі структури роботи, мають бути оформлені належним чином. Ознак недоброчесних запозичень у межах поданих матеріалів не виявлено.

7. Практичне значення отриманих результатів

Практична цінність дисертаційної роботи Дрозда В.А. полягає у доведенні

теоретичних розробок (математичних моделей та критеріїв) до рівня прикладного інженерного інструментарію, готового до впровадження при модернізації автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП) на діючих атомних електростанціях. Основними результатами, що мають безпосереднє практичне спрямування, є:

- інженерна методика розрахунку та налаштування пристроїв м'якого пуску і частотного регулювання ГЦН. Впровадження цієї методики дозволяє проєктним та експлуатаційним організаціям обґрунтовано вибирати режими пуску потужних насосних агрегатів (понад 5 МВт). Це на практиці забезпечує зниження пускових струмів (що зменшує теплове та електродинамічне старіння ізоляції двигунів) та мінімізує гідравлічні удари в першому контурі, суттєво подовжуючи залишковий ресурс критично важливого обладнання реакторної установки;

- алгоритмічне забезпечення для систем моніторингу та керування ГЦН. Запропоновані алгоритми, орієнтовані на реалізацію в сучасних промислових логічних контролерах, перетворюють звичайну систему керування на інтелектуальну інформаційно-вимірювальну систему. Вона здатна в режимі реального часу безперервно оцінювати енергетичні втрати та автоматично коригувати керуючі впливи, що запобігає переходу насоса в неоптимальні або передаварійні (наприклад, кавітаційні) режими;

- комплекс імітаційних моделей системи «частотний перетворювач – двигун – насос». Створене програмно-модельне середовище є готовим інструментом для проведення «цифрових випробувань» (у концепції цифрових двійників – Digital Twins). Це дає змогу безпечно тестувати нові алгоритми АСК ТП, відпрацьовувати дії автоматики при скиданні навантаження або знеструмленні власних потреб без ризику втручання в роботу реального ядерного об'єкта, що є жорсткою вимогою стандартів ядерної безпеки;

- рекомендації щодо зниження витрат електроенергії на власні потреби АЕС. Оскільки головні циркуляційні насоси є одними з найпотужніших споживачів електроенергії на станції, навіть часткове підвищення точності та якості їх регулювання за рахунок запропонованих методів багатокритеріальної оптимізації трансформується у колосальний економічний ефект у масштабах річного виробітку

енергоблока-мільйонника.

Результати роботи створюють науково-технічне підґрунтя для переходу від релейно-контакторних схем керування допоміжним обладнанням АЕС до сучасних цифрових частотно-регульованих приводів із гарантованою надійністю. Практична цінність роботи підтверджена відповідними актами впровадження у виробничу практику та навчальний процес.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Позитивно оцінюючи наукову новизну та практичну значущість дисертаційної роботи Дрозда В.А., вважаю за необхідне зупинитися на наступних дискусійних положеннях та зауваженнях:

1. У розділі, присвяченому математичному моделюванню, бажано було б детальніше обґрунтувати межі застосовності лінеаризованих моделей, особливо для режимів, близьких до пускових або до суттєвої зміни навантаження. Автор при синтезі АСК ГЦН використовує лінеаризацію характеристик насоса в околі робочої точки. Оскільки головні циркуляційні насоси працюють у широкому діапазоні температур теплоносія, що впливає на його густину та в'язкість, нелінійність робочих характеристик може бути суттєвою. У роботі було б доцільно навести аналіз похибки керування при роботі системи за межами зони лінеаризації.

2. Дисертант пропонує використання частотного регулювання для потужних двигунів ГЦН (понад 5 МВт). Робота потужних частотних перетворювачів створює значні електромагнітні завади. Оскільки робота подана за спеціальністю «Інформаційно-вимірювальні технології», у ній недостатньо висвітлено методи фільтрації сигналів та забезпечення метрологічної надійності вимірювальних каналів у таких умовах.

3. У критеріях якості згадується надійність, проте не описано прямий зв'язок алгоритму керування з гідравлічними обмеженнями. Для ГЦН критично важливим є недопущення кавітації. Було б доцільно додати до структури АСК додаткові зворотні зв'язки (наприклад, за рівнем вібрації або тиском на вході), які б автоматично коригували частоту обертання при наближенні до небезпечних режимів.

4. При розрахунку комплексного показника якості використовуються вагові коефіцієнти, що визначаються експертним шляхом. Використання експертних оцінок вносить елемент суб'єктивності. Робота виграла б від наявності аналізу чутливості оптимального рішення до варіації цих коефіцієнтів, що дозволило б підтвердити стійкість запропонованих налаштувань. У роботі доцільно було б чіткіше розмежувати показники якості власне насосного агрегату та показники якості системи керування, оскільки в окремих фрагментах ці групи характеристик розглядаються спільно, без достатньо детального пояснення їх ієрархічного зв'язку.

5. Автор наводить складні математичні залежності для синтезу регуляторів, проте бракує опису їх дискретної реалізації. При впровадженні неперервних законів керування в мікропроцесорні контролери виникають питання вибору кроку квантування. Необхідно було б надати рекомендації щодо мінімальної частоти опитування датчиків для запобігання втраті стійкості цифрової системи.

6. У розділі експериментальних досліджень доцільно було б навести більш розгорнуте зіставлення результатів математичного моделювання та експерименту з кількісною оцінкою похибки для основних режимних параметрів. Для об'єктів атомної енергетики надзвичайно важливою є верифікація моделей на реальних даних. Було б цінним порівняти отримані модельні осцилограми пуску ГЦН із реальними графіками, що зафіксовані системами реєстрації діючих енергоблоків.

7. Недостатньо уваги приділено функціонуванню АСК в умовах знеструмлення власних потреб. Режим вибігу ГЦН є ключовим для безпеки реактора. Слід було б уточнити, як розроблені методи підвищення якості впливають на здатність системи забезпечувати задану інерційність вибігу для підтримки природної циркуляції.

8. Враховуючи стратегічну важливість об'єкта (АЕС), використання нових алгоритмів обробки інформації потребує аналізу їхньої захищеності від несанкціонованого втручання або програмних збоїв у рамках АСК ТП.

9. У роботі приділено значну увагу енергетичним втратам, однак бажано було б ширше показати, якою мірою мінімізація втрат узгоджується з вимогами до надійності та довговічності обладнання в реальних умовах експлуатації АЕС.

Впровадження потужних перетворювачів частоти на АЕС потребує значних витрат. Дисертація була б більш переконливою за наявності розрахунку терміну окупності системи за рахунок економії електроенергії та подовження ресурсу обладнання.

10. Щодо термінологічної точності в розділі 1. При описі вимірювальних систем спостерігається певне змішування понять «канал вимірювання» та «контур регулювання», що потребує уточнення для забезпечення однозначності сприйняття наукового тексту.

11. Аналіз системи керування ГЦН недостатньо переконливо враховує взаємодію з реакторним обладнанням як з вищим рівнем системи. У роботі є підрозділ про систему регулювання реакторного обладнання, проте зв'язок між цією системою та локальною системою керування насосом потребував значно глибшого опрацювання. Інакше існує ризик, що синтезована структура є коректною лише для ізолюваного агрегату, але не для реального технологічного контуру АЕС.

12. Попри безсумнівну практичну орієнтацію роботи, у ній доцільно було б більш детально висвітлити питання інтеграції запропонованих рішень у вже існуючі системи автоматизації енергоблоків АЕС. Для реального впровадження важливе значення мають не лише якісні характеристики алгоритмів, а й сумісність із чинною апаратною, програмною та регламентною інфраструктурою.

Зазначені зауваження та побажання не мають принципового характеру і не ставлять під сумнів основні наукові результати дисертації. Вони мають дискусійний характер і можуть бути використані автором у подальшій науковій роботі. Дисертаційна робота Дрозда В.А. відповідає встановленим вимогам, а її автор заслуговує на присудження ступеня доктора філософії..

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій» є завершеною самостійною науковою працею, у якій отримано нові науково обґрунтовані результати, що мають істотне значення для розвитку методів аналізу, моделювання та синтезу систем керування відповідальним насосним обладнанням енергетичних об'єктів.

За актуальністю теми, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю положень і висновків, практичним значенням результатів та загальним рівнем виконання дисертація відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та оформлена згідно з вимогами Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), а її автор, Дрозд Володимир Анатолійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри агроінженерії
Одеського державного аграрного
університету,
доктор технічних наук, професор

Костянтин ДЯДЮРА

ДЯДЮРА КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ

Результат перевірки підпису	Підпис вірний
П.І.Б.	ДЯДЮРА КОСТЯНТИН ОЛЕКСАНДРОВИЧ
РНОКПП	2757812253
Організація (установа)	ФІЗИЧНА ОСОБА
Код ЄДРПОУ	
Посада	
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для даних від Надавача)	07:27:08 08.05.2026
Сертифікат виданий	КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер	5E984D526F82F38F04000000A0AF19020F668D07
Тип носія особистого ключа	Захищений
Алгоритм підпису	dstu4145
Тип підпису	Кваліфікований
Формат підпису	CAAdES-T
Сертифікат	Кваліфікований

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету імені
В. Н. Каразіна, доктору технічних наук,
професору, заступнику директора Навчально-
наукового інституту «Українська інженерно-
педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна
Купріянову Олександровичу Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента, кандидата технічних наук, доцента кафедри автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Навчально-наукового інституту «Українська інженерно-педагогічна академія» Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Грінченко Ганни Сергіївни на дисертаційну роботу **Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій»** подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Тематика дисертаційної роботи Дрозда В.А. належить до кола науково-прикладних проблем, актуальність яких з плином часу не зменшується, а навпаки посилюється через зростання вимог до безпечності, надійності та енергоефективності функціонування складних енергетичних об'єктів. Головні циркуляційні насоси атомних електростанцій є не просто допоміжними агрегатами технологічного контуру, а важливими самостійними елементами, режим роботи яких безпосередньо впливає на стійкість теплогидравлічних процесів, рівень навантаження основного обладнання, а також на загальну ефективність

експлуатації енергоблока.

Складність проблеми полягає в тому, що якість функціонування ГЦН визначається не окремим параметром, а сукупністю взаємопов'язаних характеристик, до яких належать точність підтримання режиму, стійкість і швидкодія перехідних процесів, енергетичні втрати, експлуатаційна надійність, допустимість динамічних навантажень у пускових режимах, а також відповідність нормативним вимогам, що регламентують роботу відповідального обладнання атомної енергетики. За таких умов задача вдосконалення систем керування ГЦН неминуче виходить за межі звичайного параметричного налаштування регуляторів і потребує комплексного підходу, який поєднує моделювання, аналіз, синтез та експериментальну перевірку.

Саме тому обрана тема дисертаційного дослідження є своєчасною, науково значущою та практично важливою та відповідає сучасним тенденціям розвитку кваліметрії та автоматизованих систем керування енергетичним обладнанням і орієнтована на отримання результатів, здатних бути використаними не лише в теоретичній площині, а й у практиці проєктування та модернізації систем керування насосними агрегатами АЕС.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Дисертація справляє враження цілісної, послідовно вибудованої та завершені наукової праці. Її структура є логічною: від постановки проблеми та аналізу сучасного стану питання автор переходить до математичного моделювання, далі – до синтезу системи керування, а потім – до експериментальної перевірки запропонованих рішень. Така побудова відповідає класичній науковій логіці й засвідчує належний рівень методичної зрілості здобувача.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду предметної області. Автор послідовно розглядає особливості роботи головних циркуляційних насосів АЕС, їх вплив на показники ефективності та надійності енергоблоків, аналізує існуючі структури систем керування, нормативні документи та підходи до формування показників якості. Уже на цьому етапі помітним є прагнення автора розглядати об'єкт не ізольовано, а в контексті його функціонального місця в енергетичній

системі.

Другий розділ має виразно методичний характер і містить результати математичного моделювання насоса, мережі, електроприводу з частотним перетворювачем, пускових режимів, роботи з гідромурфтою, а також моделювання показників якості та енергетичних втрат. Цей розділ є одним із ключових для всієї роботи, оскільки саме тут створюється підґрунтя для подальшого синтезу системи керування.

У третьому розділі автор переходить до задач синтезу: аналізує систему регулювання реакторного обладнання, розробляє лінеаризовану модель ГЦН, формує структурну схему керування, виконує розрахунок передатних функцій і ставить задачу оптимізації режимів роботи насоса за різними критеріями якості. Логічним завершенням цього етапу є розроблення структури системи керування ГЦН.

Четвертий розділ присвячено експериментальним дослідженням. У ньому наведено результати імітаційного моделювання, дослідження пуску потужного двигуна, аналіз роботи насоса при різних способах керування, оцінювання енергетичних втрат у перехідних режимах і порівняння показників якості для різних законів оптимізації. Завершенням цього комплексу робіт є розробка проєкту технічних умов, що підсилює прикладну спрямованість дисертації.

Матеріал викладено грамотно, у науковому стилі, без суттєвих композиційних порушень. Таблиці, графіки, структурні схеми та інші ілюстративні матеріали є доречними та змістовно пов'язаними з основним текстом. Оформлення роботи відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційне дослідження органічно вписується в сучасну наукову проблематику, пов'язану з розвитком інтелектуальних та енергоефективних систем

керування складними технічними об'єктами. Його зміст узгоджується з напрямками досліджень у галузі автоматизації технологічних процесів, електромеханічних систем, насосного обладнання, інформаційно-вимірювальних технологій та якості технологічних процесів та об'єктів.

Слід підкреслити, що тематика роботи має виразний міждисциплінарний характер. У ній поєднано методи теорії кваліметрії, автоматичного керування, гідромеханіки, електропривода, математичного моделювання та аналізу енергетичних процесів. Такий характер дослідження відповідає сучасним вимогам до наукових робіт за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології, оскільки реальні інженерні системи сьогодні дедалі частіше потребують саме інтегрованих підходів до аналізу й керування.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри та відповідає пріоритетам розвитку науки і техніки у частині ресурсозберігаючих технологій. Матеріали дисертації узагальнюють результати, отримані у 2022–2025 рр. на кафедрі автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії (ННІ «УІПА» ХНУ імені В.Н. Каразіна), зокрема в межах держбюджетної НДР № ФН-21-10 «Розробка алгоритмів та структур енергозберігаючих автоматизованих систем керування нагнітальними установками нафто- та газоперекачувальних станцій».

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертаційна робота характеризується достатнім рівнем обґрунтованості наукових положень і висновків. Це забезпечується насамперед тим, що автор дотримується внутрішньо послідовної логіки дослідження: від постановки задач і аналізу джерел – до побудови моделей, синтезу системи керування та перевірки отриманих результатів. Кожен етап роботи підпорядкований загальній меті, а проміжні результати мають не ізольований, а функціонально пов'язаний характер.

Обґрунтованість положень також визначається використанням адекватного методичного інструментарію. У роботі застосовано математичне моделювання, лінеаризацію, апарат передатних функцій, принципи синтезу систем

автоматичного керування, а також експериментальні дослідження для перевірки теоретичних побудов. Такий набір методів є цілком релевантним предмету дослідження й дозволяє вважати одержані результати достатньо достовірними.

Позитивним є також те, що автор не розглядає якість роботи ГЦН вузько, лише в межах одного режиму або однієї цільової функції. Натомість дослідження охоплює як пускові, так і стаціонарні режими, аналізує енергетичні втрати, враховує динамічні характеристики та експлуатаційні обмеження. Саме це надає зробленим висновкам більшої вагомості, а рекомендаціям – практичної придатності.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

У дисертаційній роботі отримано низку результатів, які мають наукову новизну та практичну цінність.

Передусім заслуговує на увагу розвиток підходів до оцінювання показників якості головних циркуляційних насосів АЕС, коли об'єкт аналізу розглядається не лише як гідравлічний агрегат, а як складна електро-механо-гідравлічна система, для якої суттєвими є і енергетичні, і динамічні, і експлуатаційні характеристики. У такій постановці задача дослідження набуває більш повного змісту.

Науковий інтерес становить також побудова математичних моделей, що описують роботу насоса, мережі, електроприводу з частотним перетворювачем, пускових режимів і режимів керування з використанням гідромурфи. Це дозволило створити методичну основу для кількісного аналізу режимів функціонування ГЦН та пов'язаних із ними втрат енергії.

Вагомим результатом є розроблення лінеаризованої моделі ГЦН, формування структурної схеми керування за показниками якості, що у сукупності забезпечує можливість переходу від опису об'єкта до синтезу системи автоматичного керування. Окремо слід відзначити постановку задачі оптимізації режимів роботи ГЦН за різними критеріями якості, що дозволяє розглядати систему керування не лише з позицій працездатності, а й з позицій цілеспрямованого підвищення ефективності її функціонування.

Загалом наукова новизна дисертації полягає в комплексному поєднанні

моделей, критеріїв оцінювання та підходів до синтезу системи керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій з урахуванням як технологічних, так і енергетичних та динамічних аспектів їх роботи.

6. Дотримання академічної доброчесності

Під час ознайомлення з дисертаційною роботою не виявлено ознак, які давали б підстави сумніватися у дотриманні автором принципів академічної доброчесності. Структура викладу, характер аргументації, логіка подання матеріалу та індивідуалізований характер наукових результатів свідчать про самостійність виконаного дослідження. Перевірка дисертації Дрозда В.А. засвідчила відсутність ознак академічної недоброчесності. Посилання на першоджерела в роботі є коректними, навмисних запозичень та спотворень не виявлено. На основі цього можна стверджувати про відсутність порушень академічної доброчесності в дисертації..

7. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення дисертаційної роботи є істотним і полягає насамперед у тому, що розроблені в ній підходи можуть бути використані для вдосконалення систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій як на етапі проєктування, так і під час модернізації діючих технічних рішень. Ідеться не лише про уточнення параметрів окремих регуляторів, а про більш широкий рівень застосування, коли результати дисертації можуть слугувати основою для формування обґрунтованих принципів керування насосними агрегатами з урахуванням їх динаміки, енергетичних характеристик і режимних обмежень.

Практична цінність роботи зумовлена також тим, що в ній розглянуто режими, які є найбільш чутливими з позицій експлуатації обладнання, а саме пускові та перехідні процеси. Саме в цих режимах виникають підвищені електромеханічні й гідродинамічні навантаження, які можуть негативно позначатися на ресурсі насоса, електроприводу та допоміжних елементів системи. У цьому контексті запропоновані методи аналізу та керування дозволяють не лише покращити формальні показники якості регулювання, а й потенційно знизити

інтенсивність зношування обладнання, зменшити ризик перевантажувальних режимів та підвищити експлуатаційну надійність насосного агрегату.

Окремого позитивного оцінювання заслуговують результати, пов'язані з аналізом енергетичних втрат. Для енергетичних об'єктів такого типу питання власних витрат електроенергії має принципове значення, тому можливість кількісного оцінювання втрат у різних режимах роботи та за різних законів керування є важливим практичним досягненням. Запропоновані підходи можуть бути використані для вибору більш ефективних алгоритмів керування, а також для обґрунтування рішень щодо модернізації електроприводної частини насосного обладнання.

Слід також зазначити, що результати дослідження можуть бути застосовані при створенні імітаційних моделей для інженерного аналізу, перевірки режимних сценаріїв, оцінювання наслідків зміни параметрів системи та попереднього тестування рішень без втручання в реальний технологічний об'єкт. Це підвищує прикладну цінність дисертації, оскільки моделювання у складних енергетичних системах є одним із найбільш доцільних шляхів відпрацювання технічних рішень.

Крім виробничого та проєктного аспектів, робота має і навчально-методичне значення. Її результати можуть бути використані у підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальностями, пов'язаними з автоматизацією, електроприводом, метрологією та інформаційно-вимірювальними технологіями, зокрема при викладанні дисциплін з моделювання технічних систем, синтезу систем керування та енергоефективності електромеханічних комплексів.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

За загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи доцільно висловити окремі зауваження та міркування дискусійного характеру.

1. У розділі аналізу нормативного забезпечення (пункт 1.5., стор. 54) бракує більш критичного зіставлення вимог документів із реальними можливостями сучасних систем керування. Було б корисно показати не лише перелік нормативних положень, а й те, які з них фактично задають межі для впровадження запропонованих рішень.

2. Математична модель втрат енергії (формули 2.96-2.112) потребує глибшого пояснення чутливості до зміни вихідних параметрів. Для прикладного використання важливо розуміти, які саме параметри найбільше впливають на результат і як похибки в їх визначенні позначаються на висновках.

3. У роботі доцільно було б більш детально розглянути питання параметричної ідентифікації моделей. Для складного об'єкта типу ГЦН АЕС саме точність ідентифікації істотно визначає надійність подальшого синтезу системи керування, однак цьому аспекту, ймовірно, приділено менше уваги, ніж він того потребує.

4. У розділі експериментальних досліджень доцільно було б ширше висвітлити умови, за яких результати можна вважати репрезентативними. Насамперед це стосується тривалості режимів спостереження, повторюваності результатів і можливого впливу зовнішніх збурень на виміряні характеристики.

5. Оскільки робота має виразну прикладну спрямованість, доцільним було б ширше показати перспективи практичного впровадження отриманих результатів саме в умовах діючих енергоблоків, з урахуванням організаційних і технічних обмежень.

6. Загальна структура дисертації є логічною, проте окремі результати третього і четвертого розділів частково змістовно перетинаються. Через це робота місцями справляє враження, що частина висновків повторно підтверджується в суміжних підрозділах без достатнього розмежування між етапом синтезу та етапом експериментальної перевірки.

Наведені зауваження не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи, а мають переважно характер рекомендацій для подальшого розвитку виконаного дослідження.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, важливе для розвитку

методів аналізу, моделювання та синтезу систем керування складними насосними агрегатами енергетичного призначення.

Робота характеризується належним рівнем наукової новизни, обґрунтованістю положень і висновків, практичною цінністю отриманих результатів та відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та оформлена згідно з вимогами Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), а її автор, Дрозд Володимир Анатолійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

Офіційний рецензент:

Доцент кафедри автоматизації, метрології
та енергоефективних технологій
Навчально-наукового інституту
«Українська інженерно-педагогічна академія»
Харківського національного університету
імені В.Н. Каразіна,
кандидат технічних наук, доцент

Ганна ГРІНЧЕНКО

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ

створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 14:32:00 09.05.2026

Назва файлу з підписом: Рецензія_ГрінченкоГ.С._ДроздВ.А..pdf.asice

Розмір файлу з підписом: 205.1 КБ

Перевірені файли:

Назва файлу без підпису: Рецензія_ГрінченкоГ.С._ДроздВ.А..pdf

Розмір файлу без підпису: 206.7 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: Грінченко Ганна Сергіївна

П.І.Б.: Грінченко Ганна Сергіївна

Країна: Україна

РНОКПП: 3013311647

Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 14:31:49 09.05.2026

Сертифікат виданий: "Дія". Кваліфікований надавач електронних довірчих послуг

Серійний номер: 514B5C86A1E5DA11040000002B150E008B158505

Тип носія особистого ключа: ЗНКІ криптомодуль ІІТ Гряда-301

Алгоритм підпису: ДСТУ 4145

Тип підпису: Кваліфікований

Тип контейнера: Підпис та дані в архіві (розширений) (ASiC-E)

Формат підпису: З повними даними для перевірки (XAdES-B-LT)

Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.04.06 13:00

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Харківського національного університету імені
В. Н. Каразіна, доктору технічних наук,
професору, заступнику директора Навчально-
наукового інституту «Українська інженерно-
педагогічна академія» Харківського
національного університету імені В.Н. Каразіна
Купріянову Олександровичу Володимировичу
майдан Свободи 4, м. Харків, 61022

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, доцента, доцент кафедри програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій, Національного університету «Одеська політехніка» Беглова Костянтина В'ячеславовича на дисертаційну роботу **Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій»** подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-вимірювальні технології.

1. Обґрунтування вибору теми дослідження

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуального науково-прикладного завдання, що полягає в удосконаленні методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій. Актуальність теми визначається тим, що ГЦН є одним із найбільш відповідальних елементів технологічного обладнання АЕС, оскільки забезпечують циркуляцію теплоносія в головному циркуляційному контурі та, відповідно, істотно впливають на безпечність, надійність і економічність функціонування енергоблока.

Умови експлуатації головних циркуляційних насосів характеризуються значною енергоємністю, складністю електромеханічних і гідравлічних процесів,

наявністю пускових і перехідних режимів, а також високими вимогами до надійності. За таких умов питання підвищення якості систем керування не може зводитися лише до забезпечення працездатності агрегату. Воно охоплює ширше коло завдань, пов'язаних зі зменшенням втрат енергії, підвищенням стабільності динамічних процесів, зниженням механічних і теплових перевантажень, забезпеченням допустимих режимів роботи електроприводу та збереженням ресурсу обладнання.

Окремої уваги заслуговує той факт, що в дисертації проблема розглядається не фрагментарно, а як комплексне завдання, у межах якого поєднано аналіз експлуатаційних особливостей ГЦН, нормативних вимог, математичного моделювання, синтезу систем керування та експериментальних досліджень. Саме така постановка роботи свідчить про її відповідність сучасним потребам розвитку автоматизованих систем керування енергетичним обладнанням.

2. Оцінка змісту дисертації, її завершеності в цілому і оформлення

Структура дисертації є логічною, послідовною та достатньо повною для розкриття заявленої теми. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Така побудова дає змогу послідовно перейти від аналізу проблеми до отримання нових наукових і прикладних результатів.

У першому розділі дисертант здійснив аналіз роботи головних циркуляційних насосів АЕС, розглянув їх вплив на ефективність та надійність енергоблоків, систематизував підходи до побудови систем керування, а також проаналізував нормативну базу та шляхи підвищення показників якості ГЦН. Другий розділ присвячено математичному моделюванню насосного агрегату, мережі, електроприводу, пускових режимів, роботи з гідромуфтою, а також побудові моделей показників якості та енергетичних втрат. У третьому розділі подано результати синтезу систем керування, побудови лінеаризованої моделі, структурної схеми, розрахунку передатних функцій і постановки задач оптимізації. Четвертий розділ містить матеріали експериментальних досліджень, що стосуються аналізу пускових режимів, різних способів керування, енергетичних

втрат та якості функціонування ГЦН.

Дисертаційна робота є завершеною, внутрішньо узгодженою та методично витриманою. Текст викладено у науковому стилі, аргументація здебільшого є чіткою, а висновки за розділами логічно узгоджені із загальною метою дослідження. Оформлення роботи в цілому відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

3. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами

Дисертаційна робота відповідає пріоритетним напрямкам наукових досліджень у галузі кваліметрії, автоматизації, електропривода, енергозбереження та підвищення ефективності функціонування енергетичного обладнання. Тематика дослідження узгоджується з науковими завданнями, пов'язаними з удосконаленням систем автоматичного керування технічно складними об'єктами, для яких визначальними є вимоги до якості регулювання, безпеки та експлуатаційної надійності.

Виконання такої роботи має міждисциплінарний характер, оскільки поєднує методи теорії автоматичного керування, математичного моделювання, аналізу електромеханічних і гідравлічних систем, а також підходи до оцінювання показників якості, в тому числі енергоефективності. Це підтверджує належність дисертації до сучасної наукової проблематики та її практичну затребуваність.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт кафедри та відповідає пріоритетам розвитку науки і техніки у частині ресурсозберігаючих технологій. Матеріали дисертації узагальнюють результати, отримані у 2022–2025 рр. на кафедрі автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії (ННІ «УІПА» ХНУ імені В.Н. Каразіна), зокрема в межах держбюджетної НДР № ФН-21-10 «Розробка алгоритмів та структур енергозберігаючих автоматизованих систем керування нагнітальними установками нафто- та газоперекачувальних станцій».

4. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, є достатньо обґрунтованими та базуються на комплексному використанні теоретичних і експериментальних методів дослідження. Обґрунтованість результатів забезпечена послідовною постановкою задач, використанням математичних моделей, методів аналізу динамічних систем, теорії автоматичного керування та порівнянням результатів моделювання з експериментальними даними.

Позитивним є те, що автор розглянув ГЦН як складну багатокomпонентну систему, у якій взаємодіють насос, електропривод, регульовальні елементи та гідравлічна мережа. Це дозволило не лише описати окремі режими роботи, а й виявити закономірності впливу параметрів системи керування на енергетичні та динамічні показники. Важливо, що в роботі проаналізовано як стаціонарні, так і перехідні режими, зокрема пускові, які мають критичне значення для обладнання такого класу.

Достовірність отриманих результатів підвищується завдяки використанню експериментальних досліджень як інструмента перевірки запропонованих теоретичних положень. Практичні рекомендації, наведені автором, мають прикладну спрямованість і випливають із проведеного аналізу.

5. Основні наукові результати, одержані автором, та їх новизна

Серед основних результатів, отриманих у дисертаційній роботі, слід відзначити такі:

- удосконалено підходи до оцінювання показників якості роботи головних циркуляційних насосів АЕС з урахуванням не лише гідравлічних і енергетичних параметрів, а й динамічних характеристик функціонування системи керування;
- набули подальшого розвитку математичні моделі ГЦН, які забезпечують дослідження насосних агрегатів у пускових і стаціонарних режимах та дозволяють аналізувати втрати енергії за різних способів керування;

- розроблено лінеаризовану модель ГЦН і на її основі виконано синтез структури системи керування за показниками якості;
- поставлено задачу оптимізації режимів роботи ГЦН за різними критеріями якості, що створює основу для формалізованого вибору найкращих варіантів керування;
- дістали подальший розвиток методи експериментального дослідження пускових і стаціонарних режимів роботи насосів з позицій оцінювання якості та енергоефективності.

Новизна роботи полягає насамперед у комплексному підході до розв'язання задачі підвищення якості систем керування ГЦН АЕС, коли поєднуються питання математичного опису об'єкта, синтезу системи керування та оцінювання результатів за сукупністю критеріїв.

6. Дотримання академічної доброчесності

Аналіз змісту дисертації, характеру викладення матеріалу та структури подання результатів дає підстави вважати, що робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності. Наукові положення викладено послідовно, посилання на результати інших авторів мають бути подані в установленому порядку, а явних ознак некоректних запозичень у межах поданого матеріалу не виявлено.

7. Практичне значення отриманих результатів

Практичне значення дисертаційної роботи полягає в тому, що її результати можуть бути безпосередньо використані при проєктуванні, модернізації та вдосконаленні автоматизованих систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій. Розроблені математичні моделі, структурні рішення та підходи до оптимізації режимів роботи формують інструментальну основу для технічно обґрунтованого вибору параметрів системи керування, оцінювання динамічної поведінки агрегату та мінімізації енергетичних втрат у характерних режимах експлуатації.

Важливо, що практична цінність отриманих результатів не обмежується

лише аналітичним описом роботи насосного обладнання. Запропоновані в дисертації підходи можуть бути використані для підвищення якості пускових процесів, зниження перевантажень електроприводу, зменшення амплітуд перехідних коливань та скорочення часу виходу на заданий режим. Це має особливе значення для ГЦН АЕС, оскільки саме перехідні режими часто супроводжуються підвищеними механічними, тепловими та гідродинамічними навантаженнями, які впливають на надійність і довговічність обладнання.

Окремо слід відзначити прикладну цінність результатів у частині оцінювання енергетичних втрат. Отримані в роботі залежності та підходи до аналізу втрат у сталих і перехідних режимах можуть бути використані при розробленні заходів з підвищення енергоефективності систем власних потреб енергоблоків. Це дає змогу не лише покращити локальні характеристики насосного агрегату, а й позитивно вплинути на загальні техніко-економічні показники функціонування енергоблока.

Практична значущість дисертації також полягає в тому, що її результати можуть бути використані для обґрунтування вибору способу керування – зокрема при порівнянні різних законів регулювання, режимів пуску та варіантів технічної реалізації системи керування. У цьому аспекті робота є корисною для інженерів-проектувальників, фахівців з електропривода, автоматизації та експлуатації насосного обладнання, оскільки надає не лише загальні рекомендації, а й формалізований апарат для аналізу та прийняття технічних рішень з метою підвищення якості роботи ГЦН.

Крім безпосереднього інженерного застосування, результати дослідження можуть бути впроваджені в освітній процес закладів вищої освіти під час викладання дисциплін, пов'язаних із кваліметрією, системами автоматичного керування, електромеханічними системами, моделюванням технічних об'єктів та енергоефективністю технологічних процесів. Отже, практичне значення роботи є достатньо широким і охоплює як виробничу, так і навчально-методичну сфери.

8. Дискусійні положення та зауваження до змісту дисертації

Попри загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи, у процесі її аналізу виникли окремі зауваження та питання дискусійного характеру:

1. У дисертації недостатньо чітко розмежовано об'єкт дослідження і об'єкт керування. У низці розділів ГЦН розглядається то як окремий насосний агрегат, то як елемент складної системи реакторного обладнання, однак методично цей перехід не завжди обґрунтований. Через це частина висновків виглядає ширшою, ніж це прямо випливає з побудованих моделей.

2. У дисертації доцільно було б більш послідовно простежити взаємозв'язок між розділами аналізу, моделювання та синтезу. Наразі окремі положення першого розділу мають радше оглядовий характер і не завжди достатньо явно трансформуються у конкретні математичні припущення та критерії, використані в наступних розділах.

3. Під час аналізу пускових режимів (пункт 2.2., стор. 76) бажано було б приділити більше уваги кількісному зіставленню альтернативних способів пуску за узагальненими показниками якості, а не лише за окремими параметрами.

4. Лінеаризована модель ГЦН (пункт 3.2., стор 108), покладена в основу синтезу системи керування, не супроводжується достатнім аналізом меж її застосовності. Для такого об'єкта, що працює у широкому діапазоні режимів, цього недоліку не можна вважати другорядним. Без оцінки адекватності моделі за різних відхилень від робочої точки важко визнати переконливими висновки щодо якості системи керування в реальних умовах експлуатації.

5. У роботі недостатньо уваги приділено питанню невизначеності параметрів мережі та їх змінності в процесі експлуатації. Для насосних систем саме варіативність характеристик гідравлічного контуру часто є одним із визначальних чинників, що впливають на якість керування, тому ширше врахування цього аспекту посилює б прикладну значущість результатів.

6. У підрозділі, присвяченому розробці структурної схеми керування (пункт 3.6., стор.126.), варто було б ширше обґрунтувати вибір саме такої архітектури з позицій відмовостійкості та експлуатаційної надійності. Для систем, пов'язаних з обладнанням АЕС, структурні рішення мають оцінюватися не лише за динамічними показниками, а й за їх поведінкою в умовах часткових відмов або деградації окремих каналів.

7. Виходячи з отриманих під час експериментальної перевірки значень

показників якості для різних параметрів регуляторів (таблиця 4.4., стор. 147) незрозуміло чому для мінімального значення показника система визначена як неоптимальна, оскільки зазвичай кращою визнається система, для якій показник якості менший. Цей факт є наслідком нечіткого формулювання задачі оптимізації у розділі 2.5., тому що показник якості сформульований, але мінімізується він чи максимізується не визначено.

Наведені зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи.

9. Загальні висновки щодо дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Дрозда Володимира Анатолійовича «Удосконалення методів підвищення якості систем керування головними циркуляційними насосами атомних електростанцій» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що має істотне значення для розвитку методів аналізу, моделювання та синтезу систем керування складними насосними агрегатами енергетичного призначення.

За актуальністю, науковою новизною, обґрунтованістю положень і висновків, практичним значенням та рівнем оформлення дисертація відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44 (редакція від 01.01.2024 р.), та оформлена згідно з вимогами Наказу МОН України від 12.01.2017 р. № 40 (із змінами), а її автор, Дрозд Володимир Анатолійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії з галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю G6 Інформаційно-виміррювальні технології.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри програмних
і комп'ютерно-інтегрованих технологій,
Національний університет
«Одеська політехніка»,
кандидат технічних наук, доцент

Костянтин БЕГЛОВ

Онлайн сервіс створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

ПРОТОКОЛ
створення та перевірки кваліфікованого та удосконаленого електронного підпису

Дата та час: 01:00:08 10.05.2026

Назва файлу з підписом: Відгук_БелговК.В._ДроздВ.А..pdf
Розмір файлу з підписом: 241.9 КБ

Перевірені файли:
Назва файлу без підпису: Відгук_БелговК.В._ДроздВ.А..pdf
Розмір файлу без підпису: 220.7 КБ

Результат перевірки підпису: Підпис створено та перевірено успішно. Цілісність даних підтверджено

Підписувач: БЕГЛОВ КОСТЯНТИН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
П.І.Б.: БЕГЛОВ КОСТЯНТИН ВЯЧЕСЛАВОВИЧ
Країна: Україна
РНОКПП: 2718912390
Організація (установа): ФІЗИЧНА ОСОБА
Час підпису (підтверджено кваліфікованою позначкою часу для підпису від Надавача): 01:00:07
10.05.2026
Сертифікат виданий: КНЕДП АЦСК АТ КБ "ПРИВАТБАНК"
Серійний номер: 5E984D526F82F38F04000000F23C220203CF8E07
Алгоритм підпису: ДСТУ 4145
Тип підпису: Удосконалений
Тип контейнера: Підписаний PDF-файл (PAdES)
Формат підпису: З позначкою часу від ЕП (PAdES-B-T)
Сертифікат: Кваліфікований

Версія від: 2026.04.06 13:00