

ВІДЗИВ

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри "Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація "

Тимошевського Бориса Георгійовича

на дисертаційну роботу Михайленко Владислава Сергійовича

"Концепція розробки систем управління судновими пароенергетичними установками", яка представлена на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук за спеціальністю

05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Актуальність обраної теми

Незважаючи на те, що на теперішній час переважна більшість морських транспортних суден обладнанні дизельними енергетичними установками, все ж залишається певна частина транспортних суден з паротурбінними установками. Крім того, до складу судових енергетичних установок входять допоміжні, утилізаційні та технологічні паровиробні установки, які забезпечують відповідні потреби судна. Одним з важливіших елементів таких установок є парогенератор, від економічності та надійності якого залежать показники судна в цілому.

Надійна та економічна робота судових парогенераторів забезпечується системою керування, яка повинна виконувати свої функції в умовах експлуатації судна (режими навантаження, хитамиця, диферент, кліматичні умови тощо).

Незважаючи на те, що досліджень у галузі управління паровиробляючими установками, існує достатньо велика кількість, більшість цих досліджень стосується стаціонарних умов експлуатації та не висвітлює в достатній мірі проблеми, пов'язані з морськими умовами.

В цьому сенсі, безумовно, є актуальним дисертаційне дослідження Михайленко Владислава Сергійовича "Концепція розробки систем управління судновими пароенергетичними установками", яке спрямоване на створення теоретичних основ систем керування судновими паровиробляючими установками.

Актуальність обраного здобувачем напрямку досліджень також підтверджується тим, що робота виконувалась відповідно до основних положень Транспортної стратегії України на період до 2020 року", напрям досліджень, основні положення дисертаційної роботи пов'язані з низкою держбюджетних наукових робіт ОНМА теоретичного та прикладного характеру. Під час проведення цих робіт здобувач був відповідальним виконавцем та безпосередньо виконав основну частину наукових досліджень.

Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

Використання відомих теоретичних методів та засобів дослідження, послідовне вирішення проблеми та сформульованих завдань, використання в якості вихідних даних достовірної інформації, результатів досліджень провідних закордонних та вітчизняних фахівців, а також даних, отриманих особисто та за участю здобувача, детальний виклад результатів теоретичних та експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок про те, що ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків й рекомендацій дисертаційної роботи є цілком достатньою.

При виконанні роботи здобувач продемонстрував здатність ефективно вико-

ристовувати відомі методи наукових досліджень: аналіз та синтез інформації, математичне моделювання, розрахункових досліджень. Дисертаційні дослідження проводились з використанням сучасної комп'ютерної техніки.

Наукова новизна отриманих автором результатів

Наукову новизну дисертаційної роботи складає наступне.

Вперше розроблені та запропоновані:

1. Моделі фізико-хімічних процесів, що мають місце в СПУ, методи ідентифікації та адаптації системи управління до умов експлуатації, методологія створення нейромережових САУ температурою перегрітого пару, які в сукупності представляють собою нову концепцію розробки САУ СПУ, що забезпечує досягнення високих економічних та екологічних показників роботи СПУ в сталих й динамічних режимах.

2. Метод корекції коефіцієнту надлишку повітря в залежності від теплового навантаження СПУ, який дозволяє на основі контролю кольору димових газів, кольору факелу горілки і присосів повітря істотно збільшити ККД.

3. Метод розробки нейромережової системи управління процесом рециркуляції димових газів в СПУ, який дозволяє знизити вміст NO_x в димових газах за допомогою контролю витрати пари й палива.

4. Методологія розробки адаптивної нейромережової системи управління температурою перегрітого пару СПУ, яка дозволяє визначити раціональні значення показників якості перехідних процесів при роботі СПУ в сталому та динамічному режимах САУ.

5. Математичні моделі теплових та гідравлічних процесів, які відбуваються в СПУ, які дозволяють визначати раціональні параметри налаштування регуляторів в системах управління суднових головних, допоміжних, утилізаційних та комбінованих парових котлів.

6. Метод створення експертних систем у САУ тиску пара для визначення раціональних параметрів регуляторів по показникам якості процесу управління.

7. Метод нечіткої логічної ідентифікації параметрів СПУ з можливістю інтерполяції та екстраполяції значень, одержаних за допомогою математичних моделей у широкому діапазоні теплового навантаження.

Вдосконалено:

- математичні моделі фізико-хімічних процесів, що протікають в СПУ;
- методику параметричної ідентифікації на основі синтезу авторегресії;
- блочно-орієнтовану модель Вінера-Гаммерштейна для параметричної ідентифікації нелінійної характеристики;
- блочно-орієнтовану ARX модель для параметричної ідентифікації нелінійної характеристики змісту кисню у вихідних газах від теплового навантаження СПУ.

Практична значимість результатів дисертаційної роботи полягає у наступному:

Розроблена концепція, наукові принципи та практичні інженерні методики створення, налагодження та експлуатації систем управління СПУ дозволяють створювати новітні САУ, які відповідають сучасним вимогам паливної економічності, екологічної безпеки, надійності, довговічності.

Зазначені вище практичні результати дослідження впроваджені в проектно-монтажних компаніях ООО «Южспецмонтаж», ООО «Энергетические инвесторы»

та ГТЕК Ладжинської ТЕС при виконанні модернізації та пусконаладжувальних робіт котельних установок, а також – в навчальний та науковий процес ОНМА, про що свідчать акти впровадження.

Імітаційні моделі та програми в спеціалізованих середовищах й симуляторах експлуатації суднових САУ СПУ для нечітких, адаптивних ПД-контролерів та нейромережових контролерів в системах ідентифікації, автоматичного, дистанційного керування й наладки САУ також отримали впровадження в проектно-конструкторських організаціях.

Зазначене підкреслює практичну цінність дисертаційної роботи здобувача.

Особистий внесок здобувача.

Аналіз матеріалів дисертаційної роботи, публікацій, виступів з доповідями на конференціях різного рівня дає змогу стверджувати, що основні положення та результати роботи отримані здобувачем особисто. З наукових робіт, опублікованих у співавторстві, у дисертації використані тільки ті положення, які належать автору особисто.

В спільних роботах дисертанту належить: [1, 4, 8, 11, 19] – постановка проблеми та задач дослідження, проведення моделювання, розрахунок раціональних параметрів типових регуляторів; аналіз отриманих результатів дослідження; [2–6, 7, 10, 15] – аналіз проблеми, постановка задач дослідження, аналіз методів систем нечіткого виводу, розробка принципів оцінки ефективності баз знань нечітких регуляторів, проведення імітаційного моделювання, обробка та аналіз результатів; [16, 18, 22 – 30] – постановка проблеми, аналіз та розробка принципів синтезу нейромережних систем управління, розробка та розрахунок математичних моделей об'єктів управління; аналіз отриманих результатів; [32–34] – постановка задач дослідження, побудова та вибір раціональних параметрів нечітких експертних систем, вибір раціональної структури системи управління та проведення навчання нейро-нечітких мереж; аналіз отриманих результатів; [35, 36] – постановка задач дослідження, проведення етапу ідентифікації, розрахунок значень коефіцієнтів математичної моделі, моделювання системи управління; [39, 41 – 43] – постановка мети дослідження, інформаційний пошук, розробка структурних схем систем управління, аналіз методів адаптації систем нейромережового управління; проведення моделювання, аналіз отриманих результатів; [47] – постановка мети дослідження; [51, 55, 57, 59] – постановка мети й задач дослідження, навчання нейромережового регулятора, моделювання нейромережових систем управління, обробка та аналіз отриманих результатів.

Повнота викладу результатів дослідження в опублікованих працях

Основні положення та результати роботи доповідалися й обговорювалися на численних міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях, де отримали підтримку та позитивну оцінку.

Результати дисертаційного дослідження викладені в 62 публікаціях, в тому числі: 37 статей в журналах та збірниках за Переліком наукових фахових видань України; 7 статей видані в міжнародних журналах, які входять до наукометричних баз (Scopus 6 статей), Index Copernicus, Google Scholar тощо; 18 – тези в збірниках праць міжнародних та всеукраїнських конференцій. Всі основні наукові результати, що виносяться на захист опубліковані у достатньому обсязі.

В цілому, рівень та кількість публікацій, а також апробації матеріалів дисер-

тації на конференціях досить повно відображають зміст та результати дисертаційної роботи, відповідають вимогам, які ставляться до докторських дисертацій ДАК МОНУ.

Обсяг дисертаційної роботи складається з вступу, 5 розділів, висновку, переліку використаних джерел та додатків, містить 442 сторінки основного тексту (включаючи перелік літературних джерел, додатків, актів впровадження тощо), 34 таблиць, 189 рисунків, список використаних джерел, який містить 237 найменувань та додатки на 52 сторінках.

Автореферат є ідентичний за змістом основними положеннями дисертації й досить повно відображає її основні наукові результати.

У *вступі* розглянуто загальний стан проблеми, визначена необхідність досліджень в напрямку створення систем автоматичного керування судновими паровиробними установками, обґрунтована актуальність проблеми, досить вдало сформульовано мету, об'єкт, предмет, завдання дослідження та шляхи їх розв'язання. Обґрунтовано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведена інформація про апробацію роботи.

Перший розділ присвячений аналізу стану досліджень в напрямку створення наукових основ автоматизації суднових паротурбінних установок. Визначені вимоги, які ставляться до таких систем, проаналізовані сучасні методи та методики, які використовуються під час створення САК паровиробними установками. Наведений аналіз проблем та завдань, що виникають при проектуванні, налагодження та експлуатації САК СПУ. Визначені перспективні структурні схеми та джерела збурення, які впливають на роботу СПУ, наведені основні причинно-наслідкові зв'язки, які викликають проблеми при розробці, налагодження та експлуатації САУ СПУ. Автор висвітлив низку інноваційних розробок в області суднових систем управління.

В цьому ж розділі наведена гіпотеза щодо використання методів теорії штучного інтелекту, обґрунтована мета та визначена постановка завдань дослідження, структурна схема наукового дослідження (технологічна карта) та висновки по цьому розділу.

Другий розділ присвячений ідентифікації параметрів суднових парогенераторів та визначенню моделі динамічних процесів СПУ, наведено оцінку зростання міжкришталевої корозії в елементах СПУ. Показана можливість використання методу пасивної ідентифікації для об'єктів СПУ та становлено, що цей метод забезпечує достатню ступінь адекватності аналітичних моделей. Наведена система лінійних диференціальних рівнянь моделі динаміки об'єктів СПУ та перехідні характеристики по каналам "зміна витрати повітря – зміна вмісту кисню" та "зміна витрати палива – зміна вмісту кисню". В цьому ж розділі наведені численні результати математичного моделювання характеристик та параметрів роботи парогенеруючих установок, які дозволили автору зробити висновки про характеристики розгону та перехідних процесів САУ для одного з режимів роботи СПУ.

Крім того, наведені оригінальні математичні моделі теплових та гідравлічних процесів, які мають місце в СПУ, котрі дозволяють визначити раціональні налаштування параметрів регуляторів в САУ. Аналіз виконаних досліджень дозволив автору сформулювати висновки по цьому розділу.

В третьому розділі розглянуто математичне моделювання систем

автоматичного керування судновою паротурбінною установкою та виконанні дослідження нелінійних характеристик об'єктів управління, розроблений критерій експертної оцінки якості процесів САУ при проведенні пуско-налагоджувальних робіт на СПУ, наведені результати дослідження ефективності адаптивних САУ в процесах зміни теплового режиму СПУ, обґрунтовано розроблені експертні методи налагодження параметрів при зміні теплового навантаження СПУ.

В цьому ж розділі визначені недоліки використання в САУ судових енергетичних установок методів адаптації в умовах впливу випадкових зовнішніх збурень, сформульоване припущення про доцільність реалізації принципів синтезу і настройки САУ СПУ за допомогою методів теорії штучного інтелекту. Показано, що забезпечення заданої якості перехідних характеристик СПУ в динамічних режимах роботи досягається за рахунок комбінованого критерію оцінки ефективності САУ, який враховує переважну більшість впливових чинників.

Показано, що стійкість САУ СПУ в умовах значної хитавиці судна забезпечується за рахунок використання моделі хвильових коливань, що уточнює переходи системи управління в нестійкий режим роботи.

Четвертий розділ роботи присвячений розробці методів проектування систем автоматичного керування СПУ на основі теорії нечіткої логіки, наведені раціональні методи проектування системи в умовах нечіткості логічних регуляторів судових системах керування СПУ, а також нечіткості ідентифікації підсистем установки.

Приділена увага розробці експертної системи адаптації параметрів регулятора за допомогою ідентифікації показників перехідних процесів системи автоматичного керування судновою енергетичною установкою.

В цьому ж розділі наведено розроблений метод синтезу двоканального НЛК в САУ тиску пару в комбінованому паровому котлі, а також універсальну нечітку експертну систему процесу ідентифікації параметрів математичних моделей підсистем управління СПУ та метод синтезу нечіткої експертної системи налагодження системи автоматичного керування. Представлено оригінальну методику апроксимації розрахункових коефіцієнтів рівнянь динаміки параметрів суднової паровиробної установки.

У п'ятому розділі викладені результати розробки нейромережових систем автоматичного керування судновою паротурбінною установкою. Наведена методологія синтезу нейромережових САК, система моніторингу показників шкідливих викидів СПУ в атмосферу, система автоматичного управління коефіцієнтом надлишку повітря з метою зниження вмісту NO_x в димових газах СПУ.

В цьому розділі наведено також метод рециркуляції як засіб зменшення вмісту NO_x у вихлопних газах СПУ та нейромережева система автоматичного керування процесом визначення раціональної витрати палива, для деяких режимів роботи парогенератора.

В Додатках наведені 6 актів впровадження результатів дисертаційного дослідження, програма для нечіткої САУ тиском пару в СПУ, техніко-економічні показники процесу впровадження НМСАУ СПУ, приклад розрахунку параметрів настройки ПІ регулятора САУ СПУ методами теорії адаптивного управління, методика проведення пускових та налагоджувальних робіт при налаштуванні та експлуатації нейронечіткої САУ СПУ, Методика розробки нейронечітких САУ з функцією ідентифікації параметрів СПУ в процесі їх експлуатації та результати ви-

значення попереднього теплового балансу і визначення витрати палива ДПК МАС 35 з пароперегрівом.

В цілому треба зазначити, що автором виконаний досить значний обсяг досліджень спрямований на покращення техніко-економічних показників систем автоматичного керування суднових парогенеруючих установок. При дослідженнях використовувалися відомі та перевірені інструменти моделювання, аналізу та синтезу. Висновки по розділам та роботі в цілому носять обґрунтований характер, рівень та кількість публікацій, а також апробації матеріалів дисертації на конференціях досить повно відображають зміст та результати дисертаційної роботи. Аналіз роботи та публікацій автора дає змогу стверджувати про те, що дисертація є самостійно виконаною та, на погляд опонента, не містить елементів плагіату.

Анотеза є ідентичний за змістом основними положеннями дисертації й досить повно відображає її основні наукові результати.

Однак, поряд із загальною позитивною оцінкою, треба відзначити наступні зауваження по роботі.

1. Текст дисертації в певній мірі перевантажений загальними визначеннями та поясненнями, які не мають принципового характеру та легко можуть бути вилучені без шкоди для наукової та практичної цінності дослідження.

2. У визначенні практичного значення отриманих результатів вказується, що за рахунок впровадження експертних систем в етапи налагодження автоматизації котлів, а також навчання операторів та наладчиків, вдалося знизити кількість помилок дій до 25%. Однак, статистичних даних та розрахунки в роботі не наведено.

3. У другому розділі при розробці математичних моделей ряду суднових парогенераторів (головних, комбінованих та утилізаційних) автор використовував програмні тренажери з навчання операторів суднових парових котлів. Проте, визначення ступені адекватності отриманих комп'ютерних моделей підсистем управління параметрами парових котлів автор не розглядав.

4. З отриманих передавальних функцій об'єктів управління, які представлено у таблиці 2.11 на сторінці 156, автор вказує, що можна проводити додаткові дослідження, які пов'язані з визначенням технічного стану елементів СПУ. Згідно з методом технічної діагностики визначаються амплітудно-частотні та фазо-частотні характеристики, за допомогою генератора хітної частоти або генератора синусоїдальних коливань параметрів СПУ (тиску повітря, тиску пари, розрядження в топці, температура вихідних газів, тощо). Однак, не зрозуміло, як в умовах експлуатації будуть здійснюватися дані вимірювання та чи будуть температурні й шумові параметри у машинному відділенні судна впливати на їх достовірність?

5. У частинах роботи, які пов'язані з математичним моделюванням, не наведені результати перевірки адекватності та надійності розроблених моделей.

6. У розділі 2, підрозділ 2.4 "Експериментальні і аналітичні моделі..." доцільно було би зазначити, що мова йде не про фізичні, а математичні моделі.

7. У третьому розділі автором, при аналізі стійкості САУ, за основу моделі хвильових коливань, що вносять збурення, запропоновано рівняння Ван дер Поля, проте переконливих доводів на користь обраного рівняння не наведено. Доцільно було би провести порівняльний аналіз стійкості параметрів судового парогенератора для ряду інших моделей хвильових коливань при різних значеннях шкали Бофорта.

8. На стор. 186 у формулі 3.3. автором запропоновано комбінований показник якості налагодження САУ суднових парогенераторів. Наряду з тим, апробація запропонованого показника виконана тільки на одній імітаційній моделі САР тиску пари. При цьому автор залишив без уваги порівняльну характеристику запропонованого критерію з іншими відомими показниками якості САУ (ступінь загасання, показник коливань, помилка регулювання, тощо).

9. На сторінці 267 автор наводить нову емпіричну формулу (5.4) залежності оксидів азоту від експлуатаційних параметрів парогенератора. Однак, вимагає пояснення, для яких типів СПУ вона може бути використана і яка похибка отриманих розрахункових результатів?

10. На сторінці 289 автор розраховує сумарну кількість оксидів азоту з урахуванням каналу рециркуляції димових газів тільки для одного теплового навантаження – 50 % від номінального. Доцільно було би провести порівняльний аналіз розрахунків й для ряду найбільш поширених режимів роботи пароенергетичної установки.

11. На сторінці 313 (рисунок 5.45) автором запропонована нова нейромережева САУ процесом оптимізації горіння палива в паровому котлі марки Mitsubishi з додатковим контролем підсосу повітря в топку та газоповітряний тракт, а також одночасної корекції коефіцієнта надлишку повітря в залежності від кольору полум'я факела й димових газів. Однак, автор не розглянув питання: як в такому випадку будуть змінюватися втрати від хімічної, механічної неповноти згоряння палива та викиди у навколишнє середовище ?

12. При імітаційному моделюванні запропонованих методів розробки САУ парогенераторів (рис. 5.33, 5.53) в ряді моделей автор використовує одиничний стрибок, тобто імітацію миттєвого відкриття парового клапана, що в реальності відбувається, як правило, на форсованих режимах роботи, тривалість яких обмежена.

13. Автором запропонована нова методологія контролю та регулювання процесу горіння палива в топці суднового парогенератора, що підвищує його ККД за рахунок введення додаткових засобів вимірювання кольору факела пальника та кольору відхідних газів, а також присосів зовнішнього повітря в газохід. Наряду з тим не опрацьовано питання ефективності роботи навченої нейромережевої системи управління при відмові одного з зазначених засобів вимірювання.

14. У п'ятому розділі автор пропонує замість класичних ПІД-регуляторів використовувати адаптивні самонавчальні нейромережеві контролери, які використовуються на інтелектуальних судах. Проте, аспект ефективного дистанційного налагодження та експлуатації нових інтелектуальних засобів управління в складних умовах роботи автономного судна без участі екіпажу досі носить дискусійний характер та широко не випробуваний.

15. У переліку використаних джерел є чимало застарілих публікацій (пп. 2-4, 9, 15, 23-25, 28, 34, 45, 49, 57, 58, 61, 64, 73, 78, 79 тощо). Вірогідно автор знайомився з попередніми дослідженнями, але навряд користувався цими джерелами при виконанні роботи.

16. Автор вживає не зовсім прийняті терміни, такі як "фазифікація", "дефазифікація" тощо.

17. Деякі малюнки виконані у недостатній якості.

Висновок

В цілому по дисертаційній роботі Михайленко Владислава Сергійовича "Концепція розробки систем управління судновими парогенераторними установками" можна зробити наступні висновки:

1. Робота є самостійною завершеною працею, в якій вирішена наукова проблема створення наукових новітніх систем автоматичного керування парогенераторними установками, отримані нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують важливу науково-прикладну проблему **скорочення витрат палива, підвищення надійності та захисту навколишнього середовища від шкідливого впливу випускних газів.**

2. Робота повністю відповідає пп. 9, 10, 12, та 13 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань" затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567 та спеціальності **05.05.03 – двигуни та енергетичні установки по формулі спеціальності "... котра вирішує науково-технічні проблеми дослідження, проектування, конструювання, виробництва, випробувань, експлуатації та ремонту двигунів...** (на основі перетворювачів енергії різних типів: паро- і газотурбінних..."; за переліком наступних напрямків досліджень: п. 2 – "... математичне моделювання, системний аналіз і синтез термодинамічних, гідродинамічних, газодинамічних ... та інших процесів в двигунах, енергоустановках та їх елементах"; п.8 – "Розробка систем автоматичного керування (САК) двигунів та енергоустановок на усталених та перехідних режимах роботи. Теоретичні та експериментальні методи дослідження САК", п.9. "Розробка засобів, моделей, методів та методик для ідентифікації та діагностичного контролю технічного стану двигунів та енергоустановок", а її автор – **Михайленко Владислав Сергійович** – безумовно заслуговує на присудження йому наукового ступеня **доктора технічних наук.**

Офіційний опонент,
завідувач кафедри
"Двигуни внутрішнього згоряння,
установки та технічна експлуатація"
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова,
д-р техн. наук, професор

Тимошевський Б.Г.

Підпис офіційного опонента, завідувача кафедри "Двигуни внутрішнього згоряння, установки та технічна експлуатація", д-ра техн. наук, проф. Тимошевського Б.Г. засвідчую:

Проректор
з науково-педагогічної роботи
Національного університету кораблебудування
імені адмірала Макарова, д-р техн. наук, проф.



Блінцов В.С.