

ВІДГУК
офіційного опонента
на дисертаційну роботу Оганяна Ігоря Валерійовича
«Визначення технічного стану паливного регулятора турбовального двигуна за
результатами заводських випробувань»,
представлену на здобуття вченого ступеня доктора філософії
за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Дисертаційна робота присвячена детальному дослідженню одного з важливих напрямків енергетичного машинобудування, пов'язаних з створенням ефективного методу діагностування несправностей паливних регуляторів, який дозволяє отримувати достовірні імовірнісні оцінки в умовах невизначеності, а також задачі розробки методу виявлення нестійких паливних регуляторів у складі системи автоматичного керування, що мають важливе практичне значення. Їх наукова актуальність визначається тим, що питання створення таких методів затребувані на практиці, але теоретично не вирішені повною мірою, а проблеми діагностування гідравлічних систем в умовах невизначеності та обмежених даних досліджені на практиці недостатньо. Актуальне наукове завдання, що вирішується в дисертації, обґрунтована за допомогою критичного аналізу та порівняння з відомими розв'язаннями.

**1. Новизна представлених теоретичних та експериментальних
результатів проведених Здобувачем Оганяном Ігорем
Валерійовичем досліджень**

Наукові положення дисертації мають достатній рівень новизни відносно відомих раніше і створюють теоретичну основу вирішеного в дисертації наукового завдання.

Новим є основне наукове та прикладне положення дисертації а саме комплекс методів, що охоплює параметричне діагностування паливних регуляторів на усталених режимах із використанням ймовірнісних оцінок, класифікацію динамічних характеристик для виявлення агрегатів, використання яких у складі САК може привести до втрати її стійкості, та пропозиції до вхідного контролю під час ремонту за технічним станом.

Є достатньо теоретично обґрунтованими та експериментально підтвердженими наступні положення дисертації:

1. Уперше, на основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень, запропоновано метод виявлення класу паливних регуляторів, що спільно із двигуном здатні спричинити нестійку роботу системи автоматичного керування, який відрізняється від відомих застосуванням методів кластеризації до динамічних характеристик зазначених регуляторів, і забезпечує виявлення несправних регуляторів безпосередньо в умовах підприємства-виробника.

2. Уперше, на основі запропонованого підходу, розроблено новий метод параметричного діагностування гідромеханічного паливного регулятора в просторі параметрів робочого процесу, який відрізняється від відомих використанням вдосконаленої математичної моделі зазначеного регулятора та аналізом, визначених методом Байєса, ймовірностей можливих технічних станів

об'єкта, що дозволяє розпізнавати несправності регулятора на ustalених режимах роботи за наявності складу вимірюваних параметрів, характерного для заводських випробувань.

3. Набули подальшого розвитку методи моделювання гідромеханічних систем: шляхом введення характеристик елементів, що змінюються внаслідок зміни технічного стану, створення нелінійної динамічної діагностичної моделі паливного регулятора турбовального двигуна вертольота, яка забезпечує моделювання впливу несправностей на параметри робочого процесу та пропонується до використання для формування методів параметричного діагностування.

2. Наукова обґрунтованість теоретичних та експериментальних результатів проведених Здобувачем Оганяном Ігорем Валерійовичем досліджень

Мета та задачі дослідження сформульовано коректно, направлені на вирішення встановленого наукового завдання, розкриті в роботі та знайшли достатнє обґрунтування, повністю відображені у висновках. Для досягнення поставленої мети автором використано сучасні методи математичного опису складних процесів в паливних системах, моделювання та експериментальних досліджень, обробки та перетворення результатів.

Рівень наукової обґрунтованості теоретичних та експериментальних результатів проведених Здобувачем Оганяном Ігорем Валерійовичем досліджень є беззаперечно високим. Найбільш важливим показником такої обґрунтованості є значний обсяг експериментальних досліджень та критичний аналіз отриманих результатів.

У висновках наведено результати, які є важливими для теорії та практичних застосувань, містять формулювання розв'язаного наукового завдання, якісні та кількісні показники пропонованих методів, розкривають методи вирішення поставлених задач. Достовірність результатів обґрунтовується порівнянням із експериментальними даними. Одержані результати мають практичну значимість, що підтверджено впровадженням.

3. Рівень виконання поставленого наукового завдання

Дисертація містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем Оганяном Ігорем Валерійовичем досліджень, які забезпечують виконання наукового завдання побудови комплексу методів, що охоплює параметричне діагностування паливних регуляторів на ustalених режимах із використанням ймовірнісних оцінок, класифікацію динамічних характеристик для виявлення агрегатів, використання яких у складі САК може привести до втрати її стійкості, та пропозиції до вхідного контролю під час ремонту за технічним станом. Поставлене наукове завдання досягнуто в повній мірі, його виконання підтверджено обсягом виконаних наукових та експериментальних досліджень, які мають беззаперечну наукову новизну та практичну значимість, апробовані в достатньому обсязі, що має істотне значення для галузі знань 14.

4. Оволодіння Здобувачем Оганяном Ігорем Валерійовичем методологією наукової діяльності

Оволодіння Здобувачем Оганяном Ігорем Валерійовичем методологією наукової діяльності характеризується високим рівнем, що підтверджено коректним та логічним формулюванням гіпотез, обрання методів досягнення мети дослідження, відповідних програмно-алгоритмічних засобів їх реалізації, методів планування та обробки результатів натурних експериментів, поданням результатів досліджень в завершеній формі.

5. Науковий рівень дисертації і наукових публікацій

Науковий рівень дисертації і наукових публікацій є беззаперечно високим щодо вирішення поставленого важливого та актуального наукового завдання.

Науковий рівень наукових публікацій є достатнім щодо вимог до дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування

Основні положення дисертації отримані автором Оганяном Ігорем Валерійовичем особисто та розкриті в наукових працях, що підтверджується тематикою чисельних публікацій в фахових виданнях та матеріалах авторитетних міжнародних наукових конференцій.

6. Зауваження

Щодо анотації.

1. Мета роботи у вигляді «розробка методу локалізації несправностей паливного регулятора на усталених режимах роботи в просторі вимірюваних параметрів його робочого процесу, характерних для заводських випробувань, а також методу діагностичного аналізу динамічних характеристик паливного регулятора в умовах підприємства-виробника з метою визначення його схильності до нестійкої роботи в складі системи автоматичного керування» (с. 2) розподілена на два важливих науково-прикладних завдання без достатнього позначення їх взаємозв'язку. Однак в Висновках така єдність встановлена.
2. Згідно дисертації «В роботі проведений комплексний аналіз літературних джерел, присвячених діагностуванню гідравлічних систем. Виявлено, що наявні методи не забезпечують імовірнісних оцінок технічного стану та мають обмежену ефективність за умов обмежених вимірюваних параметрів. Це сформулювало наукову проблему, визначило завдання та спрямувало пошук нових діагностичних підходів.» (с. 2)
Але вказаний огляд не досить достатній для формулювання саме наукової проблеми. Саме наукову, як питання дослідження нових явищ та процесів.
3. Згідно дисертації «Розроблено нелінійну динамічну діагностичну модель паливного регулятора, яка точно відтворює гідромеханічні та механічні процеси на усталених і перехідних режимах роботи. У моделі враховано

зміну конструктивних параметрів при наявності дефектів. Виконане моделювання підтвердило відповідність результатів експериментальним даним, що гарантує адекватність моделі для подальшого використання в діагностиці» (с. 3).

Але жодна математична модель складних процесів не здатна точно відтворити такі процеси. Відповідність результатів експериментальним даним, не гарантує адекватність моделі без подання даних щодо умов експерименту, похибок та їх розподілу, зокрема мети моделювання.

Сам термін «нелінійна динамічна діагностична модель» не є загальноприйнятим та визначеним. Певно розуміється модель, яка використовується для вирішення завдань діагностики.

4. Згідно дисертації «З метою застосування математичної моделі паливного регулятора в методі параметричного діагностування, отримано лінійну діагностичну модель у вигляді матриць коефіцієнтів впливу конструктивних параметрів на параметри робочого процесу.» (с. 3).

Пропонована мета «застосування математичної моделі паливного регулятора в методі параметричного діагностування» не досить відповідає меті дослідження і достатніх обґрунтувань. Не позначено, що автор розуміє під методом параметричного діагностування.

Питання «отримано лінійну діагностичну модель у вигляді матриць коефіцієнтів впливу конструктивних параметрів на параметри робочого процесу» також потребує обґрунтування. Можливо, має на увазі незначні (але які?) відхилення від номінальних режимів.

Згідно дисертації «Для врахування нелінійності впливу низки параметрів (наприклад, жорсткості пружин, площі прохідних перерізів дроселів) застосовано підхід із формуванням набору матриць коефіцієнтів варіації, що дозволило обмежити похибку лінеаризації до 0,005%.»(с. 3).

Пропонована теза автора не досить зрозуміла. Якщо застосовується кусково-лінійна динамічна модель процесів (КЛДМ), яка досить відома, то бажано на її посилались. Щодо похибок лінеаризації таке значення не має сенсу без визначення понять. Це абсолютна чи відносна похибка, в якому діапазоні тощо.

Щодо розділів.

Розділ 1. ОГЛЯД МЕТОДІВ ПАРАМЕТРИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ АГРЕГАТИВ ГІДРАВЛІЧНИХ І ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

1. Згідно дисертації «В стандартах ISO 13374-1, ISO 13374-2 й ISO 13374-4 [14, 15, 16] встановлено ряд вимог до систем моніторингу й діагностування технічного стану обладнання. У роботах [15-17, 22] наведено перелічені нижче вимоги до алгоритмів діагностування: Точність діагностування. Якість діагностування при визначенні несправностей можна охарактеризувати двома типами похибок: хибні тривоги й пропущені несправності.» (с.40).

Але в матеріалах дослідження такі показники якості відображені недостатньо.

2. Згідно дисертації «Гідросистема складається з гідроциліндра та пропорційного клапана. ММ у просторі станів представлена системою нелінійних диференціальних рівнянь першого порядку. Вхідними параметрами $u(t)$ є тиск робочої рідини на вході та навантаження на привід. Параметрами стану $x(t)$ є тиск навантаження, переміщення та швидкість переміщення гідроциліндра, переміщення золотника пропорційного клапана» (с.43).
Але наступне рівняння (1.2) не вказує на вихідні змінні.
3. Модель Хаммерштейна (с.45), рівняння (1.3), що використано в роботі, є дискретною моделлю, на відміну від безперервної (1.2).
Не позначено вимог до інтервалу дискретизації.

Розділ 2. ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПАЛИВНОГО НАСОСА-РЕГУЛЯТОРА ТУРБОВАЛЬНОГО ДВИГУНА

1. Згідно дисертації с.70 Рис. 2.1 «Принципова схема паливного регулятора» аж ніяк не є принциповою згідно ДСТУ. Можливо вважати таку схему структурною.
2. Критичне число Рейнольдса (с.74), що прийняте 2000, не є достатньо обґрунтованим. Що найменше, потрібно встановити інтервал значень.
3. В рівнянні (2.4) не враховано момент в'язкого тертя, та не вказано, чому можливо знехтувати таким моментом.
4. Щодо тези роботи (с.72) «припущення, що гідромеханічна система складається з простих елементів із зосередженими параметрами», то таке припущення повинно бути супроводжене відповідним обґрунтуванням.
5. Згідно дисертації с.77 «Для розв'язання такої системи застосовувався вирішувач ode23t [8, 9].».
Не вказано метод обчислювального рішення. ode23t це тільки дуже спеціалізоване позначення певного програмного продукту в інтерактивному середовищі MATLAB.
6. Питання моделювання механічної системи з жорстким упором (с.77) розкрито недостатньо, оскільки не зрозуміло, яким чином «Коефіцієнт демпфування упору $\beta_{\text{упор}}$ підбирається таким чином, щоб забезпечити відсутність коливань у жорсткій системі».
Але тоді потрібно мати рішення, де з'ясовується відсутність коливань.
7. Щодо висновків розділу 2 (с.92). Теза «Виконано моделювання характерних перехідних процесів у системі. Отримані динамічні характеристики відповідають експериментальним даним, що підтверджує спроможність моделі». Певно, розуміє адекватність пропонованої моделі.

Розділ 3. РОЗРОБКА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ПАЛИВНОГО РЕГУЛЯТОРА

1. Щодо тези роботи (с.100) «Також з метою спрощення прийнято, що події, які призводять до дефектів, є незалежними» , слід вважати її недостатньо підтвердженою, оскільки розвиток одного з дефектів, можливо незначного, може призвести до розвитку іншого.
2. Щодо формули (3.2), (с.100) слід вважати її емпіричною ймовірністю, що не підтверджена кількістю діагностованих дефектів, серед яких можуть бути також однакові.
3. Щодо тези роботи (с.101) «Через відсутність більш детальної інформації про дефекти, як припущення було прийнято, що розподіл значень вектора істинних діагностичних ознак \vec{Z} у міру розвитку дефекту S_j – рівномірний», необхідно дати обґрунтування щодо теорії надійності.
4. Не зрозуміло, який сенс має питання «Оскільки завдання класифікації стану регулятора S, що розглядається в даному розділі, розв'язується в межах між несправним станом та непрацездатним станом виробу...» (с.104).
5. «Була обрана розмірність вибірки n, що дорівнює 100 елементам (с. 107), для підтвердження наданих статистичних висновків не може вважатися достатньою.

Розділ 4. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ АГРЕГАТІВ

1. В таблиці 4.1 (с.135) не наведено метрологічних характеристик вимірювальних каналів.
2. Розділ перенавантажено великою кількістю таблиць вимірювань та розрахунків, що було б доцільно подати в додатках.
3. Загалом при проведенні таких досліджень використовуються два наступні документи: Програма та Методика. На жаль, вони не наведені автором в достатній мірі.
4. Використані автором норми якості отриманих результатів не досить корелюються з існуючими ДСТУ.
5. Підрозділ 4.6 є, на мій погляд, окремим, та важливим розділом роботи, оскільки є комп'ютерною реалізацією результатів роботи.

7. Висновки

Наведені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку роботи. У цілому, дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, в якому вирішено актуальне і важливе для прикладних завдань наукове завдання, повністю відповідає спеціальності 142 Енергетичне машинобудування та вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора філософії.

Таким чином, результати, викладені в дисертаційній роботі, відповідають вимогам п.п. 6-9 "Порядку присудження ступеня доктора філософії та

скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.22 р. №44, а її автор – Оганян Ігор Валерійович – заслуговує присвоєння вченого ступеня доктора філософії.

Професор кафедри
автоматизації суднових енергетичних установок
Національного університету
«Одеська морська академія»,

доктор технічних наук, доцент Володимир МИРГОРОД

«_____» _____ 2025 р.