

## **РЕЦЕНЗІЯ**

**рецензента, к.т.н., доцента Євсеєнка О. М.**

на дисертаційну роботу **Захаренкова Дмитра Юрійовича**

### **«КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА ПРОГРАМНОГО КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОДАЧІ ПАЛИВНО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ СИЛОВИХ АГРЕГАТІВ ЗА УМОВ НЕПОВНОЇ ІНФОРМАЦІЇ»**

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії  
за спеціальністю 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

#### **1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами**

Наукові дослідження присвячено розробленню теоретичних засад та практики побудови комп'ютерних систем керування процесами подачі паливно-повітряної суміші на основі опрацювання даних непрямих вимірювань в умовах дії випадкових завад. В якості джерела вхідної інформації використано частотно-модульований сигнал швидкості обертання колінчастого валу. На основі методів теорії вимірювань та математичної статистики досліджено невизначеності апаратних засобів. Запропоновано інформаційні технології опрацювання сигналу вимірювальної інформації та моніторингу циліндрових потужностей із заданою невизначеністю та покращеною швидкодією прикладного програмного забезпечення. Розв'язання науково-прикладної задачі забезпечила економію палива, збільшила термін використання силового агрегату й скоротила витрати на профілактику, обслуговування та ремонт.

#### **2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Дисертація виконувалась пошукувачем Захаренковим Д. Ю. за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», яку впроваджено на кафедрі «Автоматика та управління в технічних системах» Національного технічного університету «ХП» (НТУ «ХП»). Наукові дослідження та розробки дисертаційної роботи також пов'язано з виконанням пошукачем двох державних науково-дослідних робіт, які виконувались

кафедрою «Інтелектуальні системи прийняття рішень» Донбаської державної машинобудівної академії та затверджено Міністерством освіти та науки України.

### **3. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Дисертація Захаренкова Д. Ю. є завершеною науковою роботою, яка містить дві анотації – українською та англійською мовами, вступ, три розділи, висновки, список літератури і додаток.

Дисертацію виконано пошукувачем у вигляді спеціально підготовленої кваліфікаційної наукової праці на правах рукопису, яка спрямована на розв'язання важливої науково-прикладної задачі – за умов дії випадкових завад невідповідність відомих апаратних засобів комп'ютерних систем опрацювання даних непрямих вимірювань потребам щодо невизначеності моніторингу розподілу циліндрових потужностей силового агрегату, а також відсутність алгоритмічного та незадовільна швидкодія прикладного програмного забезпечення.

Об'єктом досліджень є процес побудови апаратно-програмних засобів керування подачею паливо-повітряної суміші зі зворотнім зв'язком за станом циліндрових потужностей силового агрегату на основі опрацювання даних непрямих вимірювань у вигляді частотно-модульованого сигналу швидкості обертання колінчастого валу, а також за умов дії випадкових завад на компоненти комп'ютерної системи.

Предметом досліджень є математичні моделі, методи вимірювань, алгоритмічне та програмне забезпечення, структури апаратних засобів і компонент.

На основі методу безпосереднього цифрового керування та принципу замкненого керування із використанням зворотного зв'язку за станом сигналу флуктуацій швидкості обертання колінчастого валу розроблено концептуальні засади програмних рухів апаратних засобів щодо керування процесами подачі

паливо-повітряної суміші. Синхронізацію роботи комп'ютерної системи із фазою обертання колінчастого валу забезпечує сигнал верхньої мертвої точки першого циліндру. Розроблено архітектуру та запропоновано алгоритмічне забезпечення моніторингу циліндрових потужностей силового агрегату.

Проведено математичне моделювання апаратних засобів керування процесами подачі паливно-повітряної суміші. Отримано передавальну функцію апаратних засобів керування п'єзоелектричною форсункою. Комп'ютерним моделюванням у середовищі Matlab побудовано частотні характеристики апаратних засобів та методом кореневого годографу досліджено замкнену систему керування. Мінімізацією квадратичного критерію якості на основі використання еталонних моделей компонент, які мають відоме запізнення синтезовано пристрій опрацювання частотно-модульованого сигналу швидкості обертання колінчастого валу. Побудовано схему комп'ютерного моделювання сигналу флуктуацій та використанням методу моделі, яка навчається, виконано процедуру ідентифікації її параметрів. У результаті аналізу вихідного сигналу схеми встановлено, що розроблені апаратні засоби відповідають вимогам комп'ютерної системи щодо невизначеності та швидкодії.

В дисертаційній роботі пошукувачем у якості математичного апарату використано методи: системного аналізу та теорії автоматичного керування за умов неповної інформації, теорії подібності та теорії сигнальних графів, теорії ймовірності, математичної статистики та теорії випадкових процесів, теорії вимірювань, зокрема, інформаційний підхід. Також методи комп'ютерного моделювання використано при дослідженнях швидкодії та невизначеності апаратних засобів перетворення сигналів.

*Висновки* роботи висвітлюють результати теоретичних та прикладних досліджень як результат розв'язання поставлених в дисертації завдань. В цілому висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертаційного дослідження на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

*Список літератури* достатньо широко охоплює предметне поле досліджень роботи, певною мірою відбиває опрацювання автором значної

кількості технічних джерел інформації про апаратно-програмні засоби керування процесами подачі палива у циліндри силових агрегатів та відомих методів опрацювання частотно-модульованих сигналів як вітчизняних так і іноземних джерел.

#### **4. Наукова новизна одержаних результатів**

Дисертація містить наукову новизну, з найбільш суттєвих доробок роботи можна назвати:

- уперше запропоновано та науково обґрунтовано концепцію програмних рухів комп'ютерної системи щодо керування процесами подачі паливо-повітряної суміші за умов неповної інформації, відмінною ознакою якої є використання сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого валу силового агрегату при моніторингу розподілу циліндрових потужностей;

- набули подальшого розвитку теоретичні засади побудови апаратних засобів опрацювання частотно-модульованого сигналу швидкості обертання із використанням квадратичного критерію якості та математичних моделей компонент, запізнення яких відоме, за умов дії завад у вигляді лінійного випадкового процесу, що дозволило покращити їхню швидкодію;

- в якості детермінованої математичної моделі крутної схеми силового агрегату уперше запропоновано механічну систему із чотирма ступенями волі за умов врахування тертя, відмінною ознакою якої є встановлення інформаційних зв'язків між крутними моментами окремих циліндрів та сигналом вимірювальної інформації у вигляді флуктуацій швидкості обертання першої маси колінчастого валу на основі перетворення Лапласу за нульових початкових умов, методів теорії подібності та теорії сигнальних графів;

- набули подальшого розвитку методи апроксимації крутних моментів циліндрів, математичного моделювання компонент комп'ютерної системи керування фазами процесів подачі паливо-повітряної суміші на основі опрацювання даних непрямих вимірювань, структурних перетворень апаратних засобів, подання завад у вигляді лінійного випадкового процесу,

підсумовування випадкових складових завади при встановленні невизначеності компонент;

- уперше запропоновано використати метод довільних вибірок дискретних відліків сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого валу для модернізації архітектури вимірювального перетворювача на основі компенсації кінематичної невизначеності первинного перетворювача, відмінною ознакою якого є збільшення часу досліджень при суттєвому зменшенні апаратних витрат на побудову пристрою для вимірювань параметрів частотно-модульованого сигналу.

Вважаю, що дисертаційна робота Захаренкова Д. Ю. є суттєвим внеском у побудову апаратно-програмних засобів замкненого керування процесами подачі палива у циліндри двигуна на основі опрацювання даних непрямих вимірювань у вигляді частотно-модульованого сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого валу за умови дії випадкових завад.

## **5. Достовірність отриманих результатів та висновків**

Використання методів системного аналізу та теорії автоматичного керування за умов неповної інформації й дії випадкових завад при створенні концепції програмних рухів комп'ютерної системи зумовило достовірність отриманих результатів та висновків роботи. На основі сучасних методів математичного моделювання компонент та опрацювання вхідної інформації розроблено апаратно-програмні засоби, які забезпечують задані невизначеність і швидкодію. Методи теорії подібності та теорії сигнальних графів використано встановленні інформаційних зв'язків між крутними моментами та сигналом вимірювальної інформації. За допомогою методів теорії ймовірності, математичної статистики, теорії випадкових процесів та теорії вимірювань, зокрема, інформаційного підходу встановлено метрологічні характеристики апаратних засобів. Швидкодію комп'ютерної системи опрацювання даних непрямих вимірювань встановлено методами комп'ютерного моделювання.

## **6. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Дисертаційне дослідження має певну практичну цінність, оскільки на основі бази даних оптимальних кутів випередження та сучасних інформаційних технологій пошукувач розробив апаратно-програмні засоби замкненого керування процесами подачі паливо-повітряної суміші у циліндри, практичне використання яких забезпечить економію палива до 5%. Розробив методики: збору та опрацювання вхідної інформації, апроксимації крутних моментів, структурного перетворення апаратних засобів, ідентифікації параметрів математичних моделей, аналізування частотних та метрологічних характеристик апаратно-програмних засобів, комп'ютерного моделювання процесів перетворення апаратними засобами вхідних сигналів. Також Захаренков Д. Ю. розробив алгоритмічне забезпечення: оцінювання розподілу циліндрових потужностей, цифрового опрацювання сигналу миттєвої швидкості обертання колінчастого валу, комп'ютерного моделювання випадкових завод. Реалізував прикладне програмне забезпечення.

## **7. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладення наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Дисертацію виконано пошукувачем з дотримання вимог академічної доброчесності, отримані результати досліджень дають усі підстави говорити про оригінальність роботи. У тексті містяться авторські ідеї, в яких не виявлено використання ідей інших науковців без посилання на їхні роботи. Надано звіт перевірки дисертаційної роботи на плагіат **unicheck.com**.

Основні ідеї автора та результати досліджень викладено у 2 статтях в виданні, яке включено до наукометричної бази Scopus, у 2 статтях в двох збірниках категорії Б та у 3 фахових статтях. Також дисертант активно приймав участь в українських та закордонних конференціях, де була проведена апробація ідей, що викладено у дисертаційному дослідженні.

## 8. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи:

- більш чітка структуризація змісту дисертаційної роботи дозволила б більш детально її розуміти;
- в роботі здобувач не вказує, який саме тип форсунок використано в двигуні для задавання процесів подачі паливно-повітряної суміші;
- відсутні висновки за результатами аналізу замкненої системи керування процесами подачі паливно-повітряної суміші методом кореневого годографу;
- дисертант не показує обсяг вибірки дослідних даних, яку використано при отриманні формули (2.75), що ускладнює її сприйняття;
- у пп. 2.2 порівняння АФЧХ механічних каналів передавання крутних моментів, які отримано методом визначників та за допомогою теорії сигнальних графів, проведено автором шляхом порівняння графіків вихідних сигналів, отриманих у результаті комп'ютерного моделювання. Для більш переконливого сприйняття такого порівняння доцільно встановити і навести невизначеність;
- деякі рисунки виконано не в повній відповідності до існуючих правил, а також у списку літератури слабо проаналізований внесок провідних вчених з розвинутих країн світу.

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Проблематика даного дисертаційного дослідження вимагає подальшої розробки в напрямку використання методів кореляційного аналізу для опрацювання сигналу вимірювальної інформації.

## 9. Висновок

Дисертаційна робота пошукувача Захаренкова Д. Ю. є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить достатньо обґрунтовані наукові результати, має наукову новизну та надає добрі перспективи для подальших досліджень. Тема дослідження відповідає галузі знань 15 – Автоматика та приладобудування та спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. Виконана на високому науковому рівні з використанням сучасних методів дослідження та можливостей програмних середовищ

обчислювальної техніки. Наукові положення підтверджуються дослідними даними, що свідчить про достовірність одержаних результатів.

Таким чином, враховуючи актуальність теми, отримані результати та певну практичну значущість вважаю, що дисертаційна робота Захаренкова Дмитра Юрійовича «Комп'ютерна система програмного керування процесами подачі паливно-повітряної суміші силових агрегатів за умов неповної інформації» відповідає вимогам 6, 7, 8, 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціальної вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» від 12.01.2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації МОН України від 12.01.2017 № 40, а сам автор, Захаренков Дмитро Юрійович, заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Другий рецензент, доцент  
кафедри автоматики та  
управління в технічних системах  
НТУ «ХПІ», кандидат технічних  
наук, доцент

Посада, науковий ступінь, вчене звання

*Елсан*  
підпис

Олег ЄВСЕЄНКО

ПІБ

«05» квітня 2023 р.

Підпис *Ольга Євсєєнко*  
ЗАСВІДЧУЮ:  
ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
НАЦІОНАЛЬНОГО-ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"  
*Ольга Євсєєнко*  
"05" квітня 2023

