

**ВІДГУК**  
офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Вербовського Олексія Валерійовича  
„Вибір і обґрунтування параметрів мікропроцесорної системи автоматичного  
регулювання частоти обертання дизеля”,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Дисертаційну роботу виконано у Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Київ. Дослідження присвячене покращенню економічних та експлуатаційних показників роботи автомобільного дизеля шляхом його обладнання електронним всережимним регулятором непрямої дії з реалізацією ПД-регулювання. Дисертація складається зі вступу, п'ятьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, шістьох додатків.

### **Актуальність обраної теми**

На цей час є загальновідомими та набувають все більш широкого використання електронні системи керування паливоподачею дизелів. Саме такі системи, основу яких складає електронний блок керування, дозволяють оптимізувати величину циклової подачі палива у залежності від режиму, поточного техничного стану та умов роботи двигуна. Слід відзначити, що однією з основних переваг електронного регулятора є можливість простої реалізації в його алгоритмі пропорційно-інтегрально-диференційного (ПД) регулювання, що дозволяє не тільки покращити, а й оптимізувати якість перехідних процесів. При чому, така оптимізація може бути виконана для всього поля можливих статичних режимів роботи двигуна. Таким чином, впровадження електроніки дозволяє створити адаптивні системи керування. Зважаючи саме на це, актуальність теми дисертації може бути пояснена спробою реалізації такої адаптивної системи керування транспортним дизелем на основі вибору раціональних, в залежності від швидкісного та навантажувального режимів роботи двигуна, коефіцієнтів алгоритму ПД-регулятора.

### **Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації є високою і базується на такому.**

Має місце узгоджена постановка мети і задач дослідження. Досягнення зазначененої мети дослідження дозволило поліпшити паливну економічність й експлуатаційну керованість автотракторного дизеля. Задачі, вирішені в дисертації, в цілому відповідають поставленій меті. У першу чергу, це базова задача з проведення розрахункових та моторних досліджень роботи електронної системи автоматичного регулювання частоти обертання колінчастого валу (САРЧ) транспортного дизеля у всьому полі режимів його роботи.

Взаємозв'язок теоретичної, дослідницької й аналітичної частин дисертації має місце.

Автором вивчені й критично проаналізовані відомі методи, принципи



та конструктивні рішення з використання електронних систем регулювання та керування транспортних дизелів.

Проведені теоретичні дослідження, які базуються на математичних моделях та методиках розрахунків, створених з застосуванням сучасного математичного апарату й при використанні фундаментальних рівнянь гідродинаміки, механіки, електротехніки тощо.

Всі теоретичні положення та виводи підкріплені результатами експериментальних досліджень шляхом як безмоторних випробувань системи паливоподачі високого тиску, так і моторних випробувань (у тому числі – стендових та експлуатаційних) дизеля, обладнаного дослідною системою керування.

**Достовірність результатів досліджень** забезпечена коректністю постановок математичних завдань, застосуванням сучасних процедур математичного аналізу і методів математичної фізики, відповідністю змісту математичних конструкцій фізичній суті процесів, які описуються. Математичний апарат дисертантом використаний доволі грамотно.

Наукові результати теоретичних досліджень здобувача успішно використані для практичного доведення алгоритму електронного ПІД-регулятора шляхом вибору його раціональних параметрів (коєфіцієнтів), що підтверджується експериментальними даними, отриманими в роботі.

Достовірність експериментальних даних, в свою чергу, забезпечується використанням сучасних засобів і методик проведення випробувань.

**У якості нових наукових результатів** дисертантом висунуті такі положення:

- вперше обґрунтовано, що для якісного налаштування ПІД-регулятора слід враховувати вібраційні процеси корпусу двигуна, які мають місце під час його роботи;
- вперше отримані результати, які доводять наявність впливу вібрації корпусу двигуна різної амплітуди та частоти на якість динамічних процесів і паливну економічність автотракторного дизеля з електронним ПІД-регулятором;
- отримала подальший розвиток математична модель автотракторного дизеля з електронною всережимною САРЧ за рахунок:

введення у методику розрахунку диференційного рівняння електромеханічного виконуючого механізму;

вдосконалення методики розрахунку потрібної циклової подачі палива рівноважного режиму;

застосування запропонованого автором комплексного корегувального коєфіцієнту ПІД-регулятора.

У цілому, отримані автором результати є новим науковим знанням у галузі двигунобудування та, зокрема, стосовно систем автоматичного регулювання дизелів.

**Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання** полягає в тому, що розроблені здобувачем математичні моделі та методики дають можливість виконати обґрунтований вибір раціональних значень параметрів ПД-регулятора для всережимної електронної САРЧ автотракторного дизеля з наддувом і розділеною системою паливоподачі високого тиску. Це є теоретичною основою для проектування нових систем керування дизелів.

Практичною цінністю роботи є:

математична модель транспортного дизеля з електронною всережимною САРЧ;

алгоритм роботи електронної всережимної САРЧ транспортного дизеля з електромеханічним виконавчим механізмом;

результати та практичні рекомендації, отримані як при моделюванні, так і при експериментальних дослідженнях, щодо налаштування раціональних параметрів ПД-регулятора з урахуванням вібрацій корпусу двигуна.

Значимість результатів для практичного використання підтверджено двома актами впровадження, які додаються до дисертації.

### **Повнота викладення основних наукових положень і результатів в опублікованих роботах**

Основні положення і результати дисертаційної роботи опубліковані в 20-ти наукових працях, в тому числі у 10-ти статтях у наукових фахових виданнях України, у 2-х в іноземних виданнях, 2-х працях таких, які є матеріалами наукових конференцій. За результатами роботи отримано Свідоцтво про авторські права на твір. Слід зробити висновок, що повнота, рівень і кількість публікацій, а також апробації матеріалів відповідають чинним вимогам до дисертацій.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації та достатньо повно відображає сформульовані в ній основні наукові результати, що отримані здобувачем

Сама дисертаційна робота О.В. Вербовського і його публікації свідчать про високу наукову ерудицію автора, який має досвід теоретичного та практичного дослідження й розробки конструкцій та систем автоматичного регулювання двигунів внутрішнього згоряння.

### **Оцінка змісту дисертації**

Повний обсяг дисертаційної роботи складає 156 сторінок та включає: 80 ілюстрацій (з них 11 – на окремих сторінках), 13 таблиць за текстом, 6 додатків на 12 сторінках, бібліографію – 105 літературних джерел на 12 сторінках.

Дисертація написана грамотною технічною мовою, але по тексту зустрічаються тривіальні вирази, повтори та невідповідності.

У введенні обґрунтована актуальність теми, представлені мета та задачі дослідження, визначена загальна методика, наукова новизна роботи та положення, що виносяться на захист.

У першому розділі – „Аналіз етапів розвитку досліджень САРЧ дизеля” – автор, на основі аналітичного огляду відкритих джерел інформації розглядає функціональні схеми різновидів регуляторів. окрему увагу приділено функціональній схемі та роботі електронного всережимного регулятора. На основі аналізу, автор робить висновок, що такі системи є мало дослідженими, й в першу чергу цьому заважає закритість інформації та відсутність доступу до алгоритмів роботи, програмного забезпечення та можливостей налаштування електронних блоків керування. Наприкінці розділу автор наводить задачі, які необхідно вирішувати при проведенні досліджень САРЧ автомобільних дизелів.

У другому розділі – „Розробка електронної всережимної САРЧ дизеля з ПД-законом управління” – виконана розробка структурної схеми та алгоритму ПД-регулювання електронної системи автоматичного керування. Зокрема, обґрунтований вибір та математичний опис роботи виконавчого механізму у вигляді електричного прецизійного двигуна. Наведені основні технічні параметри, конструкція та приклади інсталяції розробленої системи на безмоторному та моторному експериментальних стендах.

У третьому розділі – „Математична модель дизеля з електронною всережимною САРЧ з ПД-регулюванням” – подається ретельний опис реалізації математичної моделі системи автоматичного керування у складі дизеля та електронного ПД-регулятора у середовищі MATLAB/Simulink, який є сучасним засобом для проведення інженерних та наукових математичних розрахунків. Також в цьому розділі автором запропонована оригінальна методика розрахунку величини циклової подачі палива для забезпечення рівноважного режиму роботи двигуна та врахуваний вплив вібрацій корпусу працюючого дизеля на параметри дозування палива.

У четвертому розділі – „Дослідження параметрів налаштування ПД-регулятора для автотракторного дизеля” – наведені методика та результати експериментальних і розрахункових досліджень мікропроцесорного регулятора у складі системи керування. Роботи, направлені на вибір раціональних параметрів ПД-регулятора для досягнення необхідних робочих характеристик дизеля, дістали результату у вигляді тривимірного масиву (матриці) комплексного корегувального коефіцієнту, який залежить від частоти обертання колінчастого валу та навантаження на двигун. Таким чином, можна сказати, що розроблена автором система автоматичного керування є адаптивною, тобто забезпечує оптимальну якість переходних процесів в залежності від режиму роботи дизеля.

П’ятий розділ – „Використання результатів ПД-моделювання в моторних і дорожніх випробуваннях”. У цьому розділі автор, на основі результатів стендових та визначальних (в складі транспортного засобу) випробувань дизеля доводить ефективність впровадження запропонованих ним заходів щодо досягнення мети роботи. Як витікає з наданих матеріалів, впровадження в склад паливної апаратури автотракторного дизеля запропонованого та розробленого автором регулятора дозволить покращити його техніко-економічні показники у звільненні з САРЧ, обладнаною механічним регулято-

ром. Слід ще раз підкреслити, що всі експерименти виконані автором на високому технічному рівні, з використанням сучасної вимірювальної бази та їх результати не викликають сумніву.

### **До дисертаційної роботі можна зробити такі зауваження:**

1. Без сумніву, одним з основних компонентів електронної системи керування двигуна внутрішнього згоряння є датчик у вигляді електронної педалі. Проте, на стор. 44 та далі за текстом автор називає його „*задатчиком частоти обертання колінчастого валу*”. Це не зовсім так. Адже педаль (положення органу керування двигуном) є *задатчиком режиму*, який, як відомо, визначається не тільки швидкістю колінчастого валу, а й величиною зовнішнього навантаження на двигун (моменту спротиву).

2. У дисертації багато уваги приділено дослідженню динамічних характеристик електронного регулятора, але жодного разу не наведена його статична характеристика. Тобто, не надано інформації, які ж закони формування рівноважних режимів роботи системи двигун-навантаження (регуляторні характеристики дизеля) цей регулятор забезпечує.

3. Робота присвячена вибору раціональних значень коефіцієнтів ПД-регулятора, але саме рівняння ПД-регулятора, яке реалізовано у алгоритмі електронного блока керування, у тексті дисертації не наведено.

4. У Розділі 3, який має назву „*Математична модель дизеля з електронною всережимною САРЧ з ПД-регулюванням*”, наведено не опис математичної моделі, а тільки семантичний (смисловий) опис її реалізації у середовищі MATLAB/Simulink. В інших розділах опис математичної моделі у вигляді розрахункових рівнянь також відсутній.

5. Класикою теорії автоматичного керування є математичний опис досліджуваної САР шляхом складання системи диференційних рівнянь її ланок, які (ці диференційні рівняння) до того ж, при необхідності, можуть бути лінеаризовані. Це дозволяє значно спростити дослідження системи автоматичного регулювання на стійкість, швидкодію, коливальність (якість перехідного процесу) наприклад відомими методами Гурвіца, Михайлова, Найквіста або більш сучасними. Нажаль, автор не скористався таким підходом.

6. Список використаних джерел дисертації містить посилання на застарілу літературу ХХ сторіччя (50 зі 105 найменувань, тобто 48%). Можливо, цей недолік підтверджує тезу про те, що алгоритми та програмне забезпечення сучасних електронних систем керування двигунів внутрішнього згоряння являються інтелектуальною власністю їх розробників на не видаються широкому науковому загалу.

### **Висновок**

Вважаємо, що перелічені недоліки та критичні зауваження до тексту дисертації не впливають на результати виконаних досліджень та не зменшують їх наукової та практичної цінності. В цілому постановка задач дослідження, методи їх вирішення, публікації, апробація результатів, а також практичний вихід свідчать про високий рівень знань здобувача в галузі двигунобудування.

вання у питаннях проектування та дослідження електронних систем автоматичного регулювання подачі палива дизелів і про уміння самостійно розв'язувати складні наукові завдання.

Дисертація здобувача Вербовського Олексія Валерійовича „Вибір і обґрунтування параметрів мікропроцесорної системи автоматичного регулювання частоти обертання дизеля” за своїм змістом відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, є завершеною науково-дослідною роботою, яка вирішує важливу наукову задачу поліпшення паливної економічності та експлуатаційної якості автомобільних дизелів.

Таким чином, за актуальністю теми, змістом й обсягом досліджень, за рівнем новизни, науковим та практичним значенням одержаних результатів, повнотою відображення в періодичних виданнях дисертація відповідає п.п. 9, 11 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів”, які пред'являються до кандидатських дисертацій, а здобувач Вербовський Олексій Валерійович заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Офіційний опонент  
професор кафедри  
двигунів внутрішнього згоряння  
Національного технічного університету  
„Харківський політехнічний інститут”,  
доктор технічних наук, професор

А.О. Прохоренко

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 р.

Підпис проф. А.О. Прохоренка засвідчує  
Вчений секретар НТУ „ХПІ”, д.т.н.

О.Ю. Заковоротний

