

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Вербовського Олексія Валерійовича

«Вибір і обґрунтування параметрів мікропроцесорної системи автоматичного регулювання частоти обертання дизеля», представлена на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук

за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

**1. Актуальність теми дисертації.** Автотракторні двигуни внутрішнього згоряння, в тому числі й дизелі, мають економічні, енергетичні, динамічні та екологічні показники, які на номінальному режимі при досягнутому рівні досконалості їх конструкцій і робочих процесів мають достатньо високі значення. Тому значне їх покращення є складною задачею, яку традиційними методами і засобами вирішити досить складно, на відміну від цих же показників в реальних умовах експлуатації, де існують значні резерви їх покращення за рахунок внесення незначних змін у конструкцію власне самих двигунів, і їх систем зокрема.

Одним зі шляхів подальшого покращення показників роботи дизеля є покращення якості перехідних процесів, що відбуваються під час зміни режиму роботи. Це в першу чергу стосується транспортних засобів що використовують всережимний алгоритм регулювання. Більшість законів регулювання можливо реалізувати на основі ПД-регуляторів.

Дисертаційна робота Вербовського О.В. присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі щодо налаштувань складових ПД-регулятора автотракторних дизелів на стійку роботу в усьому швидкісному і навантажувальному діапазоні без погіршення паливної економічності. Виконані розрахункові дослідження на розробленій математичній моделі не виключають, але зменшують кількість експериментальних випробувань при налаштуванні електронної САРЧ автотракторного дизеля.

Дисертаційне дослідження виконано на кафедрі «Двигуни та теплотехніка» Національного транспортного університету та відповідає держбюджетній тематиці МОН України: «Покращення показників дорожніх і транспортних засобів удосконаленням двигунів та їх систем» в 2007...2008 pp. (ДР № 0107U002832), та держбюджетній тематиці кафедри «Двигуни та теплотехніка» НТУ: «Поліпшення паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів удосконаленням систем регулювання та використанням альтернативних палив» в 2010...2012 pp. (ДР № 0110U000128); «Використання альтернативних палив та удосконалення систем регулювання та живлення двигунів колісних транспортних засобів» в 2013...2015 pp. (ДР № 0112U008409).

## **2. Структура, зміст, методологія та оформлення дисертації**

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, додатків. Повний обсяг дисертації складає 156 сторінок, 79 рисунків, 13 таблиць, 6 додатків на 12 сторінках, 105 найменувань використаних джерел на 12 сторінках.

У вступі, відповідно до вимог обґрунтовано актуальність теми дисертації, розкрита сутність і стан наукової проблеми, її значущість, викладено зв'язок роботи з науковими програмами, встановлено об'єкт та предмет дослідження, відображені методи дослідження, сформульовані мета та основні завдання дослідження, визначено наукову і практичну цінність одержаних результатів.

В першому розділі «Аналіз етапів розвитку досліджень САРЧ дизеля» виконано аналіз досліджень і зроблено обґрунтування завдання, пов'язаного з вибором напрямку дисертаційного дослідження. Розглянуто дизель як регульований об'єкт, виконано аналіз досліджень автоматичних систем регулювання частоти обертання колінчастого вала дизеля та проаналізовано складові компоненти електронної системи регулювання дизеля.

На підставі виконаного аналізу в якості об'єкта теоретичних і експериментальних досліджень обрано мікропроцесорну систему регулювання, яка відповідає наступним критеріям: система регулювання дизеля забезпечує всережимний алгоритм роботи; реалізує регулювання за ПД-алгоритмом. Система регулювання складається з мікропроцесорного блоку, виконуючого механізму та цифрової педалі управління. Встановлені параметри мікропроцесорної системи, та поставлена задача з вивчення впливу ПД-параметрів регулювання на роботу автотракторного дизеля, обладнаного електронним всережимним регулятором частоти обертання колінчастого вала дизеля. Визначено рекомендовані параметри налаштування на різних швидкісних і навантажувальних режимах, а також оптимальні параметри налаштування, що будуть задовольняти ефективну роботу дизеля в усталених і переходічних режимах.

В другому розділі «Розробка електронної всережимної САРЧ дизеля з ПД-законом управління» розроблено структурну схему мікропроцесорної системи та обґрунтовано введення закону ПД-регулювання. Проведено аналіз впливу складових ПД-регулювання на процес регулювання.

За розробленою структурною схемою автором запропонована функціональна схема САРЧ з ПД-управлінням, яка містить ПД-регулятор, що керує виконавчим механізмом (ВМ) приводу рейки ПНВТ.

П. 2.3. автор присвятив дослідженню конструкції виконавчого механізму. Автором вибрана сумарна потужність двигуна ВМ для 4-циліндрового двигуна 4ЧН12/14. В п. 2.4. розглянуто технічні параметри та конструкція експериментальної всережимної САРЧ дизеля, описано використані складові компоненти та їх технічні характеристики. Наведено спосіб встановлення виконавчого механізму на ПНВТ, місця встановлення датчиків швидкості та мікропроцесорного блоку на транспортному засобі.

В третьому розділі «Математична модель дизеля з електронною всережимною САРЧ з ПД-регулюванням» представлена базова модель САРЧ дизеля, наведені рівняння складових компонентів математичної моделі: дизеля, гальмівного стенду, турбокомпресора, впускового трубопроводу та охолоджувача повітря.

Автором розроблені узагальнена та детальна функціональні схеми експериментальної САРЧ, в яких деталізовано зворотні зв'язки за частотою обертання колінчастого вала та за положенням ВМ. На основі функціональної схеми в програмному комплексі MatLab ним розроблена модель всережимного електронного регулятора швидкості, що реалізує відтворення впливу вібрації на роботу дизеля. Представлена також математична модель САРЧ з ПД-регулюванням та описано вплив налаштувань ПД-параметрів на роботу дизеля.

В п. 3.3 деталізовано алгоритм роботи, що реалізовано за розробленою математичною моделлю та інтерпретовано алгоритм вибору системою положення рейки ПНВТ.

В п. 3.4 автор детально розглядає закон роботи електромеханічного виконавчого механізму. В розділі наведена функціональна схема механізму та досліджується залежність сили струму ВМ від навантаження на валу. Проведені експериментальні дослідження і за їх результатами створена математична модель ВМ.

В четвертому розділі «Дослідження параметрів налаштування ПД-регулятора для автотракторного дизеля» виконано обґрунтування необхідності вибору раціональних параметрів налаштування САРЧ та сформована програма досліджень для реалізації цієї задачі.

В п. 4.2 описано методику і результати досліджень на безмоторному стенді, експериментально підтверджується потужність ВМ, а також попередньо обираються ПД-параметри САРЧ.

В п. 4.3 описуються методика і результати моторних досліджень САРЧ на двигуні ЯМЗ-238М2. За результатами дослідження автор пропонує введення комплексного корегуючого коефіцієнта, що пропорційно змінює П, І та Д-складові САРЧ.

В п. 4.4 описано випробування електронної САРЧ на двигуні СМД-23.07. Результати експериментальних досліджень використанні для перевірки адекватності розробленої математичної моделі.

Окремо, автором досліджувався вплив ПД-параметрів за різних значень вібрацій двигуна, а також обґрунтовано необхідність цих досліджень та розроблена окрема програма досліджень на математичній моделі де досліджувався вплив ПД-параметрів налаштування регулятора за різних значень вібрацій в усталених та переходних режимах роботи дизеля. За результатами дослідження оцінено вплив раціональних параметрів ПД-регулятора на витрату палива дизеля.

В п'ятому розділі «Використання результатів ПД-моделювання в моторних і дорожніх випробуваннях» автором додатково уточнювався процес запуску і зупинки дизеля та підтверджена необхідність введення комплексного корегуючого коефіцієнту.

В п. 5.3 проведено порівняльний аналіз результатів моторних досліджень дизеля з механічним регулятором, електронним всережимним регулятором та електронним дворежимним регулятором. Результати аналізу показують задовільну роботу електронного всережимного регулятора на різних статичних та

динамічних режимах та підтверджують необхідність налаштування ПД-параметрів та комплексного корегуючого коефіцієнту  $k_s$  в залежності від режиму роботи дизеля.

В п. 5.4 описано методику та результати дорожніх випробувань, в ході яких підтверджено правильність налагодження ПД-регулятора.

Додатки містять шість розділів і доповнюють основний зміст дисертації. Методологія дисертації сучасна, включає експериментальну перевірку основних положень та широке застосування математичних методів із використанням ПК.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Автор виносить на захист науково обґрунтований підхід для вирішення актуальної науково-практичної задачі – обґрунтування і реалізації раціональних параметрів електронного регулятора дизеля, його механічних і електронних складових частин.

Теоретичні та експериментальні дослідження є послідовними, логічними, обґрунтованими. Усі отримані автором результати не суперечать результатам попередніх дослідників, а є їх логічним розвитком.

Наукові положення обґрунтовано у достатній мірі на достатньо високому науковому рівні.

Загальні висновки дисертації, які складаються з 8-ми пунктів, обумовлені результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень і обґрунтовані ними. Всі вони логічно витікають з матеріалів дисертації та вірно відображають результати дослідження.

В цілому висновки цілком співставні із задачами досліджень, проте на думку опонента, у них доцільніше було дещо більше зосередитися на рекомендаціях з наведенням цифрових даних за рахунок зменшення обсягу констатуючої інформації.

### **4. Достовірність і новизна висновків і рекомендацій.**

Достовірність результатів досліджень забезпечується високою ступінню адекватності теоретичних моделей та експериментальних даних, а також використанням вимірювальних приладів необхідної точності. Обґрунтованість та достовірність отриманих результатів і сформульованих висновків не викликає сумніву.

Наукові положення, методи експериментальних досліджень достатньою мірою обґрунтовані, базуються на сучасних методиках як теоретичних, так і експериментальних досліджень у галузі теорії робочого процесу та динаміки двигунів внутрішнього згоряння, а також на результатах особистих досліджень дисертанта.

Науковою новизною в роботі слід вважати наступне:

- вперше обґрунтовано необхідність введення в математичну модель електронної САРЧ дизеля аналога вібрацій для якісного налаштування ПД-регулятора;

- вперше досліжено вплив зовнішніх вібрацій різної амплітуди та частоти на якість динамічних процесів і паливну економічність автотракторного дизеля з ПД-регулятором;

- введено комплексний корегуючий коефіцієнт, який пропорційно впливає на всі коефіцієнти регулювання;

– подальшого розвитку набула математична модель автотракторного дизеля з електронною всережимною САРЧ.

Практичне значення виконаного дослідження полягає в першу чергу в розробці загальної методики налаштування раціональних ПД-параметрів всережимної електронної САРЧ транспортного дизеля з урахуванням вібрацій, дослідженню математичного алгоритму роботи всережимної САРЧ, та результатам експериментальних та розрахункових досліджень з вибору оптимальних налаштувань ПД-параметрів за різних режимів роботи дизеля.

## **5. Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертації.**

Зміст автореферату в повній мірі відображає основні положення та результати, отримані в даній роботі.

В авторефераті наведені актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мета, задачі, об'єкт, предмет та методи дослідження; наукова новизна та практичне значення одержаних результатів; особистий внесок здобувача; апробація результатів дисертації; публікації; структура дисертації; основний зміст роботи; висновки; список опублікованих праць за темою дисертації; анотації українською, російською (розширені) та англійською мовами.

Висновки дисертації та автореферату ідентичні. Оформлення автореферату відповідає вимогам нормативних документів.

**6. Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації в опублікованих працях.** Результати виконаних автором досліджень достатньо повно відображені у 20-ти наукових працях: 10 статей у фахових виданнях України, 2 публікації в іноземних виданнях, 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір, 7 праць апробаційного характеру, з яких 4 матеріали наукових конференцій і 3 тези доповідей.

## **7. Загальні недоліки по роботі:**

1. В тексті дисертації на С. 39 і у загальних висновках (в п. 2 на С. 131) автор вважає, що мінімальна кількість АЦП для САРЧ дизеля повинна становити 4. Проте у висновках до розділу 1 на С. 43 зазначається, що мінімальна кількість аналогових входів повинна становити 5. Не зрозуміло, чим пояснюється таке розходження.

2. Назву п. 2.4. доцільно було б змінити з «*Технічні параметри та конструкція експериментальної всережимної САРЧ дизеля*» до такої «*Опис функцій, технічні характеристики та...*».

3. З метою порівняння штатного регулятора дизеля з електронним, як в дисертації, так і в авторефераті доцільно було б представити суміщені зовнішні і часткові регуляторні характеристики ПНВТ, а також навести дані відносно таких параметрів як ступінь нечутливості і ступінь нерівномірності для обох регуляторів. Це б у свою чергу очевидно зняло б питання відносно не зовсім зрозумілого твердження, наведеного на С. 93 дисертації, а саме «*Нахил регуляторної гілки становив 0 % (астатична характеристика)*».

4. В тексті дисертації і в списку використаних джерел доцільно було б навести посилання і бібліографічні дані відносно двох стандартів, які регламентують порядок і методику проведення досліджень ПНВТ і автомобільних ДВЗ, зокрема: «ДСТУ ГОСТ 10578:2003. Насоси паливні дизелів. Загальні технічні умови» і «ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобільні. Методи стендових испытаний».

5. На С. 100 є твердження «За 12 секунд перехідного процесу двигун віртуально витратив 48 грамів палива». Не зрозуміло, що мається на увазі під словом «віртуально»?

6. В табл. 4.9 витрату палива, виражену в грамах, доцільніше було заокруглити до чотирьох значущих цифр, а не зазначати її з п'ятьма значущими цифрами, бо цифри останнього розряду очевидно є сумнівними через припущення, зроблені при моделюванні.

7. В рукописі дисертації подекуди мають місце деякі стилістичні помилки і описки при наборі тексту, а також некоректна термінологія, наприклад:

– в табл. 2.1. і 2.2 необхідно було використати замість терміну «вага» термін «маса», бо в кілограмах вимірюється маса, а не вага;

– на структурній схемі електронного всережимного регулятора САРЧ дизеля, представлений на рис. 2.1, а також в назві рис. 2.7 і 2.12 і у висновках до розділу 2 (С. 60) не вказано датчик якої саме частоти обертання і якого валу (хоча з тексту можна припустити, що йдеться про частоту обертання колінчастого валу). Причому в тексті на С. 48 зазначено «На рис. 2.12 зображене схему встановлення датчика частоти обертання дизеля на маховик колінчастого вала». Це твердження – редакційно не коректне, бо власне датчик не встановлюється на маховик, а монтується в кожух маховика;

– невдало названо рис. 3.7, 3.8 і 3.9, і не зрозуміло, який параметр наведено на осіх ординат цих залежностей, бо одиниці вимірювання на цих осіх не вказані;

– в останньому реченні на С. 84 не вірно зазначено номер рисунка (замість рис. 2.7 має бути 2.8);

– в табл. 4.6. невдало оформлена шапка та відсутнє одне значення рівня потужності і т.п.

## 8. Загальний висновок.

1. Робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної задачі щодо налаштувань складових ПД-регулятора автотракторних дизелів на стійку роботу в усьому швидкісному і навантажувальному діапазоні без погіршення паливної економічності.

2. Дисертаційні дослідження виконано методологічно вірно, поставлені задачі дослідження виконано.

3. Розроблені в дисертації методики, математична модель, отримані експериментальні дані, запропоновані рекомендації можуть бути використані в дизелебудуванні при розробці електронних систем регулювання частоти обертання колінчастого вала дизеля, а також в навчальному процесі для підготовки студентів за спеціальністю «Двигуни внутрішнього згоряння».

4. Дисертація є закінченою науковою працею, яка виконана з використанням сучасних математичних методів досліджень, містить нові результати.

5. Зауваження по дисертаційній роботі, що відмічені у відгуку, не ставлять під сумнів вихідні наукові положення та основні результати досліджень, які отримали достатню апробацію.

6. Автореферат досить повно відображає зміст та основні результати виконаного дослідження.

Дисертаційна робота «Вибір і обґрунтування параметрів мікропроцесорної системи автоматичного регулювання частоти обертання дизеля», відповідає положенням пп. 9, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Вербовський Олексій Валерійович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні.

**Офіційний опонент:**

кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри тракторів,  
автомобілів та біоенергосистем  
Національного університету біоресурсів  
і природокористування України

  
O.A. Бешун

Підпис Бешуна О.А. за свідчую

Начальник відділу кадрів  
НУБіП України

  
M.B. Михайліченко