

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Клименка Олександра Миколайовича
**«Оцінка впливу регулювання температурного стану
поршнів на техніко-економічні показники дизеля»**,
представлену до захисту на здобуття
наукового ступеня кандидата технічних наук
за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Актуальність дисертаційної роботи. Як відомо, основними задачами сучасного двигунобудування є забезпечення законодавчо визначеного рівня показників екологічної безпеки, конкурентноздатного рівня показників собівартості виробництва, технічного обслуговування й ремонту, достатнього рівня показників надійності та щонайвищого рівня показників паливної економічності двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Все це відбувається на фоні неупинного підвищення рівня форсування двигунів зі збереженням прийнятого рівня масогабаритних показників. З іншого боку, значний вплив на реальні значення таких показників чинить модель експлуатації енергетичної установки, джерелом механічної енергії якої є поршневий ДВЗ.

Зазвичай вирішення цих задач носить характер багатокритеріальної оптимізації та має на меті пошук нових конструктивних й організаційно-технічних рішень, бажано таких, що чинять комплексний позитивний вплив одразу на показники декількох задач, в ідеалі – усіх. Однак, тісний і складний взаємозв'язок різнорідних показників роботи двигунів, як досить складних технічних систем, у переважній більшості випадків не дозволяє отримати від конкретного нового технічного рішення самий лише позитивний ефект. За аналогією з людським організмом і вживанням будь-якого фармакологічного засобу. І тут постає проблема комплексної оцінки алгебраїчної суми досягнутих ефектів і вибору оптимальних параметрів запропонованих технічних рішень.

Вирішенню саме такої проблеми присвячена дисертація здобувача, яка мала за мету експериментально-розрахункове визначення впливу застосування регулювання температурного стану поршнів (ТСП) з теплоізоляційним покриттям камери згоряння на техніко-економічні показники дизелів з урахуванням моделі експлуатації, що і складає безсумнівну актуальність її теми.

Актуальність теми дисертації підтверджується тим, що вона виконувалася відповідно до плану науково-дослідних робіт кафедри ДВЗ Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (НТУ «ХПІ») у рамках держбюджетних тем МОН України: «Розробка наукових основ комплексного забезпечення перспективного рівня теплонапруженості та екологізації високофорсованих транспортних двигунів внутрішнього згоряння» (ДР № 0109U002385), «Інтеграція фізико-хімічних процесів згоряння при сумісному керуванні показниками екологічності, економічності та надійності транспортних ДВЗ» (ДР № 0112U000404), «Розробка наукових основ доводки конструкцій і систем високофорсованих вітчизняних дизелів для забезпечення їх високих техніко-економічних показників» (ДР № 0115U000511), у яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

Ступінь обґрунтованості й достовірності наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукові положення, теоретичні висновки та практичні рекомендації в дисертаційній роботі є достатніми і обґрунтовані належним чином. Ключовою проблемою, яка аналізується та досліджується в дисертації, є оцінка впливу застосування регулювання ТСП з теплоізоляційним покриттям камери згоряння на техніко-економічні показники дизелів з урахуванням моделі експлуатації на основі експериментальних даних за розробленими і вдосконаленими здобувачем методиками.

Вказана проблема в повній мірі знайшла своє вирішення в дисертаційній роботі. Положення дисертації ґрунтуються на аналізі значної кількості сучасних публікацій та на здійснених дисертантом теоретичних і експериментальних дослідженнях. Такі дослідження проводились згідно до розроблених і вдосконалених здобувачем методик, із застосуванням сучасних методів вимірювань та сучасних засобів вимірювальної техніки, а результати досліджень піддані ретельному аналізу. В процесі детального аналізу дисертаційної роботи та автореферату не виявлено сумнівних, неоднозначних чи необґрунтованих висновків та тверджень.

Отже, ступінь обґрунтованості, достовірність наукових положень, розроблених автором, висновків та рекомендацій не викликає сумнівів.

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі Клименка О.М. розвинуто науково-практичні підходи до розв'язання задачі комплексної оцінки ефективності застосування регулювання температурного ТСП дизеля. Усі висновки дисертації ґрунтуються на викладених в розділах 2 – 5 теоретичних та експериментальних даних та відповідають задачам дослідження, наведеним і обґрунтованим розділі 1.

За результатами аналізу рукопису дисертації можна відмітити наукову новизну наступних результатів:

1. Вперше оцінено ефективність регулювання ТСП за комплексним впливом на показники токсичності відпрацьованих газів, паливної економічності та ресурсної міцності поршнів при врахуванні моделі експлуатації дизеля за вдосконаленою здобувачем методикою.

2. Вперше для комплексного покращення середньоексплуатаційних показників витрати палива та масових викидів оксидів азоту та твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля виявлена і обґрунтована доцільність охолодження поршнів на окремих навантажених режимах експлуатації, які за критерієм ТСП не потребують охолодження, а також доцільність відключення масляного охолодження поршнів на малонавантажених режимах, на яких у базового дизеля охолодження поршнів здійснюється.

3. Вперше встановлено, що комплексне покращення середньоексплуатаційних показників витрати палива та масових викидів оксидів азоту та твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля за умови забезпечення достатнього рівня ресурсної міцності поршня шляхом регулювання ТСП потребує керування кутом випередження впорскування палива.

Практична цінність дисертації. На підставі досліджених і встановлених здобувачем закономірностей взаємозв'язку між комплексом показників токсичності відпрацьованих газів, паливної економічності та ресурсної міцності поршнів

дизелів різного призначення й особливостями запропонованого способу регулювання ТСП досягнуто наступних практичних результатів:

1. Отримано емпіричні залежності для визначення емісії оксидів азоту та димності відпрацьованих газів дизеля 4ЧН12/14 від частоти обертання колінчастого валу, навантаження, режиму охолодження поршнів та значення кута випередження подачі палива, що забезпечують адекватне оцінювання впливу режиму роботи дизеля на показники токсичності відпрацьованих газів.

2. Отримано результати оцінювання техніко-економічних показників дизелів, на основі використання теорії нечіткої логіки для кожного окремого режиму навантаження та різних їх сукупностей, що являють собою моделі експлуатації, запропоновано психофізичні шкали для оцінювання показників токсичності відпрацьованих газів, паливної економічності та надійності дизелів, що може використовуватись при їх проектуванні та модернізації.

3. Розроблено методику синтезу характеристичних карт керування масляним охолодженням поршнів, кутом випередження подачі палива при такому регулюванні для комплексного покращення техніко-економічних показників дизеля та отримано такі карти для дизеля 4ЧН12/14.

4. Отримано результати оцінювання ресурсної міцності поршня для різних рівнів форсування та моделей експлуатації дизеля 4ЧН12/14 при врахуванні способів регулювання ТСП та обмежень температур в основних критичних зонах поршня.

5. Запропоновано конструкцію поршня, що реалізує регулювання його температурного стану, що вирізняється патентною чистотою і захищена відповідним документом (патент України № 77208).

Результати впроваджені та використовуються у ДП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування» (м. Харків), а також у практиці наукових досліджень та у навчальному процесі кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ «ХП».

Повнота викладення результатів роботи в опублікованих працях. Основні наукові результати, отримані в результаті виконання дисертаційної роботи, опубліковані здобувачем у 13 наукових працях, серед яких: 6 статей у наукових фахових виданнях України (з яких 4 у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз), тези 6 доповідей у матеріалах конференцій (у тому числі й 5 міжнародних) та 1 патент України на корисну модель.

Таким чином, матеріали дисертаційного дослідження Клименка О.М. за науковим рівнем і повнотою представлення у друкованих фахових виданнях повністю відповідають чинним вимогам МОН України та пройшли необхідну апробацію на конференціях і конгресах, переважно міжнародних.

Автореферат ідентичний за змістом з основними положеннями дисертації та досить повно відображає основні її наукові результати, що отримані здобувачем.

Оцінка змісту дисертаційної роботи та її оформлення. Дисертація Клименка О.М. є завершеною науковою роботою, яка складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаної літератури зі 155 найменувань та 2 додатків. Дисертація містить 165 сторінок машинописного тексту, містить 53 рисунки та 36 таблиць.

У **вступі** обґрунтовується актуальність теми дисертаційної роботи та конкретизується її зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Наведені мета та задачі дослідження, наукова новизна, практична цінність отриманих результатів. Визначені об'єкт та предмет дослідження, наведено методи дослідження, особистий внесок здобувача; надається інформація щодо апробації результатів дисертації та їх публікацію.

У **першому розділі** дисертаційної роботи наведено аналіз інформації з науково-технічної літератури щодо можливих шляхів покращення техніко-економічних показників дизелів існуючих та перспективних конструкцій. Наведено перелік персоналій-науковців доробок яких здобувач проаналізував та на який спирався у дослідженні. Основну увагу при цьому приділено питанням забезпечення високих показників токсичності ВГ й паливної економічності дизеля та забезпечення надійності конструкції дизеля шляхом регулювання його ТСП. Докладно розглянуто організаційні й технічні аспекти способів і засобів автоматичного регулювання ТСП, у тому числі й з теплоізоляційним покриттям. На основі вищенаведеного сформульовано і обґрунтовано мету дослідження і визначено відповідні їй задачі.

У **другому розділі** наведено вдосконалену здобувачем методику комплексної оцінки техніко-економічних показників дизелів при регулюванні ТСП на основі узагальненої функції бажаності Харрінгтона і з використанням чотирьох критеріїв якості – викидів оксидів азоту і твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля, витрат палива і ТСП. Показано, що така задача носить компромісний характер, а її вирішення – оптимізаційний. Запропоновано проводити оцінку для різних моделей експлуатації дизеля. Наведено методики чисельного моделювання ТСП та прогнозу його ресурсної міцності для дизеля 4ЧН12/14. За критерій ефективності регулювання температурного стану поршня обрано комплексний паливно-екологічний критерій.

Третій розділ присвячено експериментальним стендовим випробуванням дизеля 4ЧН12/14 з метою отримання вихідних даних для комплексної оцінки техніко-економічних показників дизелів при регулюванні ТСП. У розділі наведено описання моторного випробувального стенду з досліджуванним дизелем. Здобувачем здійснено модернізацію стенда шляхом обладнання місць відбору проб ВГ на токсичність і димність, а також системою термометрування деталей камери згоряння дизеля з обґрунтованим вибором відповідних засобів вимірювальної техніки. Також форсунки охолодження поршнів обладнано запірними пристроями оригінальної конструкції. У розділі наведено програму і методику випробувань, методику оцінки похибок вимірювань та обробки експериментальних даних, наведено самі оброблені результати випробувань, які описано поліномами 2-го ступеня методом найменших квадратів, здійснено їх аналіз. При дослідженні визначались шляхом прямих вимірювань характеристики критеріїв якості, використаних у методиці оцінки техніко-економічних показників дизелів при регулюванні ТСП. При цьому варіювалось значення кута випередження подачі палива для випадків ввімкненого і вимкненого масляного охолодження поршнів.

В **четвертому розділі** наведені результати синтезу закону регулювання ТСП дизеля шляхом управління їх масляним охолодженням за релейним, ступінчастим та плавним законом. Синтез законів регулювання здійснено на основі функції бажаності для різних моделей експлуатації дизеля при варіюванні значенням

кута випередження подачі палива. На основі аналізу результатів експериментальних досліджень, описаних у розділі 3, виявлено наступне. По-перше, доцільним є масляне охолодження поршнів на окремих навантажених режимах експлуатації, які за критерієм ТСП не потребують охолодження. По-друге, доцільним є відключення масляного охолодження поршнів на малонавантажених режимах, на яких у базового дизеля охолодження поршнів здійснюється. По-третє, комплексне покращення середньоексплуатаційних показників обраних критеріїв якості дизеля шляхом регулювання температурного ТСП потребує керування кутом випередження впорскування палива. На основі вищеописаного розроблено методику побудови характеристичних карт керування масляним охолодженням поршнів та кутом випередження подачі палива для поля експлуатаційних режимів роботи дизеля та наведено такі карти для дизеля 4ЧН12/14. На основі методик, наведених у попередніх розділах здійснено оцінку ефективності регулювання ТСП з урахуванням моделі його експлуатації, подано її результати та їх ретельний аналіз, у тому числі й для моделі експлуатації дизель-генератора. Виявлено, що при такому регулюванні спостерігається деяке підвищення викидів твердих частинок, що пояснюється обраним пріоритетним напрямком підвищення екологічності дизеля – зниження викидів оксидів азоту, здійснено оцінку відповідності дизеля відповідним нормативним вимогам з урахування описаного ефекту.

У **п'ятому розділі** наведено дані щодо оцінки ресурсної міцності поршня при регулюванні його температурного стану. Оцінку виконано для стаціонарного режиму роботи і для перехідного, які є типовими з огляду на ТСП, а також для випадків наявності й відсутності масляного охолодження поршня. Температурний стан поршня оновленої конструкції для дизеля перспективного рівня форсування досліджено шляхом чисельного моделювання методом скінчених елементів у програмному продукті, розробленому на кафедрі ДВЗ НТУ«ХП». Граничні умови при цьому обрано за результатами попередніх досліджень щодо вказаного досліджуваного об'єкту, у яких здобувач брав участь, та враховують усі його особливості конструкції – наявність кільцевої масляної галереї, несиметричність коефіцієнту тепловіддачі від робочого тіла до поверхонь камери згоряння, наявність теплоізоляційного шару на них. У розділі також наведено методику і результат синтезу закону регулювання ТСП шляхом ввімкнення / вимкнення його масляного охолодження у поєднанні з регулюванням коефіцієнту тепловіддачі від поверхонь галереї поршня до масла шляхом зміни продуктивності масляного насосу та / або охолодженням масла. Методика послідовно враховує обмеження значення температур у трьох обраних здобувачем найбільш термонавантажених зонах поршня. Для кожного з варіантів розрахункової оцінки та для кожної з обраних моделей експлуатації визначено величину накопичених навантажень і, відповідно, спрогнозовано ресурс поршня. При порівняльному аналізі цих результатів виявлено, що застосовуючи такий підхід до регулювання ТСП можна значно підвищити його ресурсну міцність або перейти до перспективних рівнів форсування дизеля. У розділі також запропоновано засоби реалізації вказаного регулювання – автономна регульована система масляного охолодження поршня зі змінною температурою масла та конструкція поршня з конструктивними елементами регулювання витрати масла у галереї (захищено патентом України на корисну модель).

В цілому, робота створює загальне позитивне враження коректним, всебічним і достатньо повним розв'язанням поставлених актуальних науково-технічних

задач. Оформлення дисертації відповідає вимогам ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення» та вимогам ВАК України, висвітленими у Бюлетені ВАК України за № 2 за 2000 р. та у Бюлетені ВАК № 9 – 10 за 2011 р.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату.

До вмісту, структури і оформлення рукопису та автореферату дисертації Клименка О.М. можна зробити наступні зауваження.

1. У **розділі 1** коментар до рис. 1.3 не є вичерпним як з точки зору інформації, яка міститься на ньому, так і з точки зору висновку за її аналізом. Також на цьому рисунку містяться нерозкриті абрєвіатури – ФВГШ, ФСБ.

2. У п'ятому абзаці **висновків до розділу 2** (стор. 64) вказано «Прогнозування ресурсної міцності поршня рекомендовано виконувати за методикою, що передбачає ... урахування передісторії навантаження двигуна», проте у тексті **розділу 2** немає інформації щодо цього аспекту.

3. **Пункт 3.1.1** носить назву «Методика екологічних вимірювань», але містить описання роботи приладів для таких вимірювань і обґрунтування вибору конкретних їх типів і моделей для даного дослідження. За визначенням, методика – це певний алгоритм, процедура, послідовність цілеспрямованих дій, з конкретизацією прийомів і задач, при цьому обґрунтування вибору засобів їх реалізації не є обов'язковою частиною методики і не може складати її основу. Саме елементи методики відображають лише передостанні абзаци на стор. 70 і 73 й завершальний абзац на стор. 73. Тому, на нашу думку, значна частина даного підрозділу могла бути винесена у додатки, або сам підрозділ мав отримати іншу назву, наприклад «Обґрунтування вибору засобів вимірювальної техніки». Аналогічні міркування частково можуть бути розповсюджені й на **пункт 3.1.2** «Методика термометрування деталей камери згоряння».

4. Дані на рис. 3.11 (стор. 79) та рис. 3.12,а (стор. 80) у **підрозділі 3.2** не повною мірою розкривають особливості системи відбору проб відпрацьованих газів на токсичність. Те саме стосується і особливостей конструкції й роботи запірного органу форсунки охолодження поршню.

5. **Підрозділ 3.5** не містить обґрунтування вибору кількості режимів у програмі експериментального дослідження (табл. 3.8, стор. 88) та їх параметрів, або посилянь на джерело з такою інформацією.

6. У **розділі 4** висновки за аналізом інформації на рис. 4.1 – 4.3 (стор. 104, 106 і 107) не є очевидними. Незрозуміло, чи можливо отримати єдину характеристичну карту, що об'єднує інформацію на рис. 4.3 і 4.4 (стор. 107). Рис. 4.2,б (стор. 106) слід було б доповнити даними щодо значення КВПІ на кожному з режимів. На рис. 4.4 (стор. 107) підпис вертикальної вісі слід замінити на $\Theta_{\text{опт}}$.

7. У **розділі 4** відсутні дані щодо результатів вирішення компромісної оптимізаційної задачі для моделей експлуатації колісного та гусеничного трактора і генератора – ні у табличній, ні у текстовій ні у графічній формі, а також результати порівняння таких результатів з наведеними на рис. 4.1 – 4.4 (для моделі експлуатації вантажного автомобіля) (стор. 104, 106, 107). Незрозуміло, яку саме модель розподілу навантаження дизель-генератора з наведених на рис. 4.5 (стор. 108) – для промислового чи для побутового споживання – і як обґрунтовано саме такий вибір. Якщо обрано модель, яка якимось чином об'єднує чи усереднює обидва ці випадки, то за

якою методикою це виконано. Вочевидь побудована модель експлуатації є дискретною, однак у тексті рукопису дисертації не подано ні кількості, ні параметрів її утворюючих режимів. Крім того, джерело інформації з рис. 4.5 (стор. 108) – [149] – викликає певні сумніви.

8. Наведені на рис. 4.6 (стор. 112) у **розділі 4** дані свідчать, що ефект від застосування комплексного керування кутом випередження подачі палива і температурним станом поршня не є простою сумою ефектів від нарізного застосування регулювання температурного стану поршня при штатному значенні кута випередження подачі палива та керування кутом випередження подачі палива при штатному режимі охолодження поршнів. Отже, має місце синергетичний або дисинергетичний ефект. У зв'язку з вищенаведеним, постає питання, чи не можлива наявність таких ефектів для впливу регулювання температурного стану поршня на техніко-економічні й екологічні показники дизеля для випадків обладнання досліджуваного дизеля штатними поршнями.

9. По тексті рукопису дисертації і автореферату подекуди присутні орфографічні й стилістичні помилки і описки, випущено деяку інформацію. Зокрема, перший абзац на стор. 12 є неузгодженим реченням. У фразі «Принцип методу базується на залежності сили струму електродної реакції окислення чи відновлення досліджуваного компонента від його концентрації» на стор. 71 випущено слово «електрохімічного». Величину накопичених пошкоджень у тексті позначено як d_{fs} , а у формулах (2.12) і (2.25) на стор. 50 і 57 використано позначення d_{cs} . Присутні описки в посиланнях на рисунки, зокрема на стор. 120 рис. 5.1 у тексті позначено як рис 5.1, б; на стор. 127 рис. 5.5 і 5.6 у тексті позначено відповідно як рис. 10.3 і 10.4. По тексті рукопису дисертації невдало застосовано автопереноси.

Подекуди у тексті рукопису дисертації одні й ті ж фізичні величини мають різні позначення: коефіцієнт вагомості k -го досліджуваного критерію якості – v_k та m_k (стор. 45), амплітуда напруження – σ_a^K і $\sigma_a^{(K)}$ у формулах (2.32) і (2.33) на стор. 59 і 60; показник відносної небезпеки забруднення – σ і υ на стор. 63. Величини E і m у формулі (2.30), τ_u^K , T_{\max}^K і τ_i у формулі (2.31) на стор. 59 не описані. У **розділі 2** в формулі (2.2) та її описі не співпадає перелік складових – p_{ei} та N_{ei} .

10. Ні у тексті рукопису дисертації, ні у тексті автореферату не наведено узагальнену схему структури дослідження, а також схеми окремих його етапів, що значно спростило би сприйняття поданого матеріалу. Особливо доречним було б подання такої схеми щодо алгоритму розробки закону управління температурним станом кромки КЗ відповідно до рівня форсування дизеля.

Приведені вище зауваження не впливають на обґрунтованість наукових положень і висновків дисертації та не знижують наукової новизни і практичного значення одержаних результатів. Вони не носять концептуальний чи принциповий характер і здебільшого мають сприйматися у якості рекомендацій для подальших наукових досліджень.

Висновки. Дисертація Клименка Олександра Миколайовича «Оцінка впливу регулювання температурного стану поршнів на техніко-економічні показники дизеля» є завершеною науковою роботою, основні положення якої не викликають заперечень. Вона повністю відповідає паспорту спеціальності 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Робота демонструє науково обґрунтований підхід до досліджень, здатність автора аналізувати та узагальнювати. Основні положення дисертації відображені в авторефераті у повному обсязі.

В цілому робота Клименка О.М. виконана з додержанням усіх вимог до кандидатських дисертацій у відповідності з п.п. 9, 11 і 12 “Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння звання старшого наукового співробітника”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. за № 567 і направлена на розробку методики експериментально-розрахункової оцінки кількісних і якісних аспектів впливу регулювання температурного стану поршня на рівень комплексу техніко-економічних показників роботи дизелів для різних моделей експлуатації.

На основі всього вищесказаного можна зробити висновок, що здобувач, Клименко Олександр Миколайович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

09.06.2016

Офіційний опонент,
доцент кафедри прикладної механіки
Національного університету цивільного захисту України,
кандидат технічних наук

О.М. Кондратенко

