

В І Д Г У К

офіційного опонента Лісовала Анатолія Анатолійовича

на дисертаційну роботу Лала Аміра Гула

«Підвищення ефективності згоряння в опозитному двотактному двигуні з протилежним рухом поршнів»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування

Актуальність теми

Харківське конструкторське бюро двигунобудування (ХКБД) відоме своєю школою двигунобудування для силових агрегатів вітчизняної бронетехніки. Концепція ХКБД для силових агрегатів вже багато десятиліть базується на багатопаливності швидкохідних дизелів серії ТД з високим рівнем форсування, які завдяки двотактному циклу з прямоочною продувкою при горизонтальному розташуванні циліндрів, двом опозитним колінчастим валам і протилежним рухом поршнів, мають досить компактні габарити. Компактність силових агрегатів на базі дизелів ТД подобається вітчизняним конструкторам бронетехніки, які визначають для двигунобудівників межі простору моторно-трансмісійного відсіку. Одночасно ця компактність ускладнює можливості подальшого удосконалення конструкції та модернізацію цих дизелів.

Світові тенденції подальшого розвитку бронетехніки спрямовані на забезпечення перспективних характеристик силових агрегатів, що обумовлює наступний етап підвищення потужності (до 1100 кВт), зменшення витрати палива. Це є основною науково-технічною проблемою для збереження конкурентоздатності вітчизняних дизелів для бронетехніки, яку виробляють в Україні.

Фундаментальні дослідження кафедри двигунів та гібридних енергетичних установок (ДтаГЕУ) Національного технічного університету «ХПІ», яка співпрацює з ХКБД, обґрунтували і визначили резерви подальшого удосконалення, забезпечення показників світового рівня і формування перспективних характеристик вітчизняних дизелів спеціального призначення. Дисертаційна робота здобувача базується на результатах цих досліджень і пов'язана з вирішенням актуальної науково-прикладної задачі – удосконаленням сумішоутворення та поліпшенням

ефективності згорання палива у двотактних дизелях серії ТД, що прискорить розробку і впровадження технічних рішень з підвищення енергетичних та паливно економічних показників основної енергетичної установки вітчизняної бронетехніки.

Актуальність теми підтверджується тим, що вона пов'язана з виконанням на кафедрі ДтаГЕУ трьох держбюджетних тем: «Забезпечення показників світового рівня і формування перспективних характеристик вітчизняних двигунів бронетехніки»; «Науково-технічні рішення з комплексного підвищення показників надійності, потужності та економічності енергетичних установок бронетехніки»; «Розробка і впровадження технічних рішень з підвищення енергетичної ефективності бронетехніки».

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Теоретичні і практичні результати дослідження, які отримані здобувачем базуються на сучасних досягненнях двигунобудування. Результати роботи базуються на фундаментальних положеннях теорії двигуна, газової та гідро динаміки, сучасних математичних методах досліджень і не протирічать результатам досліджень інших вчених, які працюють над цією тематикою.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих здобувачем, базується на аналізі науково-технічних джерел, коректній постановці мети і відповідно задач дослідження, використанні сучасних методів дослідження процесів сумішоутворення та згорання.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дисертаційного дослідження забезпечується коректністю постановок математичних задач, відповідністю їх фізичній суті – детальному описанні процесів впорскування палива (через специфічне розташування форсунки), сумішоутворення і подальшого згорання. Здобувачем застосовано стандартні процедури математичного аналізу, виконано ідентифікацію математичної моделі при зіставленні розрахункових досліджень з експериментальними даними безмоторних досліджень.

Рекомендовані здобувачем конструкції камер згорання виконано за допомогою стандартних програм 3D-моделювання.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

Подальше удосконалення моделі розвитку паливних струменів в камері згорання при різних впливових газодинамічних, гідравлічних, регулювальних і конструктивних факторах та візуалізація цих процесів за результатами розрахунку. Розроблено науково-практичне підґрунтя для подальшого впровадження технічних рішень щодо підвищення енергетичних і паливно економічних показників основної енергетичної установки вітчизняної бронетехніки.

Здобувачем на захист винесені наступні наукові положення:

1. Удосконалення математичної моделі та алгоритм розрахунку розвитку паливного струменя при об'ємному сумішоутворенні, яка враховує специфіку розташування форсунки, кінематику руху поршнів в двигунах серії ТД та ідентифікована за безмоторним експериментом;

2. Методика моделювання розвитку фронту паливного струменя в дизелях серії ТД для прогнозування руху рідкого палива, відмінного від дизельного;

3. За результатами моделювання удосконалено процес візуалізації розвитку паливних струменів в камері згорання при різних впливових факторах: газодинамічних, гідравлічних, регулювальних і конструктивних.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

Практична цінність полягає у визначенні резервів і розробці рекомендацій щодо удосконалення процесів сумішоутворення і згорання в циліндрі двотактного форсованого дизеля зміною характеристик паливоподачі, врахуванням розподілу палива і повітря в об'ємі модернізованої камери згорання.

Результати виконаного дослідження пов'язані із подальшим підвищенням технічного рівня і ефективності вітчизняної бронетехніки. Збільшення потужності, зниження витрати палива основної енергетичної установки бронетехніки також забезпечать їй конкурентоспроможність серед виробників спеціальної техніки.

Значимість отриманих результатів дисертаційної роботи підтверджено актом впровадження результатів в ДП «Завод імені Малишева».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення і результати дисертаційних досліджень опубліковані у 15 наукових працях, серед них: 5 статей у наукових періодичних фахових виданнях

України (категорія "Б") та 10 – у матеріалах конференцій.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві, чітко визначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. №44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Лала А.Г. складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальна кількість сторінок – 160.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження. Сформульовано наукову новизну та практичну цінність результатів дослідження, міститься інформація щодо особистого внеску здобувача, апробація результатів та перелік публікацій за темою дослідження.

В першому розділі виконано цікавий аналіз історії і узагальнено напрями розвитку двотактних дизелів з протилежним рухом поршнів (ПРП), дана оцінка перевагам їх конструкції у порівнянні з аналогічними за призначенням 4-такними дизелями. Визначені основні світові виробники, що мають досвід виробництва ДВЗ для спеціальної техніки, проаналізовані публікації з сучасними конкурентними розробками та презентації дослідних зразків.

Класифіковано основні показники, що характеризують технічний рівень дизелів з ПРП. Вітчизняні двотактні дизелі із ПРП застосовуються як стаціонарні установки, на транспорті і у бронетехніці. Уніфікація конструктивних елементів дизелів серії ТД дозволила здобувачу зробити висновок щодо перспективи їх використання на цивільній техніці – для суднового та залізничного транспорту, тракторів, вантажних автомобілів, автобусів, інших.

Другий розділ присвячено методикам і результатам дослідження процесів сумішоутворення та згорання, відзначається важливість підготовки паливо-повітряної суміші для формування процесів саме об'ємного сумішоутворення.

Детально описано процес сумішоутворення, як основний та передуючий іншим чинник підвищення ефективності згорання. Особлива увага приділена дослідженню розвитку струменя з розпилювача форсунки. Наведено модель, яка пояснює розпад струменя в умовах протитиску у циліндрі, характеризує етапи формування ядра струменя та оболонки. Моделювання переміщення у просторі переднього фронту струменя підтверджено експериментальними дослідженнями, наведено результати відео реєстрації процесів сумішоутворення у камері згорання.

Здобувач обґрунтував, що найбільш сприятливими умовами для формування осередків згорання є ізостехіометрична поверхня паливного струменя. Такі осередки самозаймання дизельного палива з'являються не на поверхні, а саме всередині струменя. Детально розглянуто зміни орієнтації паливного струменя в просторі камери згорання під дією вихрового руху повітря і відповідне збільшення постачання повітря в зону згорання палива, як наслідок підвищення тиску впорскування палива і тиску наддуву.

Для забезпечення об'ємного сумішоутворення в дизелях з ПРП здобувач рекомендує проводити оптимізацію спрямованості соплових отворів бічних форсунок з урахуванням температури стінок камери згорання та швидкості потоку повітря. На думку автора, це забезпечить швидке і повне згорання практично будь-якого рідкого палива.

В третьому розділі наведено методи стендових досліджень та необхідне обладнання для конструкторських і доводочних робіт, впровадження нових технічних рішень для забезпечення необхідної потужності вітчизняних дизелів з ПРП. Описано безмоторний стенд для дослідження далекобійності паливного струменя та стенд з імітаційною головкою блока циліндрів двигуна з бічним упорскуванням палива та інтенсивним тангенціальним рухом повітря, подібним до дизелів з ПРП. Отримані на цих стендах експериментальні дані були використані для налаштування математичної моделі та в подальших теоретичних дослідженнях.

В четвертому розділі наведено математичну модель та алгоритм розрахунку переміщення фронту струменя в об'ємі камери згорання дизеля з ПРП. За основу математичної моделі було взято модель проф. М.Ф. Разлейцева, яка виділяє три етапи розвитку струменя. Запропоновано математичні залежності для розрахунку

далекобійності, кута розкриття струменя та зміщення його осі під впливом вихору у камері згорання. Для дизеля серії ТД визначені межі між ділянками початкового та основного розвитку струменя, наведено формули для визначення параметрів струменя на кожному з етапів.

Математична модель розраховує швидкість тепловиділення, індикаторний ККД, при цьому враховує сукупність факторів, які впливають на: утворення, розподіл та випаровування палива з поверхні струменя; характер і тривалість самозаймання; тривалість вигорання порції палива у виді струменя. Здобувачем запропоновано алгоритм розрахунку динаміки паливного струменя, який враховує параметри палива, параметри середовища в камері згорання та вплив від кінематики переміщення поршнів.

В п'ятому розділі виконано ідентифікацію математичної моделі та розрахунки динаміки паливного струменя за запропонованим алгоритмом. Обґрунтуванні та вибрані вихідні дані, результати моделювання проаналізовано, виконано порівняння із експериментом.

Для підтвердження достовірності моделювання наведено графічне зіставлення експериментального та модельованого струменя та величини похибок відповідно до етапів розвитку струменя. Візуалізація та характер розвитку фронту струменя узгоджуються з даними безмоторних експериментів зі схожими умовами розміщення форсунки та дії повітряного вихору.

На підставі аналізу конструктивних особливостей дизеля з ПРП, умов згорання палива при забезпеченні об'ємного сумішоутворення, здобувачем запропоновано декілька варіантів нерозділених камер згорання у поршні. Виконано проектування цих камер згорання у середовищі САПР. Результати проектування представлено як 3D моделі відповідних сталевих накладок на днище поршня.

Висновки до розділів та загальні висновки відповідають змісту дисертаційного дослідження.

Список використаних джерел із 50 найменувань досить повний, включає вітчизняні та зарубіжні публікації за тематикою дисертації.

Анотація відображає основний зміст дисертації та достатньо повно описує наукові результати та практичну цінність роботи.

Академічна доброчесність.

Порушень академічної доброчесності в дисертаційному дослідженні не виявлено. Усі наукові положення, які винесені автором на захист, отримані самостійно. У вступі дисертації чітко визначена дольова участь здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. В анотації та вступі пункти щодо наукової новизни та практичної цінності результатів роботи мають різний редакційний вид.
2. Замість терміну економічність дизеля слід використовувати – паливна економічність дизеля.
3. На стор. 9 для підтвердження практичної цінності результатів роботи згадується «патент на корисну модель». Далі в тексті дисертації, в списках використаної літератур, в додатках відомості про цей патент відсутні.
4. У вступі крім номера держреєстрації (ДР) наукової теми, слід вказувати роки її виконання, де здобувач був виконавцем.
5. На стор. 29 написано «... 5ЧН2х12/12 ... 6ЧН2х12/12...», що помилково відносить дизелі серії ТД до 4-тактних.
6. Потребує пояснення – чому була проведена ідентифікація математичної моделі саме на судновому мало обертовому дизелі Міцубісі.

Вказані недоліки і зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку виконаного дослідження.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Лала Аміра Гула «Підвищення ефективності згорання в опозитному двотактному двигуні з протилежним рухом поршнів» за своїм змістом відповідає спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка вирішує важливу науково-практичну задачу, яка полягає в удосконаленні сумішоутворення та поліпшенні ефективності згорання палива в двотактних дизелях серії ТД для підвищення енергетичних і паливно економічних показників та у розробці пов'язаних з цим технічних рішень.

Подана дисертаційна робота «Підвищення ефективності згоряння в опозитному двотактному двигуні з протилежним рухом поршнів» Лала А.Г. відповідає спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування, відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 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 КМУ від 12.01.2022 р. №44, а здобувач Лал Амір Гул заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 – Енергетичне машинобудування.

Офіційний опонент

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри двигунів і теплотехніки
Національного транспортного університету
29.01.2024

Анатолій ЛІСОВАЛ

ПІДПИС ЗАВІРЯЮ
Вчений секретар Національного
Транспортного Університету
проф. Мельниченко О.І.

