

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»**

Грицюк Олександр Васильович

УДК 621.436.1.12

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА ПРАКТИЧНІ МЕТОДИ  
СТВОРЕННЯ ВИСОКООБЕРТОВОГО МАЛОЛІТРАЖНОГО ДИЗЕЛЯ  
БАГАТОЦІЛЬОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Казенному підприємстві "Харківське конструкторське бюро з двигунобудування" Міністерства промислової політики України та на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор

**Парсаданов Ігор Володимирович,**

Національний технічний університет

"Харківський політехнічний інститут", головний науковий

співробітник кафедри двигунів внутрішнього згоряння

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

**Абрамчук Федір Іванович,**

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, м. Харків, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння

доктор технічних наук, професор

**Міщенко Микола Іванович,**

Автомобільно-дорожній інститут державного навчального закладу "Донецький національний технічний університет", м. Горлівка,

завідувач кафедри автомобілів і двигунів

доктор технічних наук, старший науковий співробітник

**Кульчицький Олексій Ремович,**

ТОВ "Володимирський моторо-тракторний завод", м. Володимир, Росія, начальник Центру випробувань двигунів

Захист відбудеться «30» червня 2010 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.13 у Національному технічному університеті "Харківський політехнічний інститут" за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, кафедра двигунів внутрішнього згоряння, ауд. 11.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут".

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2010 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Осетров О.О.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** До високооберткових малолітражних дизелів (ВМД) належать дизелі з робочим об'ємом циліндра  $\leq 0,5 \text{ дм}^3$  і частотою обертання колінчастого вала  $\geq 3000 \text{ хв}^{-1}$ . Такі дизелі мають широку сферу застосування, будучи незамінними в автомобільному транспорті, сільськогосподарській і дорожньо-будівельній техніці, електроагрегатах систем автономного електроживлення об'єктів народногосподарського і спеціального призначення і складаючи вагомую частину мобільної енергетики.

Україна має потребу в малолітражних дизелях, однак жодна зі спроб прискореного створення такого дизеля не набула широкого впровадження у виробництво. Були створені, пройшли випробування і впроваджені в виробництво лише малими партіями вітчизняні малолітражні дизелі для засобів малої механізації: V-подібні дизелі Ч 8,2/8,8 серії СМД (СМД-900 і СМД-1800) з робочим об'ємом циліндра  $V_h = 0,464 \text{ дм}^3$ , з безпосереднім упорскуванням палива і рядні дизелі Ч 7,9/8,2 серії ДТ (2ДТ, 2ДТХ, 2ДТМ, 4ДТС) з робочим об'ємом циліндра  $V_h = 0,402 \text{ дм}^3$  і вихорокамерним сумішоутворенням.

Значні розбіжності в основних конструктивних параметрах і компоновальних (схемних) рішеннях, відносно низький рівень ефективних, екологічних і експлуатаційних показників цих дизелів указують на відсутність теоретичних основ і практичних методів створення ВМД. Використання наявного досвіду шкіл двигунобудування України і СНД викликає труднощі через особливості процесів у ВМД, які пов'язані з високою частотою обертання колінчастого вала (КВ) і малими розмірами деталей і вузлів дизеля. Використання досвіду передових фірм Німеччини, Японії, США та інших країн вимагає суттєвої переробки базових конструкцій, застосування нового технологічного обладнання, заміни діагностичної і ремонтної баз.

Тому для вітчизняного малолітражного дизелебудування необхідно розробити і обґрунтувати нові рішення, які б дозволили у короткій термін забезпечити підготовку до виробництва ВМД багатоцільового призначення з високим технічним рівнем.

У зв'язку з цим актуальною є проблема розробки теоретичних основ та практичних методів створення ВМД багатоцільового призначення з конкурентоспроможним рівнем паливно-економічних і екологічних показників, яка і склала напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана в КП ХКБД та на кафедрі ДВЗ НТУ "ХПІ" відповідно до задач двох державних програм:

1. Державна програма виробництва технологічних комплексів машин та обладнання для АПК на 1998 - 2005 рр., що затверджена постановою КМУ від 30.03.98 № 403, термін дії якої по-

довжено на 2006 рік постановою КМУ від 24.03.06 № 362.

2. Державна програма розвитку виробництва вітчизняних малолітражних дизельних двигунів та силових і енергетичних установок для агропромислового комплексу на 2006 - 2010 рр., що затверджена постановою КМУ від 07.06.06 № 798.

Здобувач був науковим керівником і відповідальним виконавцем держбюджетних тем Міністерства промислової політики України: "Розробка сімейства малолітражних дизелів серії ДТА для малогабаритних та універсальних тракторів" (№ ДР 0199V 000157); "Створення нагрівальних позисторних пристроїв для запуску дизельних двигунів при низьких температурах" (№ ДР 0106U 012139); "Створення систем подачі палива тракторних дизелів для забезпечення норм EURO-3" (№ ДР 0106U 012140).

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка теоретичних основ та практичних методів створення високообертового малолітражного вітчизняного дизеля багатоцільового призначення з конкурентоспроможним рівнем паливно-економічних і екологічних показників.

Для досягнення мети були поставлені такі задачі:

1. Розробити метод оцінки перспективності ДВЗ на стадії проектування і обґрунтувати на його основі вибір основних конструктивних і регулювальних параметрів ВМД багатоцільового призначення.

2. Розробити комплекс методів математичного і фізичного моделювання процесів сумішоутворення і згоряння, параметрів повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску і передпускової підготовки для оцінки технічних рішень щодо забезпечення конкурентоспроможних паливно-економічних і екологічних показників ВМД багатоцільового призначення як у безнаддувному варіанті, так і з газотурбінним наддувом (ГТН).

3. Обґрунтувати конструктивні і компоновальні рішення для двоклапанної і чотириклапанної головок циліндрів ВМД із безпосереднім упорскуванням палива.

4. Запропонувати нову методику профілювання безударних кулачків механізму газорозподілу, що забезпечує підвищення наповнення свіжим зарядом циліндрів ВМД багатоцільового призначення.

5. Створити паливну апаратуру, що забезпечує збільшення максимального тиску та двофазне упорскування палива, і провести її дослідження.

6. Визначити раціональні параметри систем забезпечення та поліпшення пуску, які знижують негативний вплив на навколишнє середовище.

7. Розробити і реалізувати спосіб передпускової підготовки ВМД, що базується на локалізації зон підведення теплових потоків, та створити на основі позисторної кераміки промислові зра-

зки пристроїв для забезпечення передпускової підготовки ВМД.

8. Розробити і впровадити методика безмоторних випробувань стартера на режимах, що імітують пуск холодного та прогрітого ВМД.

9. Оцінити ефективність запропонованих методів і технічних рішень, які спрямовані на досягнення конкурентоспроможного рівня паливно-економічних і екологічних показників ВМД багатоцільового призначення, та визначити перспективи подальшого розвитку вітчизняного малолітражного дизелебудування.

*Об'єкт дослідження* – процеси і характеристики систем ВМД із безпосереднім упорскуванням палива.

*Предмет дослідження* – основні конструктивні та регульовальні параметри ВМД, показники процесів сумішоутворення і згоряння, повітропостачання і паливоподачі, системи газорозподілу, пуску і передпускової підготовки, які безпосередньо впливають на рівень паливної економічності і екологічності малолітражного дизеля.

*Методи дослідження.* Всі теоретичні положення дисертації базуються на фундаментальних основах теорії ДВЗ, термо-, газодинаміки, гідравліки, теоретичної механіки, теорії механізмів і машин і сучасному математичному інструментарії. У роботі використані методи багатовимірного статистичного аналізу для оцінки перспективності ДВЗ на стадії проектування та вибору основних конструктивних і регульовальних параметрів ВМД, комплекс аналітичних, чисельних та чисельно-аналітичних методів моделювання процесів повітропостачання і паливоподачі, профілювання безударних кулачкових механізмів газорозподілу, дослідження систем пуску і передпускової підготовки, експериментальне визначення на фізичних моделях показників витрати палива і викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ), метод планування експерименту (МПЕ) при дослідженні перехідних процесів пуску ВМД для визначення раціональних характеристик систем його забезпечення та поліпшення.

### **Наукова новизна отриманих результатів**

1. Вперше обґрунтовано та реалізовано самостійний напрям наукових досліджень у двигунобудуванні, що пов'язаний зі створенням високообертового малолітражного дизеля багатоцільового призначення.

2. Вперше розроблено і впроваджено на стадії проектування метод оцінки перспективності ДВЗ, який ґрунтується на положеннях багатовимірної статистики і взаємозв'язку ознак, що визначають конструктивні параметри дизеля та його ефективні і експлуатаційні показники.

3. Набула подальшого розвитку і удосконалена на базі розрахункового комплексу MTFS<sup>®</sup> тривимірна математична модель газодинамічних процесів у впускних каналах головок циліндрів ВМД із безпосереднім упорскуванням палива завдяки включенню в цю модель рівнянь для роз-

рахунку інтегрального значення коефіцієнта витрати каналу.

4. Розроблено метод проектування механізму газорозподілу (МГР) для ВМД, що забезпечує суттєве скорочення тривалості перекриття фаз газорозподілу (ФГ) у процесі газообміну при збереженні заданого часу-перерізу (ЧП) клапанів.

5. Удосконалено методику гідродинамічного розрахунку апаратури паливоподачі (ПА) безпосередньої дії ВМД із розробленою новою форсункою, що має диференціальний поршень та модулятор імпульсів тиску, за рахунок включення в розрахункову схему порожнини високого тиску над диференціальним поршнем (форсунка захищена патентом України).

6. Запропоновано новий спосіб передпускової підготовки ВМД, що базується на локалізації зон підводу теплових потоків, та комплексний показник, що характеризує еквівалентний тепловий стан готовності дизеля до пуску (нові пристрої передпускового розігріву захищені двома патентами України).

7. Вперше розроблено та реалізовано метод формування електромеханічних характеристик стартерів і механічних характеристик їхніх приводів, який ґрунтується на вимогах забезпечення пускової частоти прокручування і супроводження колінчастого вала ВМД у процесі холодного пуску.

#### **Практичне значення для двигунобудування мають:**

1. Результати обґрунтування вибору основних конструктивних та регулювальних параметрів ВМД та запропонований єдиний типорозмірний уніфікований ряд ВМД багатоцільового призначення.

2. Створений комплекс методів фізичного та математичного моделювання робочих процесів, параметрів повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску та передпускової підготовки для ВМД багатоцільового призначення.

3. Запропоновані конструктивні і компоувальні рішення для двоклапанної і чотириклапанної головок циліндрів ВМД із безпосереднім упорскуванням палива.

4. Розроблені та впроваджені у виробництво технічні рішення щодо забезпечення конкурентоспроможних паливно-економічних і екологічних показників ВМД багатоцільового призначення зі зменшеним відношенням ходу поршня до діаметра циліндра: паливна апаратура з регулюванням КВУП, регульований турбокомпресор з перепуском частини відпрацьованих газів в обхід турбіни, механізм газорозподілу зі зменшеним перекриттям ФГ у процесі газообміну та безударним профілем кулачків розподільного вала.

5. Упроваджена ПА безпосередньої дії зі збільшеним тиском упорскування та форсункою, що має диференціальний поршень і модулятор імпульсів тиску.

6. Поліпшені кінематичні характеристики руху впускних та випускних клапанів за рахунок вибору профілів кулачків і зміни конструкції приводу.

7. Рациональна характеристика зміни КВУП, необхідна потужність пускового пристрою та параметри калоризаторного запалювання палива в КЗ, які визначені з використанням МПЕ при перехідних процесах пуску ВМД.

8. Розроблені на базі позисторної кераміки зразки пристроїв для підготовки і забезпечення прискореного пуску ВМД із малим рівнем димності, що лягли в основу створення систем передпускового підігріву корінних опор колінчастого вала, масла в маслозабірному відсіку і палива вздовж усієї магістралі низького тиску.

9. Методика безмоторних випробувань стартера на режимах, що імітують пуск холодного та прогрітого дизеля.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені в КП ХКБД (м. Харків), заводі ім. В.О. Малишева (м. Харків), Борисівському заводі автотракторного електрообладнання (м. Борисів, Білорусь), а також у навчальних процесах при підготовці аспірантів та студентів на кафедрах двигунів внутрішнього згорання та системного аналізу і управління НТУ "ХПІ", двигунів внутрішнього згорання та теоретичної механіки і гідравліки ХНАДУ, теплотехніки та теплових двигунів та механіки і проектування машин УкрДАЗТ.

**Особистий внесок здобувача.** Всі основні положення дисертації здобувачем розроблені особисто. Серед них:

- розроблення теоретичних основ для створення вітчизняних перспективних високооберткових малолітражних дизелів багатоцільового призначення;
- розроблення і впровадження методу оцінки перспективності ДВЗ на стадії проектування;
- створення комплексу методів фізичного та математичного моделювання процесів сумішотворення та згорання, параметрів повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску і передпускової підготовки;
- запропонування компоновальних рішень для двоклапанної та чотириклапанної головок циліндрів ВМД із безпосереднім упрскуванням палива;
- запропонування конструкції та удосконалення методики гідродинамічного розрахунку ПА безпосередньої дії з введеним у конструкцію форсунки диференціальним поршнем (ФДП) і модулятором імпульсів тиску;
- застосування МПЕ у дослідженнях перехідних процесів пуску ВМД;
- запропонування способу передпускової підготовки ВМД, що базується на локалізації зон підводу теплових потоків, та комплексного показника, що характеризує еквівалентний тепловий стан готовності дизеля до пуску;



- розроблення системи передпускового підігріву корінних опор колінчастого вала, масла в маслозабірному відсіку і палива вздовж магістралі низького тиску;

- розроблення та впровадження методу формування електромеханічних характеристик стартерів і механічних характеристик їхніх приводів.

**Апробація результатів дисертації.** Результати досліджень доповідалися та обговорювалися на: 2-му Міжнародному з'їзді з теорії механізмів і машин (м. Харків, ІМІС НАН України, 2005 р.), на X - XIV Міжнародних конгресах двигунобудівників (с. Рибаче, Крим, Україна, 2005 - 2009 рр.), на X Міжнародній науково-практичній конференції "Актуальні проблеми управління якістю виробництва та експлуатації автотракторних засобів" (м. Володимир, Росія, Володим. держ. ун-т, 2004 р.), на X, XI Міжнародних науково-практ. конф. "Фундаментальні та прикладні проблеми вдосконалення поршневих двигунів" (м. Володимир, Росія, Володим. держ. ун-т, 2005 р., 2008 р.), на науково-технічній конференції ХНАДУ (м. Харків, Україна, 2005 р.), на міжнародній науково-технічній конференції MicroCad-09 (м. Харків, Україна, НТУ "ХП", 2009 р.).

Основні результати дисертаційного дослідження були розглянуті і позитивно оцінені на XIII Міжнародному конгресі двигунобудівників (2008 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 35 наукових праць. Серед них 21 праця - у наукових фахових виданнях ВАК України і 3 патенти України на винахід.

**Обсяг і структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, 6 розділів, висновків і додатків. Загальний обсяг дисертації складає 430 сторінок, з них 136 рисунків за текстом, 36 рисунків на 23 окремих сторінках; 40 таблиць за текстом, 18 таблиць на 19 окремих сторінках, 4 додатки на 71 сторінці. Список використаних джерел включає 205 найменувань на 24 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** розкрита суть наукової проблеми та обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовані мета і основні задачі роботи, наведені новизна і практична цінність отриманих результатів, надана інформація про особистий внесок здобувача в отримані результати досліджень і впровадження результатів роботи.

**Перший розділ** присвячений аналізу світового досвіду, теоретичному обґрунтуванню вибору основних конструктивних і регулювальних параметрів, прогнозуванню паливно-економічних і екологічних показників і формуванню стратегії дисертаційного дослідження щодо створення ВМД багатоцільового призначення.

У результаті виконаного аналізу можливих режимів роботи ВМД багатоцільового приз-

начення і перспектив досягнення його високого технічного рівня показано, що сучасні вимоги до паливно-економічних і екологічних показників багато в чому залежать від обґрунтованого вибору основних конструктивних параметрів і співвідношень, включаючи схемні рішення, на підставі яких забезпечується проектування елементів конструкції і систем.

Для обґрунтованого вибору основних конструктивних параметрів і співвідношень використана інформація за період з 1996 по 2006 роки по усіх ВМД та вибіркова інформація про конструктивні і регульовальні параметри 78 чотирициліндрових рядних ВМД із ГТН і охолодженням наддувочного повітря (ОНП). Оперативний пошук вихідних даних про дизелі світових виробників проведено за допомогою інформаційно-пошукової системи КАД. Для обробки цих даних у дисертаційній роботі застосовані методи багатовимірної статистичного аналізу, які включають кореляційний аналіз, аналіз на основі інформаційних показників зв'язку, аналіз основних тенденцій розвитку на основі часових рядів, а також використання статистичного програмного забезпечення SYSTAT 12.

Аналіз тенденцій розвитку на основі часових рядів, який проведено на підставі перетворених до лінійних трендів даних (рис. 1), показав, що прогнозовані на момент початку розробки основні параметри перспективних малолітражних дизелів, які забезпечують конкурентоспроможний рівень показників створюваному ВМД, мають такі значення:

Робочий об'єм циліндра, $\text{дм}^3$	0,4995
Ступінь стиску	18,52
Відношення S/D	1,09
Літрова потужність, $\text{кВт/дм}^3$	41,41
Середня швидкість поршня, м/с	11,96
Максимальний крутний момент, Н·м	249,26
Частота обертання КВ при максимальному крутному моменті, $\text{хв}^{-1}$	1880,45
Коефіцієнт пристосовності	1,288

Середня помилка прогнозування для всіх параметрів, що досліджуються, не перевищує 5%.

Аналіз даних прогнозу показав, що їх копіювання для створюваних конструкцій приведе до збільшення габаритів ВМД по висоті, що робить неможливим або суттєво ускладнює їх установку в підкапотних просторах і моторних відсіках малогабаритних тракторів, автокарів, суден, вантажно-пасажирських автомобілів і мікроавтобусів, де раніше застосовувалися двигуни з іскровим запалюванням, які вже визначили габарити моторного відділення. Саме ці габарити зажадалися державними технічними завданнями на розробку ВМД.

Рис. 1. Зміна математичних очікувань основних параметрів ВМД по роках випуску: а - ступінь стиску; б - робочий об'єм; в - відношення S/D; г - літрова потужність

Другим важливим фактором проти застосування отриманих даних для ВМД багатоцільового призначення є обмеження максимальної частоти обертання колінчастого вала, що суттєво впливає на питомі показники літрової потужності та маси двигуна і також знижує його конкурентоспроможність.

Тому на базі кореляційного аналізу та аналізу на основі інформаційних показників взаємозв'язку встановлено ступінь впливу того або іншого конструктивного параметра на ефективні і експлуатаційні показники ДВЗ. У результаті визначено (табл. 1), що відповідно до найбільш інформаційного показника – множинного інформаційного коефіцієнта зв'язку – найбільш суттєвим фактором при створенні конкурентоспроможного ВМД (сім позицій із семи) є узгодження значень робочого об'єму і ступеня стиску.

Результуюча таблиця аналізу взаємозв'язку між основними конструктивними параметрами та ефективними і експлуатаційними показниками

Показник ступеня взаємозв'язку параметрів	Конструктивний параметр найбільшого впливу для ефективних і експлуатаційних показників						
	Номінальна потужність	Максимальний крутний момент	Частота обертання при $M_{кр\max}$	Літрова потужність	Середня швидкість поршня	Швидкісний коефіцієнт	Коефіцієнт пристосованості
Коефіцієнт парної кореляції	Робочий об'єм	Робочий об'єм	Ступінь стиску	Ступінь стиску	Відношення S/D	Робочий об'єм	Робочий об'єм
Симетричний інформаційний коефіцієнт зв'язку	Робочий об'єм	Робочий об'єм	Ступінь стиску	Ступінь стиску	Відношення S/D	Ступінь стиску	Ступінь стиску
Множинний коефіцієнт кореляції	Робочий об'єм і відношення S/D	Робочий об'єм і відношення S/D	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і відношення S/D	Ступінь стиску і відношення S/D	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і відношення S/D
Множинний інформаційний коефіцієнт зв'язку для трьох параметрів	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску	Робочий об'єм і ступінь стиску

Цей висновок обґрунтував можливість коректування відношення S/D у порівнянні з даними прогнозу та дозволив з урахуванням граничних умов для створюваного ВМД багатocільового призначення вибрати такі основні конструктивні параметри:

Діаметр циліндра, мм	88
Хід поршня, мм	82
Робочий об'єм циліндра, $\text{дм}^3$	0,498
Ступінь стиску	18,5
Відношення S/D	0,93

Відмінність обраного значення відношення  $S/D$  від даних прогнозу пов'язана з результатом вибору ходу поршня виходячи з його середньої швидкості і необхідної для багатоцільового ВМД максимальної частоти обертання КВ. При цьому на базі тієї ж самої вибірки з 78 дизелів встановлено, що на сьогодні не існує досвіду створення ВМД багатоцільового призначення зі зменшеним відношенням ходу поршня до діаметра циліндра (рис. 2).

Рис. 2. Апроксимація функції розподілу основних конструктивних параметрів закордонних ВМД із наступною екстраполяцією в інтервалі

$$S/D = 0,95...1,05$$

ми створення багатоцільового ВМД зі зменшеним відношенням  $S/D$  у частині вирішення задач забезпечення необхідних паливно-економічних і екологічних показників ВМД при зменшеному відношенні  $V_K/V_C$ , а саме, можливого погіршенні: використання повітряного заряду, умов реалізації необхідного ступеня стиску, пускових якостей внаслідок низького ступеня стиску.

Недостатність наукового заділу підтверджує актуальність дисертаційного дослідження з розробки теоретичних основ та практичних методів створення високообертового малолітражного вітчизняного дизеля багатоцільового призначення з конкурентоспроможним рівнем паливно-економічних і екологічних показників та необхідність розв'язання задач створення методів математичного і фізичного моделювання процесів сумішоутворення і згоряння, параметрів повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску і передпускової підготовки в умовах зменшеного відношення ходу поршня до діаметра циліндра ВМД.

У другому розділі описані методи розрахункових і експериментальних досліджень ВМД багатоцільового призначення, які спрямовані на розв'язання задачі організації ефективного сумішоутворення і згоряння.

В основу моделювання процесів сумішоутворення і згоряння покладені методики НТУ "ХПІ", МАДІ, ЯМЗ, НАМІ і НАТІ, що дозволяють визначити при безпосередньому упорскуванні палива раціональне поєднання газодинамічних характеристик повітряного заряду з геометричними характеристиками КЗ, характеристикою подачі палива і кількістю соплових отворів розпилювача форсунки.

Такий висновок зроблено на підставі того, що спроба екстраполяції функції, яка описує область розподілу основних конструктивних параметрів, в інтервали відношень  $S/D$  для короткоходового двигуна (0,9...1,05) показує вихід на абсолютно нереальні та неприйнятні для сучасних конструкцій ВМД числові значення величин ступеня стиску. Це вказує на недостатність світового досвіду у розв'язанні проблеми

Моделювання проведене для схем організації робочого процесу з дво- і чотириклапанною головками циліндра (рис. 3).

а б

Рис. 3. Схеми організації сумішоутворення у ВМД:

а - при чотириклапанній головці циліндрів;

б - при двоклапанній головці циліндрів

Визначення параметрів робочого процесу проводилося з використанням програмного комплексу ДИЗЕЛЬ-РК, який дозволяє візуалізувати умови сумішоутворення в циліндричній КЗ (рис. 4).

*Моделювання газодинамічних процесів у впускному тракті головки циліндра* призначено для забезпечення необхідних характеристик руху повітряного заряду в камері згоряння при максимальному наповненні циліндра. У роботах Глаголева М.М., Сімсона А.Е., Ефроса В.В., Гальговського В.Р., Віхерта М.М., Парсаданова І.В. та ін. показано, що розв'язання задачі моделювання газодинамічних процесів у каналах головки циліндрів пов'язано в першу чергу з проведенням експериментів зі статичної продувки впускних каналів на спеціальній аеродинамічній установці.

Для моделювання газодинамічних процесів у впускному тракті головки циліндра розроблено і реалізовано алгоритм створення, тестування і верифікації математичної моделі, який разом з розробленим пристроєм для виміру кутової швидкості обертання повітряного заряду (рис. 5) та фізичною моделлю впускного тракту головки циліндра передбачає паралельне проведення експериментальних і розрахункових досліджень. У процесі удосконалення розрахункового методу, який реалізовано у програмному комплексі MTFS<sup>®</sup>, відпрацьовані конструкції впускних каналів чотириклапанної головки циліндрів ВМД. Поточні розрахунки при настроюванні моделі за результатами статичної продувки проводилися через 10 град. повороту КВ ( $\varphi$ ). При кожному значенні кута  $\varphi$  у моделі уточнювалися граничні умови і підйом клапана. За результатами кожного розрахунку визначалися відповідні значення вихрового відношення  $H(\varphi)$ , витрати повітря  $G(\varphi)$  і коефіцієнта витрати  $\mu_{en}(\varphi)$ .

а б

в г

Рис. 4. Візуалізація сумішоутворення в циліндричній КЗ  
ВМД:

а...г - етапи розвитку струменів

Інтегральні за такт впуску величини для режиму, який досліджувався, визначалися за формулами:

- вихрове відношення

$$H_{\Sigma} = \frac{\int_{\varphi_0}^{\varphi_K} H(\varphi) \cdot G(\varphi) \cdot d\varphi}{\int_{\varphi_0}^{\varphi_K} G(\varphi) \cdot d\varphi}, \quad (1)$$

- циклова витрата повітря

$$G_{\Sigma} = \int_{\varphi_0}^{\varphi_K} G(\varphi) \cdot d\varphi, \quad (2)$$

- коефіцієнт витрати впускного тракту

$$\mu_{\Sigma} = \frac{\int_{\varphi_0}^{\varphi_K} \mu_{\text{en}}(\varphi) \cdot G(\varphi) \cdot d\varphi}{\int_{\varphi_0}^{\varphi_K} G(\varphi) \cdot d\varphi}, \quad (3)$$

Удосконалення моделі розрахунку шляхом включення до неї рівнянь для розрахунку інтегрального значення коефіцієнта витрати каналу особливо важливо для ВМД, тому що саме малолітражні дизелі вимагають ретельного контролю двох ключових

Рис. 5. Розроблений пристрій для виміру кутової швидкості обертання повітряного заряду: **1** - гільза циліндра ВМД; **2** - обтічник; **3** - спрямна решітка; **4** - вал; **5** - підшипники; **6** - обичайка; **7** - бандаж; **8** - болти фіксації зазору

параметрів – вихрового відношення і середнього коефіцієнта витрати.

Необхідність розробки методики профілювання безударних кулачків механізмів газорозподілу визначена суттєвим скороченням тривалості перекриття фаз газорозподілу при реалізації необхідного ступеня стиску для короткоходового ВМД. При розробці даної методики застосовано підхід, запропонований проф. Морозом В.І. і доц. Братченко О.В., що забезпечує профілювання безударних кулачків клапанного приводу в умовах зменшеного перекриття ФГ шляхом формування базових

вої кривої прискорень (рис. 6) окремими спряженими кривими ступеневих функцій. Ця крива складається з п'яти плавно спряжених ділянок. На ділянці збігу (0 - 1) кутовою довжиною  $\Phi_{01}$  прискорення  $a$  описують напівхвилі синусоїди, далі для робочого профілю кулачка на ділянці (1 - 2) довжиною  $\Phi_{12}$  – ступенева функція 3-го ступеня, на ділянці (2 - 3) довжиною  $\Phi_{23}$  – ступенева функція 12-го ступеня, на ділянці (3 - 4) довжиною  $\Phi_{34}$  – ступенева функція 3-го ступеня, а на ділянці (4 - 5) довжиною  $\Phi_{45}$  – дуга параболи, що примикає до неї.

Для оцінки ефективності різних варіантів профілів кулачків по ЧП клапанів в розрахункових дослідженнях визначається коефіцієнт повноти діаграми переміщень клапана  $\eta_n$ :

$$\eta_n = \frac{\int_0^{\varphi_\delta} h_i d\varphi}{h_{кл\ max} \cdot \varphi_\delta}, \quad (4)$$

Рис. 6. Безударна крива прискорень штовхача за новою методикою профілювання

де  $\int_0^{\varphi_\delta} h_i d\varphi$  – площа під кривою

переміщень клапанів;  $h_{кл\ max}$  – максимальна висота підйому клапана;  $\varphi_\delta$  – кут дії кулачка (відповідає кутовій довжині відкриття клапанів).

При моделюванні роботи паливної апаратури безпосередньої дії з'явилась потреба розробки практичного методу гідродинамічного розрахунку ПА, яка забезпечує ефективне упорскування і керування його характеристикою. Важливим елементом модернізованої паливної системи (ПС) є запропонована форсунка ФДП (рис. 7), яка має диференціальний поршень і модулятор імпульсів тиску.

Для моделювання роботи ПС із ФДП за основу була обрана методика проф. Фоміна Ю.Я., яка доповнена проф. Григор'євим О.Л. Основні відмінності удосконаленої методики полягають у введенні в розрахункову схему п'ятого об'єму – порожнини високого тиску під поршнем ФДП, моделі авторегульованого клапану і алгоритму розрахунку особливостей роботи пружини форсунки. Для цього алгоритм розрахунку, у якому добре відоме телеграфне рівняння вирішується чисельно методом характеристик, доповнюється рівнянням об'ємного балансу додаткової порожнини, яке записано у вигляді:

$$\beta_m \cdot (V + f_n \cdot h_n) \cdot dp_{\phi i} / dt = f_m \cdot (U_m - U'_m) + dV_{звил} / dt - \mu f_2^n \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} \cdot (p_{\phi i} - p_{звил})}, \quad (5)$$



де  $\beta_m$  - коефіцієнт стисливості палива;  $f_n$  - площа поперечного перерізу поршня;  $V, V_{звіль}$  - об'єми над поршнем і звільнений поршнем при його переміщенні;  $h_n$  - переміщення поршня;  $p_{\phi i}$  - тиск палива в порожнині над поршнем;  $p_{звіль}$  - тиск палива в порожнині, яка розташована після запірнього конуса поршня;  $f_m$  - площа поперечного перерізу паливопровода;  $U_m, U'_m$  - швидкість руху палива на вході та виході паливопровода;  $\rho$  - густина палива;  $\mu f_c^n$  - ефективний прохідний переріз конуса поршня.

Рис. 7. Форсунка з диференціальним поршнем:

1 - поршень; 2 - пружина; 3 - голка

Для збереження "ланцюгової" схеми розрахунку в системі рівнянь, які описують рух голки і поршня форсунки, включені функції  $\Sigma_i(t)$  і  $\Sigma_n(t)$ , що визначають швидкості переміщення торців пружини з урахуванням часу  $\Delta t = 0,5 \cdot T_{np}$  поширення деформації пружиною. Система рівнянь, що описує рух голки, має вигляд:

$$\begin{cases} m_i \frac{d^2 h_i}{dt^2} = f_i \cdot (P_{\phi}(t) - P_{\phi o}) - k_{np} \cdot C_i(t) + \Sigma_n(t - \Delta t) + \Sigma_i(t) \\ \frac{dh_i}{dt} = C_i(t), \end{cases} \quad (6)$$

де  $m_i$  - маса голки і деталей, що переміщуються з нею;  $h_i$  - переміщення голки;  $P_{\phi}$  - тиск палива в порожнині розпилювача над голкою;  $f_i$  - площа поперечного перерізу голки;  $C_i$  - швидкість переміщення голки;  $h_{io}$  - попередній стиск пружини;  $k_{np} = 0,5 \cdot Z_{np} \cdot T_{np}$ ;  $T_{np}$  - період основної форми коливань пружини форсунки при закріплених кінцях  $T_{np} = 2 \cdot \sqrt{m_{np} / Z_{np}}$ ;  $Z_{np}$  - коефіцієнт жорсткості пружини;  $m_{np}$  - маса пружини.

Рівняння руху поршня ФДП:

$$\begin{cases} m_n \frac{d^2 h_n}{dt^2} = f_n \cdot (P_{\phi i} - P_{no}^{nonpered}) - k_{np} \cdot C_n(t) + \Sigma_i(t - \Delta t) + \Sigma_n(t) \\ \frac{dh_n}{dt} = C_n(t), \end{cases} \quad (7)$$

де  $m_n$  - маса поршня;  $C_n$  - швидкість переміщення поршня;  $P_{no}^{nonpered}$  - тиск палива, що відповідає початку переміщення поршня.

Удосконалена методика дозволяє провести вибір конструктивних параметрів ФДП для її раціонального настроювання з метою одержання максимального тиску упорскування, організації двофазного упорскування на режимах холостого ходу та ступінчастого або однофазного з пологим переднім фронтом - на інших режимах роботи ВМД.

Методика дослідження систем пуску і передпускової підготовки необхідна для рішення задачі прискореного пуску зі зменшеною димністю відпрацьованих газів, що дозволяє поліпшити екологічні показники ВМД.

В основу рішення цієї задачі покладено три специфічних для двигунобудування підходи, а саме:

1) вибір раціональних для пуску ВМД кута випередження упорскування палива, температури попереднього розігріву свічки накалювання, що забезпечує калоризаторне запалювання палива, і мінімально припустимої частоти прокручування колінчастого вала стартером;

2) спеціальне формування для ВМД електромеханічних характеристик стартерів і механічних характеристик їх приводів;

3) розробка нових способів передпускової підготовки і комплексу пристроїв передпускового підігріву, що включає систему локального підігріву критичних вузлів тертя, маслозабірний відсік, що підігрівається у піддоні дизеля, і систему підігріву палива.

Для визначення моменту опору ВМД прокручуванню КВ використана класична методика тарованого стартера:

$$M_{\text{опор.ср.}} = M_{\text{СТ}\Sigma} \cdot \eta_z \cdot i_{\text{СТД}}, \quad (8)$$

де  $M_{\text{СТ}\Sigma}$  - момент на вихідному валу стартера;  $\eta_z$  - ККД приводу стартера, що приблизно дорівнює 0,85;  $i_{\text{СТД}}$  - передаточне відношення від стартера до колінчастого вала дизеля.

$$M_{\text{СТ}\Sigma} = a \cdot I_{\text{СТ}\Sigma} - b; \quad (9)$$

$$I_{\text{СТ}\Sigma} = \int_0^{720} I_{\text{СТ}} \cdot d\varphi / 720, \quad (10)$$

де  $a$  і  $b$  - сталі для кожного стартера коефіцієнти;  $I_{\text{СТ}}$  - струм стартера.

Момент  $M_{\text{СТ}\Sigma}$  та струм  $I_{\text{СТ}\Sigma}$  визначаються як інтегральні величини за чотири послідовних такти прокручування КВ

Використання як незалежної змінної  $I_{\text{СТ}\Sigma}$  і перехід до потужнісних характеристик стартерів дозволили запропонувати зручну для ВМД (рис. 8) методику остаточного узгодження характеристик дизеля з вибором передаточного відношення привода, що в свою чергу дозволяє проводити одночасну розробку стартерів і ВМД, для комплектації яких вони призначені.

Рис. 8. Характеристика спільної роботи стартера 515.3708 і дизеля 4ДТНА на зимовому моторному маслі при  $i_{\text{СТД}} = 12,78; 11,5; 10,45$  і  $9,58$ :

Новою у математичному моделюванні систем передпускового підігріву стала розробка номограми визначення еквівалентного теплового стану ВМД, приклад використання якої показано на рис. 9.

Рис. 9. Зміна еквівалентного теплового стану ВМД

*Методи експериментальних досліджень* застосовані з метою одержання даних для математичного моделювання та для оцінки ефективності запропонованих способів удосконалення показників ВМД. Для реалізації цих методів спеціально створені: безмоторна установка для статичної продувки впускного тракту головки циліндра; два одноциліндрових відсіки 1ДТА з двоклапанною та 1ДТНА2 з чотиріклапанною головками циліндрів і спеціально дообладнано безмоторний стенд КИ22205-02 для випробувань ПА.

Об'єктами фізичного моделювання у складі одноциліндрових відсіків стали:

*для варіантів зборок одноциліндрового відсіку 1ДТА:*

- 1) двоклапанна головка для безпосереднього упорскування палива зі зміщенням і нахилом осі форсунки відносно вертикальної осі циліндра;
- 2) поршні з різними конфігураціями камер згоряння;
- 3) паливні насоси високого тиску з плунжерними парами діаметром 6,5; 7,5 і 8 мм;
- 4) форсунки однопружинна, двопружинна і з диференціальним поршнем;
- 5) розподільні вали з впускними і випускними кулачками Курца і з кулачками, які спрофільовано за новою методикою.

*для варіантів зборок одноциліндрового відсіку 1ДТНА2:*

- 1) чотиріклапанна головка циліндрів з центральним розташуванням форсунки;
- 2) форсунки однопружинна, двопружинна і з диференціальним поршнем;
- 3) розподільні вали з кулачками Курца і з кулачками, які спрофільовано за новою методикою.

Рис. 10. Схема установки датчика для вимірювання тиску упорскування:

**1** - розпилювач; **2** - кишень розпилювача; **3** - соплові отвори; **4** - колодязь розпилювача; **5** - адаптер; **6** - штуцер; **7** - п'єзодатчик Т6000

комплексі забезпечували: п'єзоелектричні датчики Т6000 і AVL 8QP505cs для виміру тиску палива під голкою форсунки (рис. 10), тиску перед форсункою і тиску в циліндрі ВМД відповідно; датчик 92VB- 9F479AA для виміру тиску у впускному ресивері; датчик 191.3847 для реєстрації частоти обертання і положення КВ і датчик положення кулачкового вала (2112-3706040- 04).

Сигнали безпосередньо з датчиків або через підсилювачі сигналу Bguel&Kjaer 2626 подавалися на аналого-цифровий перетворювач L-783 фірми L-Card, а їх обробка здійснювалась засобами програми Power Graph 3.1.

Для оцінки робочого процесу визначалися індикаторні та ефективні показники дизеля, температура, токсичність і димність відпрацьованих газів. Обробка експериментальних індикаторних діаграм проводилася за допомогою розробленого на кафедрі ДВЗ НТУ "ХПІ" програмного забезпечення Diesel Analiz (рис. 11).

Рис. 11. Діалогове вікно програми обробки індикаторних діаграм

При визначенні параметрів упорскування форсунок на безмоторному стенді та при проведенні стендових випробувань одноциліндрових відсіків крім традиційних засобів одержання і відображення дослідних даних використовувався сучасний вимірювальний комплекс, який відображає інформацію на дисплеї комп'ютера.

Вимірювання параметрів у цьому

Оцінка складу відпрацьованих газів проводилася шляхом порівняння питомих екологічних показників, які отримано на одноциліндрових відсіках та повнорозмірних дизелях, на режимах 13-ступінчастого випробувального циклу навантажень. Для цього на кожному з таких режимів вимірялися значення об'ємних концентрацій ( $\text{млн}^{-1}$ )

CO, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> і NO<sub>x</sub> у складі ВГ за допомогою газоаналізаторів безперервної дії ПІАМ-24 і Клен-22. Оптичну густину диму вимірювали за допомогою димоміра ЛМСІ-90.

Окрім того, у роботі застосовано метод математичного планування експерименту не тільки при дослідженні стаціонарних процесів у ВМД, а і для дослідження процесу пуску. Розрахункове дослідження отриманих залежностей проводилося за допомогою універсального програмного забезпечення MATLAB з наступним графічним відображенням результатів у дво- і тривимірному просторах.

**Третій розділ** роботи присвячений результатам проведених досліджень, які спрямовано на досягнення перспективного рівня паливно-економічних і екологічних показників ВМД за рахунок удосконалення повітропостачання. За запропонованою методикою моделювання статичної продувки впускних трактів проведено розрахункове дослідження газодинамічних характеристик впускного тракту двоклапанної головки циліндра, у результаті якого визначені раціональна форма і розташування впускного каналу щодо осі гільзи циліндра. Установлено, що зміщення площини, яка проходить через вісь клапанів, відносно осі циліндра на 8 мм при одночасному удосконаленні вхідної частини впускного каналу дозволяє збільшити вихрове відношення на ~57% у порівнянні з базовим варіантом при збереженні витрати повітря і незначному зменшенні коефіцієнта витрати впускного тракту (табл. 2 і 3).

Показано, що суттєве збільшення закручення повітряного заряду відносно осі циліндра (рис. 12) при зміщенні клапанів і удосконаленні профілю частини каналу, що підводить повітря до надклапанної камери, відбувається через зростання тієї частки потоку, яка підводиться дотично до стінки циліндра. Установлено, що у всіх досліджуваних варіантах при частоті обертання КВ 4200 хв<sup>-1</sup> збільшується область вихору, протилежно спрямованого основному закрученню заряду відносно осі циліндра, що обмежує ріст інтегрального вихрового відношення і підтверджує доцільність застосування для таких частот чотириклапанної схеми газорозподілу.

Таблиця 2

Результати розрахунків для базового каналу

Режим роботи ВМД	Витрата повітря за цикл, Гц, г/ц	Вихрове відношення, Н <sub>Σ</sub>	Коефіцієнт витрати, μ <sub>Σ</sub>
$n_{\text{КВ}} = 2050 \text{ хв}^{-1}$	0,86	1,7	0,79
$n_{\text{КВ}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$	0,87	1,9	0,78
$n_{\text{КВ}} = 4200 \text{ хв}^{-1}$	0,87	2,1	0,76

Таблиця 3

## Результати розрахунків для удосконаленого каналу

Режим роботи ВМД	Витрата повітря за цикл, Гц, г/ц	Вихрове відношення, $N_{\Sigma}$	Коефіцієнт витрати, $\mu_{\Sigma}$
$n_{\text{кв}} = 2050 \text{ хв}^{-1}$	0,86	2,6	0,76
$n_{\text{кв}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$	0,87	3,1	0,75
$n_{\text{кв}} = 4200 \text{ хв}^{-1}$	0,87	3,3	0,71

Суттєвий вплив на показники повітропостачання чинить МГР. Розрахункове й експериментальне дослідження безударних профілів кулачків розподільних валів МГР, що забезпечують ефективне ЧП клапанів, прове-

Рис. 12. Вектори швидкості в контрольному перерізі циліндра для удосконаленого каналу

дено при обґрунтованих і обраних у даній роботі звужених фазах газорозподілу:

- початок відкриття випускного клапана 60 град. п.к.в. до НМТ;
- закриття випускного клапана 10 град. п.к.в. після ВМТ;
- початок відкриття впускного клапана 15 град. п.к.в. до ВМТ;
- закриття впускного клапана 35 град. п.к.в. після НМТ.

Результати розрахункового дослідження з моделювання кінематичних характеристик впускних і випускних клапанів із запропонованими профілями кулачків подані на прикладі МГР для чотириклапанної головки циліндрів. Установлено, що запропонований метод профілювання кулачків (рис. 13) забезпечує, у порівнянні з методом Курца, необхідну максимальну величину підйому клапанів 8,6 мм і ріст значення коефіцієнта  $\eta_{\text{п}}$  на 9,1% для впускних клапанів і на 16,2% - для випускних.

Рис. 13. Залежності ходу клапанів дизеля 1ДТНА2 від кута повороту кулачкового вала: а – впускні клапани; б – випускні клапани

Рис. 14. Графік переміщення поршня ( $S_p$ ) і клапанів ( $h_{кл.}$ ) у залежності від кута повороту КВ дизельного відсіку 1ДТА:

Показано, що реалізовані на ВМД серії ДТА характеристики переміщення поршня і підйому клапанів (рис. 14) дозволяють при обраному ступені стиску 18,5 зменшити "шкідливий" об'єм камери згоряння на 20,2%, забезпечивши збільшення  $V_k/V_c$  з 0,65 до 0,725.

Упровадження нової методики забезпечило зниження питомої ефективної витрати палива на 3 – 4,5%, ріст витрати повітря на 10 – 15% і зниження температури відпрацьованих газів на 10 – 20 К.

Додатковим фактором, що забезпечує ефективне повітропостачання ВМД, став вибір раціональних параметрів агрегатів газотурбінного наддуву. За результатами виконаних у роботі досліджень обрана і раціоналізована зона робочих режимів турбокомпресорів для тракторного варіанта ВМД (4ДТА) та для автомобільного варіанта ВМД (4ДТНА1, рис. 15). При цьому зони максимальних ККД турбокомпресора для обох варіантів ВМД забезпечені в області найбільш характерних експлуатаційних режимів їх роботи.

У четвертому розділі наведені результати розрахункових і експериментальних досліджень ПА ВМД багатопільового призначення, що відображають процес модернізації розділеної ПА безпосередньої дії. При дослідженні модернізованої ПА вирішувалися задачі забезпечення тиску упорскування 80 - 100 МПа при циклових подачах 53 - 56 мм<sup>3</sup>/цикл, можливості управління характеристикою упорскування та управління кутом випередження упорскування палива у залежності від режимів роботи ВМД.

Як базова розглядалася розділена паливна система безпосередньої дії з блочними секційними паливними насосами високого тиску, золотниковим управлінням цикловою подачею і КВУП. Упорскування палива у базовій ПА здійснюється форсунками закритого типу з внутрішнім дренажем. Регулювання циклової подачі й КВУП забезпечується оригінальною гідромеханічною системою керування, чутливим елементом якої є сама рейка ПНВТ. Для вимірювання частоти обертання використовується тиск палива, який задається вантажем-золотником та є пропорційним квадратові частоти обертання КВ дизеля.

Аналіз конструкції базової ПА показав подальшу можливість форсування паливоподачі установкою кулачкового вала з профілем, що забезпечує максимальну швидкість плунжера  $V_{пл. max} = 2,86$  м/с замість  $V_{пл. max} = 1,64$  м/с, і застосуванням плунжерних пар з діаметром плунжера  $d_{пл.} = 7,5$  і  $8,0$  мм замість  $d_{пл.} = 6,5$  мм.

Випробуваннями на безмоторному паливному стенді показано, що при циклових подачах палива ( $g_{ц}$ ), які характерні для швидкісних режимів створюваного ВМД, традиційний спосіб форсування паливоподачі дозволяє забезпечити такі показники:

1) при  $n_{кв} = 2050$  хв<sup>-1</sup> і  $g_{ц} = 52...54$  мм<sup>3</sup> – максимальний тиск ( $P_{a_{max}}$ ) = 40 МПа при тривалості упорскування ( $\phi_{упор.}$ ) = 26 град. п.к.в.;

2) при  $n_{кв} = 3000$  хв<sup>-1</sup> і  $g_{ц} = 53...56$  мм<sup>3</sup> –  $P_{a_{max}} = 60$  МПа при  $\phi_{упор.} = 30,5$  град. п.к.в.;

3) при  $n_{кв} = 4200$  хв<sup>-1</sup> і  $g_{ц} = 55...56$  мм<sup>3</sup> –  $P_{a_{max}} = 82$  МПа при  $\phi_{упор.} = 42,5$  град. п.к.в.

Такі показники не задовольняють перспективні вимоги, що ставляться до ВМД. Подальше форсування упорскування з одночасним керуванням його характеристикою досягнуто введенням у конструкцію форсунки диференціального поршня та модулятора імпульсів тиску. Проведені розрахунки

Рис. 15. Характеристика модернізованого турбокомпресора ТКР5,5С- 4 і поле його робочих режимів у складі автомобільної модифікації дизеля



ві і експериментальні дослідження, результати яких та їх зіставлення наведені в табл. 4 і на рис. 16, показали можливість збільшення тиску та реалізації однофазного, двофазного і ступінчастого упорскування палива на всіх досліджуваних режимах роботи дизеля, зокрема і на режимах холостого ходу при  $g_{ц} = 8...12 \text{ мм}^3$  (рис. 17).

Таблиця 4

Результати дослідження показників упорскування палива ПА з ФДП  
на безмоторному стенді

$n_{\text{кул. вал}},$ $\text{ХВ}^{-1}$	$q_{ц},$ $\text{мм}^3$	Тиск упорскування, МПа		Тривалість упорскування, град. кул. вала		Закон паливоподачі
		розрахунок	експеримент	розрахунок	експеримент	
400	8,7	18	20	2,5	1,65	двофазний
1025	19	41	39	7,2	6,6	ступінчастий
1025	35	46	48	8,9	9,3	ступінчастий
1025	50	51	51	10,5	11,2	ступінчастий
1500	19	49	45	6,9	7,7	ступінчастий
1500	36	66	68	12,8	13,0	ступінчастий
1500	52	68	70	16,0	15,7	ступінчастий
1800	19	57	55	8,3	7,9	ступінчастий
1800	33	68	69	12,5	13	ступінчастий
1800	50	79	84	16	15,3	ступінчастий
2100	22	78	80	12,1	12,9	ступінчастий
2100	34	88	92	13,6	13,8	однофазний
2100	50	103	100	18	17,8	однофазний

а

б

в

Рис. 16. Експериментальні криві зміни тиску  $P_a$  під голкою розпилювача форсунки з диференціальним поршнем:

$$а - n_{KB} = 2050 \text{ хв}^{-1};$$

$$б - n_{KB} = 3000 \text{ хв}^{-1};$$

$$в - n_{KB} = 4020 \text{ хв}^{-1}$$

ефективної витрати палива ( $g_e$ ) на 18,9%.

У п'ятому розділі ґрунтуючись на результатах робіт зі створення систем повітропостачання і паливоподачі, розглянуті шляхи подальшого підвищення ефективності сумішоутворення і згоряння за рахунок вибору раціональної форми камери згоряння та наведені теоретичні основи і принципи розробки системи пуску, що також впливає на паливно-економічні та екологічні показники ВМД.

Рис. 17. Осцилограма зміни тиску  $P_a$  під голкою розпилювача форсунки з диференціальним поршнем ( $q_{ц} = 8,7 \text{ мм}^3$ ,  $n_{KB} = 800 \text{ хв}^{-1}$ )

Рис. 18. Зміна тиску  $P_{\phi}$  у базовій, модернізованій і запропонованій ПА на режимі ( $n_{KB} = 3000 \text{ хв}^{-1}$ ,  $P_e = 0,66 \text{ МПа}$ )

При проведенні експериментальних досліджень на одноциліндрових відсіках 1ДТА і 1ДТНА2 встановлено, що на режимі при  $n_{KB} = 3000 \text{ хв}^{-1}$  ( $P_e = 0,66 \text{ МПа}$ ) підвищення максимального  $P_{\phi}$  із 32 до 87 МПа (рис. 18), при переході від базової до модернізованої ПА, приводить до зниження питомої

На рис. 19 зображені камери згоряння у поршні, що після обґрунтування їх вибору були досліджені в одноциліндровому відсіку 1ДТА на режимах  $n_{кв} = 2050$  і  $3000 \text{ хв}^{-1}$ , які найбільш розповсюджені для експлуатаційних режимів роботи ВМД багатоцільового призначення.

а

б

в

Рис. 19. Варіанти досліджуваних форм камер

згоряння:

а – варіант 1;

б – варіант 2;

в – варіант 3

У результаті досліджень (табл. 5) встановлено, що найкращі паливно-економічні та екологічні показники ВМД досягаються при використанні циліндричної КЗ (варіант 2), яка виконана співвісно осі циліндра, із двома виїмками в її бічній стінці (у місцях контакту паливних струменів найменшої довжини) глибиною 0,6...0,7 від глибини основної камери. Виїмки виконані для організації локальної турбулізації заряду, а форма КЗ адаптована до розробленого розпилювача ФДП з п'ятьма отворами, що розпилюють паливо. Отримана у ході експериментального дослідження питома ефективна витрата палива ( $g_e = 241 \text{ г}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ ) і екологічні показники знаходяться на рівні сучасного світового малолітражного двигунобудування. Ефект зниження викидів  $\text{NO}_x$  пов'язаний, у першу чергу, зі зниженням дійсного КВУП, що і дозволяє одержати конкурентоспроможні паливно-економічні та екологічні показники.

Доцільним для багатоцільового ВМД є розширення області дослідження і на режими роботи дизеля при пускових частотах обертання КВ.

Результати досліджень одноциліндрового відсіку 1ДТА  
з різними формами КЗ на режимах роботи ВМД

Параметри	Камери згоряння					
	варіант 1		варіант 2		варіант 3	
	при $n_{KB}, \text{хв}^{-1}$		при $n_{KB}, \text{хв}^{-1}$		при $n_{KB}, \text{хв}^{-1}$	
	3000	2050	3000	2050	3000	2050
Середній ефективний тиск, МПа	0,60	0,72	0,60	0,72	0,60	0,72
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	248	265	241	258	265	282
Витрата повітря, кг/с	0,0131	0,0093	0,0130	0,009	0,0127	0,0087
Кут випередження упорскування палива, град. п.к.в. до ВМТ	23,8	21,5	23,4	21,0	26,2	24,1
Максимальний тиск палива перед форсункою, МПа	63,9	61,9	63,6	61,7	72,1	63,4
Максимальний тиск згоряння, МПа	11,8	10,9	11,6	10,7	12,3	11,1
Температура відпрацьованих газів, К	753	786	726	763	783	792
Ефективний ККД, %	34,7	32,7	35,7	33,5	32,6	31,1
Індикаторний ККД, %	44,0	41,4	45,7	42,7	42,4	40,0
Механічний ККД, %	78,8	79,1	78,1	78,5	76,8	77,8
Питомий викид оксидів азоту, г/(кВт·год)	10,1		9,7		10,5	
Питомий викид оксиду вуглецю, г/(кВт·год)	4,7		4,3		4,9	
Питомий викид вуглеводнів, г/(кВт·год)	1,7		1,4		1,9	
Димність відпрацьованих газів, %	36		32		41	

Задача визначення раціональних параметрів систем забезпечення і полегшення пуску при роботі на цих режимах вирішена застосуванням МПЕ з метою одержання експериментально-розрахункової залежності:

$$\begin{aligned}
 n_7 = & 20690 - 7,17 \cdot n - 36,824 \cdot T_{сн} + 217,62 \cdot \Theta_{упор} - 8,17 \cdot 10^{-3} \cdot n^2 + 15,25 \cdot 10^{-3} \cdot T_{сн}^2 - \\
 & - 2,79 \cdot \Theta_{упор}^2 + 12,7 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot T_{сн} - 156 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot \Theta_{упор} - 90,8 \cdot 10^{-3} \cdot T_{сн} \cdot \Theta_{упор}
 \end{aligned} \quad (11)$$

де  $n_7$  - частота обертання, що досягається КВ до 7-ой секунди спроби пуску;  $n$  - частота прокручування КВ стартером;  $T_{CH}$  - температура нагрівання свічки накалювання;  $\Theta_{упор}$  - КВУП.

Досліджений за допомогою цієї залежності характер впливу  $T_{CH}$  і  $\Theta_{упор}$  на розгін КВ у процесі спроби пуску (рис. 20) показав, що як збільшення вихідної  $n$ , так і ріст  $T_{CH}$  закономірно ведуть до поліпшення пускових якостей ВМД. Це дозволило визначити необхідні для ВМД мінімальну частоту прокручування КВ стартером ( $n_{min} = 150 \text{ хв}^{-1}$ ) та діапазон раціональних температур  $T_{CH, \text{рац.}} = 1300 \dots 1350 \text{ К}$ .

а

б

в

г

Рис. 20. Характер впливу  $T_{CH}$  і  $\Theta_{упор}$  на розгін КВ у процесі спроби пуску ВМД:

а - при  $n = 150 \text{ хв}^{-1}$ ; б - при  $n = 250 \text{ хв}^{-1}$ ; в - при  $n = 350 \text{ хв}^{-1}$ ; г - при  $n = 450 \text{ хв}^{-1}$

Наступним результатом того ж дослідження було одержання поверхонь другого порядку типу "сідло" у тривимірному просторі при різних фіксованих значеннях  $n$ , які показують необхідність керування настановним КВУП навіть у діапазоні передуючих пуску частот обертання КВ і дозволяють одержати необхідну для реалізації такого керування характеристику (рис. 21).

Застосування методу формування електромеханічних характеристик стартерів і механічних характеристик їхніх приводів дозволило при вже відомому  $n_{min}$  сформулювати технічні вимоги, видати технічні завдання і провести супровід розробки і впровадження у виробництво спеціальних стартерів 421.3708-10 та 515.3708 для пуску ВМД.

У процесі досліджень з відпрацювання нового напрямку передпускової підготовки ВМД визначено характер кількісного розподілу складових середнього моменту опору прокручуванню КВ з пусковими частотами обертання.

Рис. 21. Необхідна для ВМД залежність  $\Theta_{\text{упор}}$  від  $n_{\text{кв}}$ 

Дослідження показали, що при досягненні умов граничної для холодного пуску ВМД в'язкості моторного масла середній момент сил тертя стає порівняним із сумою всіх інших складових моменту опору ВМД. При подальшому охолодженні дизеля це стає визнача-

льним фактором, що унеможливорює пуск без передпускового підігріву. Концентрація теплової енергії джерела розігріву в найбільш вагомих, з погляду моменту сил тертя, вузлах ВМД і в локальній області безпосереднього забору моторного масла дозволяє вирішити задачу передпускової підготовки ВМД (рис. 22), мінімізувавши (завдяки безпосередньому контакту керамічних нагрівних елементів з об'єктами підігріву) загальну витрату енергії на цю підготовку і перейшовши до екологічно чистих джерел її походження.

Рис. 22. Зміна еквівалентного теплового стану дизеля 4ДТНА після його передпускового розігріву розробленими пристроями:

- - початковий стан холодного дизеля;
- - підігрів корінних опор КВ;
- ▲ - одночасний підігрів корінних опор КВ та масла у маслозбірному відсіку

Експериментально встановлено, що застосування нового способу передпускової підготовки при використанні тільки бортового джерела електроживлення вирішує задачу зниження мінімальної температури пуску автомобільної модифікації багаточільового ВМД на 10 - 11 °С, модифікації для електроагрегатів спеціального призначення на 20 - 25 °С за рахунок створеної можливості підвищення перед пуском показника еквівалентного теплового стану дизеля. У підсумку експериментами доведено, що удосконалення пускових систем створюваних ВМД приведе до поліпшення екологічних показників на режимах їх пуску в 2 - 2,5 рази.

У шостому розділі дана оцінка ефективності комплексного використання запропонованих рішень у конструкціях вітчизняних ВМД серії ДТА. У результаті застосування МПЕ і проведення трифакторного експери-

менту отримані аналітичні залежності  $g_e = f(\varepsilon, \Theta_{\text{упор}}, P_z)$  і  $T_{\text{вр}} = f(\varepsilon, \Theta_{\text{упор}}, P_z)$ , які дозволяють установити раціональні конструктивні і регулювальні параметри, що повинні бути закладені в технологічну документацію і програми-методики випробувань вітчизняних ВМД багатоцільового призначення. Дослідження кожної з цих залежностей з наступним графічним відображенням результатів у тривимірному просторі (приклад на рис. 23) дозволило дати практичні рекомендації щодо забезпечення в процесі виготовлення вітчизняного ВМД геометричного ступеня стиску в діапазоні 18,0...18,5 одиниць і щодо стендового регулювання ВМД на номінальному режимі його роботи:

- для ВМД без наддуву – середній ефективний тиск 0,6...0,63 МПа ( $P_z = 11,4 - 11,6$  МПа);

- для ВМД з наддувом – середній ефективний тиск 1,1...1,2 МПа ( $P_z = 12,9 - 13,5$  МПа).

а

б

Рис. 23. Експериментально-розрахункові залежності  $g_e$  і  $T_{\text{вр}}$  від  $\varepsilon$  і  $P_z$  при фіксованому значенні  $\Theta_{\text{упор}} = 25$  град. до ВМТ

При цьому показано, що раціональним є те поєднання варійованих параметрів, при якому в однакових умовах виміру питома ефективна витрата палива зменшується, а середній ефективний тиск збільшується (рис. 23а). Проведені в цих умовах експериментальні дослідження одноциліндрових відсіків 1ДТА і 1ДТНА2 на двох режимах роботи ВМД (табл. 6) показали, що досягнуті індикаторні та ефективні показники вітчизняного ВМД багатоцільового призначення ( $\eta_i = 43,4\%$ ,  $\eta_e = 36,2\%$ ) відповідають показникам перспективного малолітражного дизеля, а екологічні показники ( $g_{\text{NOx}} = 9,9$  г/(кВт·год),  $g_{\text{CO}} = 4,4$  г/(кВт·год),  $g_{\text{CH}} = 1,1$  г/(кВт·год)) еквівалентні нормам EURO-3 при 13-ступінчастому циклі випробувань.

Параметри робочого процесу одноциліндрового відсіку ВМД на режимах багаточілкового двигуна

Найменування параметра	Схема сумішоутворення, швидкісний режим роботи, спосіб повітропостачання	
	Двоклапанна головка циліндра, $n_{кв} = 3000 \text{ хв}^{-1}$ , ГТН	Чотириклапанна головка циліндра, $n_{кв} = 4200 \text{ хв}^{-1}$ , ГТН і ОНП
Середній ефективний тиск, МПа	1,1	1,2
Питома ефективна витрата палива, г/(кВт·год)	237	245
Максимальний тиск перед форсункою, МПа	86	100
Максимальний тиск згорання, МПа	12,9	13,5
Температура відпрацьованих газів, К	768	878
Ефективний ККД, %	36,2	35,1
Індикаторний ККД, %	43,4	42,6
Питомий викид оксидів азоту, г/(кВт·год)	9,9	11,2
Питомий викид оксиду вуглецю, г/(кВт·год)	4,3	4,7
Питомий викид вуглеводнів, г/(кВт·год)	1,1	1,2
Димність відпрацьованих газів, %	34	39

Розроблені теоретичні основи та практичні методи створення вітчизняного ВМД послужили базою для проектування в КП ХКБД уніфікованого для підготовки єдиного виробництва сімейства малолітражних дизелів у дво-, три- і чотирициліндровому виконанні. Створений на підставі результатів проведеного дослідження ряд вітчизняних ВМД серії ДТА потужністю від 12,5 до 81 кВт цілком перебиває задані державними ТЗ потреби України в малолітражних дизелях для всіх областей їхнього застосування. У процесі виконання даної роботи в КП ХКБД закінчена розробка з передачею документації у серійне виробництво вітчизняних дизелів 2ДТАВ, 2ДТАЕ, 3ДТА, 4ДТА і 4ДТНА та випущена конструкторська документація для перспективних ВМД 2ДТАС, 4ДТНА1 і 4ДТНА2.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні поставлена і вирішена науково-практична проблема розробки теоретичних основ та практичних методів створення високообертового малолітражного вітчизняного



дизеля багатоцільового призначення з конкурентоспроможним рівнем паливно-економічних і екологічних показників. Розв'язання зазначеної проблеми досягнуто підвищенням ефективності систем паливоподачі і повітропостачання, сумішоутворення і згоряння на режимах роботи ВМД та поліпшенням пускових якостей дизеля з забезпеченням малої димності при пуску і прогріванні.

Основні науково-технічні та практичні результати проведеного дослідження полягають у такому:

1. Розроблено метод оцінки перспективності ДВЗ на стадії проектування, який ґрунтується на положеннях багатовимірної статистики і обробки накопиченої інформації, що дозволив обґрунтувати вибір основних конструктивних і регульовальних параметрів високообертового малолітражного дизеля багатоцільового призначення, які забезпечують досягнення конкурентоспроможних паливно-економічних і екологічних показників, та створити потужнісний ряд вітчизняних ВМД у дво-, три- і чотирициліндровому виконанні.

2. Створено розрахунково-експериментальний комплекс, що включає традиційні методи фізичного і математичного моделювання робочого процесу та нові методи моделювання повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску і передпускової підготовки, застосування якого дозволило обґрунтувати технічні рішення щодо забезпечення конкурентоспроможних паливно-економічних і екологічних показників ВМД багатоцільового призначення зі зменшеним відношенням ходу поршня до діаметра циліндра як у безнаддувному варіанті, так і з ГТН.

3. Для дослідження газодинамічних процесів у впускних каналах двоклапанної і чотириклапанної головок циліндрів ВМД із безпосереднім упорскуванням палива обґрунтовано застосування та удосконалено тривимірну математичну модель на базі розрахункового комплексу MTF<sup>S</sup>®.

4. За допомогою удосконаленої математичної моделі розроблено профілі впускних трактів дво- та чотириклапанної головок циліндрів ВМД із безпосереднім упорскуванням палива, які забезпечують при частоті обертання  $KB\ 4200\ хв^{-1}$  вихрове відношення  $2,25\dots 3,3$ , витрату повітря через один циліндр  $0,029\dots 0,032\ кг/с$ ; коефіцієнт витрати повітря  $0,63\dots 0,71$ .

5. Для підвищення наповнення свіжим зарядом ВМД багатоцільового призначення зі зменшеним відношенням ходу поршня до діаметра циліндра розроблено методику профілювання безударних кулачків механізму газорозподілу і реалізовано метод проектування механізму газорозподілу ВМД, що забезпечує істотне скорочення тривалості перекриття фаз газорозподілу у процесі газообміну при збереженні заданого часу-перерізу.

6. Розроблено і відпрацьовано механізм газорозподілу чотириклапанної головки циліндра з верхнім розташуванням розподільного вала, у якому поліпшені кінематичні характеристики руху впускних і випускних клапанів. У результаті доведення забезпечено збільшення коефіцієнта повноти діаграми ходу клапана для впускних клапанів на  $7,4\%$ , для випускних клапанів на  $16,2\%$ , зменшено

значення максимального зусилля, що діє в парі "кулачок - важіль", на фазі відкриття клапанів на 10% при одночасному зменшенні на 18% крутного моменту, який затрачується на привід розподільного вала.

7. Удосконалено для ВМД методику гідродинамічного розрахунку апаратури паливоподачі безпосередньої дії із форсункою, що має диференціальний поршень і модулятор імпульсів тиску, включенням у розрахункову схему порожнини високого тиску над диференціальним поршнем.

8. Реалізовано спосіб організації двофазного упорскування палива ФДП з модулятором імпульсів у циліндр ВМД з одночасним збільшенням максимального тиску упорскування при частоті обертання КВ 3000 хв<sup>-1</sup> з 45 МПа до 78 МПа, при частоті обертання КВ 4200 хв<sup>-1</sup> - з 82 МПа до 100 МПа.

9. Проведеними експериментами встановлено, що при двоклапанному механізмі газорозподілу найкращі паливно-економічні та екологічні показники ВМД досягаються при застосуванні напіврозділеної циліндричної камери згоряння, яка виконана співвісно осі циліндра, із двома виїмками в бічній стінці, що створюють локальну турбулізацію заряду.

10. Запропоновано та практично реалізовано локалізацію в період передпускової підготовки місць підведення теплових потоків до найбільш значущих з погляду сил тертя вузлів ВМД і в частковій об'ємі масла і палива, що витрачаються в процесі пуску. Показано, що при використанні з цією метою як нагрівальних пристроїв малогабаритних позисторних елементів мінімальна температура пуску ВМД знижується як мінімум на 10 градусів за рахунок аналогічного збільшення еквівалентного теплового стану дизеля при збереженні енергоємності бортових джерел електроенергії.

11. Застосування МПЕ в дослідженнях перехідних процесів шляхом проведення дослідження процесу пуску ВМД із метою визначення раціональної характеристики зміни КВУП, необхідної потужності пускового пристрою і параметрів калоризаторного запалювання палива в КЗ дозволило визначити і практично реалізувати:

- раціональну для пуску характеристику зміни КВУП по частоті обертання КВ;
- необхідну потужність пускового пристрою і раціональне передаточне відношення приводу стартера на режимах пуску холодного та прогрітого дизеля;
- необхідні параметри свічки накаливання для забезпечення калоризаторного запалювання палива в КЗ.

Паливно-економічні і екологічні показники на режимах пуску поліпшені в 2 - 2,5 рази.

12. Розроблено і впроваджено в технічні умови на виготовлення режими безмоторних випробувань стартера, що імітують його навантаження у процесі пуску холодного та прогрітого ВМД.

13. Практична реалізація науково-технічних рішень, запропонованих у дисертаційній роботі, дозволила досягти перспективного рівня паливно-економічних і екологічних показників ВМД із безпосереднім упорскуванням палива. У порівнянні з базовим малолітражним дизелем на номінальному

режимі роботи ВМД паливна економічність покращилася до 15%, викид оксиду вуглецю зменшився в два рази, димність відпрацьованих газів на 10-15%.

Подальший розвиток малолітражного дизелебудування пов'язаний з розробкою і впровадженням паливної системи, що дозволяє формувати характеристику упрскування палива по всіх режимах роботи дизеля і дає тим самим можливість більш глибокої оптимізації робочого процесу за допомогою високодинамічної інтегрованої системи керування.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Грицюк А.В. Быстроходное дизелестроение на государственном предприятии «Завод имени Малышева» / Н.К. Рязанцев, Ю.С. Бородин, С.А. Алёхин, И.А. Краюшкин, А.В. Грицюк, П.Я. Перерва // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2001. – №26. – С. 11–16.

*Здобувачем подано новий напрям робіт ХКБД – розробку високооберткових малолітражних дизелів серії ДТА автомобільного і тракторного призначення потужністю від 10,3 до 55 кВт.*

2. Грицюк А.В. Конверсионные и малолитражные двигатели для народного хозяйства / Н.К. Рязанцев, И.А. Краюшкин, А.В. Грицюк // Двигателестроение. – Санкт–Петербург, 2001. – №3. – С. 3–4.

*Здобувачем запропоновано вести розробку сімейства малолітражних чотиритактних рядних дизелів серії ДТА у дво-, три- і чотирициліндровому виконанні.*

3. Грицюк А.В. Методика оценки эффективности устройств предпускового подогрева автотракторных дизелей / Н.К. Рязанцев, А.В. Грицюк, Д.В. Демиденко // Авіаційно–космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2002. – Вип. 31. – С. 124–126.

*Здобувачем розроблено методику оцінки ефективності пристроїв передпускового підігріву ВМД за допомогою запропонованої номограми для визначення еквівалентного теплового стану дизеля та показано приклад її практичного використання.*

4. Грицюк А.В. Выявление критических узлов трения, определяющих момент сопротивления автотракторного дизеля при его пуске / Ю.С. Бородин, А.В. Грицюк, Д.В. Демиденко, В.Г. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – №1. – С. 60–63.

*Здобувачем виявлено один з найбільш вагомих вузлів тертя, що визначають момент опору малолітражного дизеля у процесі пуску для подальшої апробації запропонованої ідеї локального передпускового підігріву.*

5. Грицюк А.В. Устройство локального предпускового подогрева коренных подшипников колнчатого вала дизеля на основе позисторной керамики / Ю.С. Бородин, А.В. Грицюк, А.Н. Дороженко, Д.В. Демиденко, В.Г. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – №1–2. – С. 15–19.

*Здобувачем запропоновано новий підхід до розробки пристроїв передпускового підігріву деталей ВМД шляхом забезпечення безпосереднього контакту джерел теплової енергії з корінними підшипниками колінчастого валу.*

6. Грицюк А.В. Расчётное и экспериментальное исследование газодинамических характеристик впускного тракта и цилиндра дизеля 1ДТНА2 / В.Г. Солодов, Ю.В. Стародубцев, А.А. Хандримай-

лов, А.В. Грицюк, В.А. Опалев // Автомобільний транспорт. – Харків: ХНАДУ, 2005. – Вип. 16. – С. 253–257.

*Здобувачем розроблено алгоритм послідовних дій для створення, тестування і верифікації математичної моделі дослідження аеродинамічних характеристик впускних каналів ВМД.*

7. Грицюк А.В. Выбор фаз газораспределения быстроходного четырёхтактного дизеля типа 4ДТНА / А.В. Грицюк, В.И. Пелепейченко, П.Я. Перерва, М.Н. Лылка // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – №2. – С. 9–12.

*Здобувачем розроблено методику вибору раціональних фаз газорозподілу ВМД і проведено його апробацію на стадії проектування дизеля 4ДТНА2.*

8. Грицюк А.В. Совершенствование конструкции топливной системы автотракторного дизеля для улучшения ее работы в условиях зимней эксплуатации / А.В. Грицюк, В.Г. Кондратенко, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №1. – С. 109–115.

*Здобувачем з'ясована проблема та запропоновані конструктивні рішення для локального підігріву вузлів паливної системи ВМД і взято участь у їхній експериментальній перевірці в умовах мінімальної температури палива до мінус 45°C.*

9. Грицюк А.В. Опыт применения позисторной керамики в устройствах локального предпускового подогрева узлов и систем автотракторного дизеля / А.В. Грицюк, Д.В. Демиденко, А.Г. Белоус, Ю.Д. Ступин // Авіаційно–космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2006. – №7(33). – С. 109–113.

*Здобувачем поставлено в умовах автомобіля УАЗ–31512 експеримент з оцінки ефективності застосування нових конструктивних рішень для передпускової підготовки ВМД та взято участь у його проведенні.*

10. Грицюк А.В. Повышение давления впрыскивания в топливной системе высокооборотного дизеля при помощи МИД / А.Н. Врублевский, А.В. Денисов, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – Харків: ХНАДУ, 2006. – Вип. 32. – С. 50–54.

*Здобувачем запропоновано уніфікувати ПНВТ для вихорокамерного ВМД і ВМД із безпосереднім упорскуванням палива шляхом використання в останньому модулятора імпульсів тиску для підвищення тиску упорскування.*

11. Грицюк А.В. Разработка и исследование форсунки для двухфазного впрыскивания топлива в цилиндр высокооборотного дизеля / А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.В. Денисов // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №2. – С. 97–101.

*Здобувачем запропоновано встановити додатковий диференціальний поршень безпосередньо у корпусі форсунки та розроблено методику гідродинамічного розрахунку паливної системи ВМД із*

такою форсункою.

12. Грицюк А.В. Влияние конструктивных элементов вихрекамеры на обеспечение параметров в заданном скоростном диапазоне / А.П. Марченко, И.В. Парсаданов, А.В. Грицюк, П.Е. Куницын, М.Н. Лылка // *Авіаційно–космічна техніка і технологія*. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2007. – №7(43). – С. 207–209.

*Здобувачем на підставі експериментальних даних визначено раціональні об'єми вихорокамери та перерізу сполучного каналу для ВМД із вихорокамерним сумішоутворенням.*

13. Грицюк А.В. Математический анализ перспективности отечественных малолитражных автомобильных дизелей серии 4ДТНА на этапе их проектирования / А.В. Грицюк, А.С. Куценко, О.А. Грицюк // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №1. – С. 3–10.

*Здобувачем уперше запропоноване використання методів багатовимірного статистичного аналізу для вибору основних конструктивних і регулювальних параметрів та прогнозування очікуваних показників ВМД на етапі його проектування.*

14. Грицюк А.В. Основы создания отечественного малолитражного дизеля / А.В. Грицюк // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №2. – С. 3–9.

15. Грицюк А.В. Результаты безмоторных испытаний дизельной электрогидравлической форсунки / А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.Н. Врублевский, А.В. Денисов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – №2. – С. 91–97.

*Здобувачем запропоновані оригінальні конструктивні рішення при розробці ЕГФ і задані режими для відпрацювання форсунки на безмоторному лабораторному стенді.*

16. Грицюк А.В. Исследования нагруженности элементов газового стыка двигателя 2ДТ / А.В. Грицюк, С.В. Пилипенко, А.А. Мотора // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – №1. – С. 71–75.

*Здобувачем досліджено вплив експлуатаційних навантажень і температур на роботу газового стику ВМД і визначено можливість його роботи при  $P_z=12-13$  МПа.*

17. Грицюк О.В. Вітчизняні малолітражні дизельні двигуни / П.П. Тодоров, О.В. Грицюк, І.Т. Сляднєв / *Вісті Академії інженерних наук України*. – Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – №1 (35). – С. 13–16.

*Здобувачем зроблено великий особистий внесок у розробку, узгодження та затвердження Державної програми розвитку вітчизняного малолітражного дизелебудування і інноваційного проекту створення їхнього виробництва на ДП «Завод ім. В.О. Малишева».*

18. Грицюк А.В. Выбор формы камеры сгорания для высокооборотного малолитражного дизеля / А.В. Грицюк, И.В. Парсаданов // *Двигатели внутреннего сгорания*. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – №1. – С. 24–28.

*Здобувачем взято участь у проектуванні камер згорання ВМД, поставлено та проведено експе-*

*риментальне дослідження варіантів КЗ, проведено аналіз результатів експерименту та вибір раціональної форми КЗ.*

19. Грицюк А.В. Новые возможности разделенной топливной системы непосредственного действия для улучшения показателей малолитражного дизеля / А.В. Грицюк // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – №2. – С. 32 – 35.

20. Грицюк О.В. Термостабілізовані керамічні нагрівачі для систем забезпечення працездатності малолітражних дизельних двигунів енергоагрегатів / А.Г. Білоус, О.І. В'юнов, Ю.Д. Ступін, О.В. Грицюк, О.М. Дороженко // Наука та інновації. – Київ: ВД "Академперіодика", 2009. – Т5, №1. – С. 36–45.

*Здобувачем запропоновано локальний передпусковий підігрів масла в спеціально розробленому оригінальному маслозабірнику масляного бака спеціальної допоміжної силової установки та взято участь у експериментальній перевірці ефективності запропонованого пристрою.*

21. Грицюк А.В. Этапы эволюции топливоподающей аппаратуры отечественного высокооборотного малолитражного дизеля / С.А. Алёхин, А.В. Грицюк, А.Н. Врублевский, Г.А. Щербаков // Авіаційно–космічна техніка і технологія. – Харків: НАКУ «ХАІ», 2009. – Вип. 9/66. – С. 131–135.

*Здобувачем розроблено концепцію розвитку паливної апаратури малолітражного дизеля.*

22. Пат. 71651 Україна, МПК (7) F01M 5/02. Пристрій для полегшення пуску двигуна внутрішнього згоряння /Бородін Ю.С., Грицюк О.В., Кондратенко В.Г., Демиденко Д.В., Білоус А.Г., В'юнов О.І., Коваленко Л.Л., Ступін Ю.Д.; заявник та патентовласник КП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування». – №2002064900; заявл. 14.06.02; опубл. 15.12.04, Бюл. №12.

*Здобувачем запропоновано розташування позисторних нагрівальних елементів безпосередньо на торцевій поверхні кожної підвіски корінних опор колінчастого валу.*

23. Пат. 79244 Україна, МПК(2006) F01M5/00, Пристрій для прискореного пуску двигуна внутрішнього згоряння / Грицюк О.В., Демиденко Д.В., Мотора О.А., Щербаков Г.О., Білоус А.Г., В'юнов О.І., Коваленко Л.Л., Ступін Ю.Д.; заявник та патентовласник КП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування». – № 2004042685; заявл. 09.04.04; опубл. 11.06.07, Бюл. №8.

*Здобувачем запропоновано маслоприймач ВМД виконати у вигляді маслозабірного відсіку, що обладнано позисторними нагрівальними пристроями.*

24. Пат. №88352 Україна, МПК(2009) F02M 45/00. Форсунка для двофазного впорскування палива / Грицюк О.В., Щербаков Г.О., Сафонов СБ., Врублевський О.М., Денисов О.В.; заявник та патентовласник КП «Харківське конструкторське бюро з двигунобудування». – № а 2007 10149; заявл. 11.09.07; опубл. 12.10.09, Бюл. №19.

*Здобувачем запропоновано оригінальне рішення з організації двофазного упорскування палива гідромеханічною форсункою.*

25. Грицюк А.В. Современные дизельные двигатели разработки КП «Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению» / С.А. Алёхин, А.В. Грицюк, И.А. Краюшкин, Е.Н. Овчаров // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №1. – С. 4–8.

*Здобувачем подано технічні характеристики всієї гами вітчизняних ВМД автомобільного та тракторного призначення, включаючи дизель 4ДТНА2.*

26. Грицюк А.В. Оценка возможности ступенчатого впрыскивания топлива в цилиндр дизеля 4ДТНА с помощью двухпружинной форсунки / А.Н. Врублевский, А.В. Денисов, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – №2. – С. 79–84.

*Здобувачем проведена апробація двопружинної форсунки на предмет організації двофазної подачі палива в циліндр ВМД.*

27. Грицюк А.В. Результаты безмоторных испытаний форсунки для двухфазного впрыскивания топлива / А.Н. Врублевский, А.В. Грицюк, Г.А. Щербаков, А.В. Денисов, СБ. Сафонов // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №2. – С. 43–47.

*Здобувачем на підставі експериментальних досліджень уточнено конструктивні та регульовальні параметри дослідної ФДП.*

28. Грицюк А.В. Особенности математического моделирования гидромеханических процессов электрогидравлической форсунки / А.Н. Врублевский, А.Л. Григорьев, А.В. Грицюк, А.В. Денисов, Г.А. Щербаков // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – №1. – С. 44–52.

*Здобувачем розроблено технічні вимоги до створення конструкції малогабаритної електрогидравлічної форсунки для ВМД і обрано гідромеханічну схему її роботи.*

29. Грицюк О.В. Термостабилизированные керамические нагреватели для улучшения холодного пуска малолитражных дизельных двигателей энергоагрегатов / С.О. Альохин, О.В. Грицюк, О.М. Дороженко, В.Г. Кондратенко // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – №2. – С. 107–111.

*Здобувачем запропоновано розширити сферу застосування позисторних нагрівальних елементів шляхом їхнього використання для передпускової підготовки ВМД энергоагрегата ЭА–10М та взято участь у експериментальній перевірці запропонованого рішення.*

30. Грицюк А.В. Дешевые альтернативные способы предпусковой подготовки автотракторных дизелей при их эксплуатации в зимний период времени / Ю.С. Бородин, А.Г. Белоус, А.В. Грицюк, Д.В. Демиденко // Актуальные проблемы управления качеством производства и эксплуатации автотракторных средств: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф.– Владимир: ВлГУ, 2004. – С. 49.

*Здобувачем запропоновані альтернативні способи передпускової підготовки ВМД.*

31. Грицюк А.В. Исследование газодинамических характеристик впускных каналов дизеля при его разработке / А.В. Грицюк, С.А. Алехин, В.А. Опалев, В.Г. Солодов, А.А. Хандримайлов // Фун-



даментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы X Междунар.науч.-практ. конф.– Владимир: ВлГУ, 2005. – С. 72–73.

*Здобувачем удосконалено математичну модель дослідження аеродинамічних характеристик впускних каналів ВМД та взято участь у проведенні розрахункового дослідження впускних каналів дизеля 4ДТНА2, що розробляється.*

32. Грицюк А.В. Новые способы предпусковой подготовки автотракторных дизелей и их испытание в реальных условиях зимней эксплуатации / А.В. Грицюк, Д.В. Демиденко, А.Г. Белоус, Ю.Д. Ступин //Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы X Междунар. науч.-практ. конф. – Владимир: ВлГУ, 2005. – С. 58.

*Здобувачем проведено відпрацювання нових конструктивних рішень на фізичних моделях вузлів, що потребують підігріву, і системах ВМД та на натурному об'єкті – автомобільному дизелі 4ДТНА.*

33. Грицюк А.В. Разработка методики и проектирование безударных кулачков механизмов газораспределения высокооборотных транспортных дизелей / В.И. Мороз, А.В. Грицюк, А.В. Братченко, А.В. Норов // Матеріали 2-го міжнародного з'їзду з теорії механізмів і машин. Харків: ІМІС НАН України, 2005. – С. 66–75.

*Здобувачем обґрунтовано необхідність створення для ВМД нової методики профілювання газорозподільних кулачків, розроблені технічні вимоги до таких кулачків і взято участь у розробці цієї методики.*

34. Грицюк А.В. Автоматизированное проектирование распределительных валов транспортных дизелей с элементами технологической подготовки их производства / В.И. Мороз, А.В. Братченко, А.В. Грицюк, А.В. Норов // Современные проблемы подготовки производства в машиностроении: Материалы 5-го Международного научно–техн. семинара. – Киев: Ассоциация технологів–машиностроителей Украины, 2005.– С. 106–107.

*Здобувачем запропоновано замкнутий цикл проектування та виготовлення розподільних валів ВМД і забезпечена його практична реалізація на дизелях серії ДТА в КП ХКБД.*

35. Грицюк А.В. Результаты разработок топливоподающей аппаратуры для высокооборотного дизеля / А.В. Грицюк, А.Н. Врублевский, А.В. Денисов // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы XI Междунар. науч.–практ. конф. – Владимир: ВлГУ, 2008.– С. 112–116.

*Здобувачем показана можливість організації двофазного упорскування палива форсункою з додатковим поршнем у ПА безпосередньої дії.*

## АНОТАЦІЇ

**Грицюк О.В. Теоретичні основи та практичні методи створення високообертового малолітражного дизеля багатоцільового призначення. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки. – Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут". – Харків, 2010.

Дисертацію присвячено розробці теоретичних основ та практичних методів створення високообертового малолітражного вітчизняного дизеля багатоцільового призначення з конкурентоспроможним рівнем паливно-економічних і екологічних показників.

Запропоновано спосіб вибору основних конструктивних і регулювальних параметрів малолітражного дизеля та розроблено новий комплекс практичних методів математичного і фізичного моделювання процесів сумішоутворення і згоряння, параметрів повітропостачання і паливоподачі, процесів у системах газорозподілу, пуску і передпускової підготовки. Дано конкретні пропозиції щодо удосконалення існуючих конструкцій вузлів та систем малолітражного дизеля.

Нові методи та пропозиції відрізняються від раніш використовуваних можливістю їхнього застосування для високообертових малолітражних дизелів, наявністю безперервного зв'язку між запропонованими технічними рішеннями і оцінкою їх ефективності та орієнтуванням на потребу забезпечення впровадження цих рішень у виробництво в короткий термін і з мінімальним технічним переоснащенням.

Розроблені теоретичні основи та практичні методи послужили базою для проектування в КП ХКБД уніфікованого для підготовки єдиного виробництва сімейства малолітражних дизелів серії ДТА у дво-, три- і чотирициліндровому виконанні.

*Ключові слова:* високообертовий малолітражний дизель, сумішоутворення і згоряння, повітропостачання, паливоподача, пуск і передпускова підготовка, паливно-економічні і екологічні показники, багатоцільове призначення.

**Грицюк А.В. Теоретические основы и практические методы создания высокооборотного малолитражного дизеля многоцелевого назначения. – Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели и энергетические установки. – Национальный технический университет "Харьковский политехнический институт". – Харьков, 2010.

Диссертация посвящена разработке теоретических основ и практических методов создания вы-

сокооборотного малолитражного дизеля многоцелевого назначения с конкурентоспособным уровнем топливно-экономических и экологических показателей.

В работе предложен способ оценки перспективности и обоснования выбора основных конструктивных и регулировочных параметров малолитражного дизеля многоцелевого назначения непосредственно на стадии его проектирования.

Создан расчётно-экспериментальный комплекс, включающий как традиционные методы физического и математического моделирования рабочего процесса, так и новые методы моделирования воздухообеспечения и топливоподачи, процессов в системах газораспределения, пуска и предпусковой подготовки, применение которого способствовало принятию и ускоренной отработке новых технических решений по обеспечению конкурентоспособных эффективных и эксплуатационных показателей исследуемого типоразмера дизелей.

Для совершенствования воздухообеспечения предложены компоновочные решения, на основании которых разработаны двухклапанная и четырёхклапанная головки цилиндров под непосредственное впрыскивание топлива с рациональной формой впускных каналов и возможностью реализации разработанных конструкций механизмов газораспределения с улучшенными кинематическими характеристиками движения впускных и выпускных клапанов за счёт выбора профилей кулачков и оригинальной конструкции привода этих клапанов.

Следующей решённой задачей является создание современной системы топливоподачи, реализующей в разделённой топливной аппаратуре непосредственного действия способ организации двухфазного впрыскивания топлива на режимах холостого хода и ступенчатого, или однофазного с пологим передним фронтом, на остальных режимах работы дизеля форсункой, имеющей дифференциальный поршень и модулятор импульсов давления.

Решение задачи создания эффективных систем воздухообеспечения и топливоподачи позволило реализовать оставшиеся резервы повышения эффективности смесеобразования и сгорания в цилиндре малолитражного дизеля за счёт выбора рациональной формы камеры сгорания. Проведёнными экспериментами установлено, что при двухклапанном механизме газораспределения наилучшие топливно-экономические и экологические показатели высокооборотного малолитражного дизеля обеспечиваются при применении полуразделённой цилиндрической камеры сгорания, выполненной соосно оси цилиндра, с двумя выемками в боковой стенке, создающими локальную турбулизацию заряда.

Обоснована целесообразность расширения области исследования режимов работы многоцелевого дизеля и на режимы его работы с пусковыми частотами вращения коленчатого вала. Для обеспечения ускоренного пуска дизеля, одновременно снижающего отрицательные воздействия на окружающую среду и эксплуатационный расход топлива, определены и реализованы, вплоть до разра-

ботки и постановки на производство оригинальных стартеров, рациональная характеристика изменения угла опережения впрыскивания топлива, требуемая мощность пускового устройства и рациональное передаточное отношение привода стартера, а также требуемые параметры свечи накаливания для обеспечения калоризаторного воспламенения топлива в камере сгорания. Предложена и практически реализована локализация в период предпусковой подготовки мест подвода тепловых потоков к наиболее значимым с точки зрения сил трения узлам дизеля и в частичные объёмы масла и топлива, расходуемые в процессе пуска. Показано, что при использовании для этой цели в качестве нагревательных устройств малогабаритных позисторных элементов, минимальная температура пуска малолитражного дизеля снижается минимум на 10 градусов за счёт аналогичного увеличения эквивалентного теплового состояния дизеля без увеличения энергоёмкости бортовых источников электроэнергии.

Новые методы исследования и конструктивные предложения отличаются от используемых ранее возможностью обеспечения конкурентоспособных топливно-экономических и экологических показателей высокооборотного малолитражного дизеля многоцелевого назначения с уменьшенным отношением хода поршня к диаметру цилиндра. Оценка эффективности предложенных технических решений происходит непосредственно в процессе проектирования дизеля, что значительно сокращает материальные затраты на изготовление опытных образцов развёрнутых двигателей. Сами предложенные решения не требуют коренного переоснащения производства и могут быть внедрены в короткий срок.

Практическая реализация научно-технических решений, предложенных в диссертационной работе, позволила в сравнении с базовым дизелем улучшить на номинальном режиме работы высокооборотного малолитражного дизеля топливную экономичность на 12 - 15% с одновременным снижением выбросов оксида углерода в два раза и дымности отработавших газов на 10 - 15%. На режимах пуска экономические показатели улучшены в 2 - 2,5 раза.

Разработанные теоретические основы и практические методы послужили базой для проектирования в КП ХКБД унифицированного для подготовки единого производства семейства малолитражных дизелей серии ДТА в двух-, трёх- и четырёхцилиндровом исполнении. Результаты диссертационного исследования, кроме КП ХКБД, внедрены на заводе им. В.А. Малышева (г. Харьков), Борисовском заводе автотракторного электрооборудования (г. Борисов, Беларусь), а также в учебных процессах при подготовке аспирантов и студентов на кафедрах: двигателей внутреннего сгорания и системного анализа и управления НТУ "ХПИ"; двигателей внутреннего сгорания и теоретической механики и гидравлики ХНАДУ; теплотехники и тепловых двигателей, а также механики и проектирования машин УкрГАЗТ.

*Ключевые слова:* высокооборотный малолитражный дизель, смесеобразование и сгорание, воз-

духоснабжение, топливоподача, пуск и предпусковая подготовка, топливно-экономические и экологические показатели, многоцелевое назначение.

**Grytsyuk O.V. Theoretical Principles and Practical Methods of Development of High-Speed Low-Capacity Diesel Engine of Universal Purpose. - Manuscript.**

Thesis for scientific degree competition for doctor's degree of technical science on specialty 05.05.03 - engines and power plants. - National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute ". - Kharkiv, 2010.

The thesis is devoted to the development of theoretical principles and practical methods of creation of a high-speed low-capacity domestic diesel engine of universal purpose with a competitive level of fuel efficiency and ecological indices.

The method of a choice of basic design and adjusting parameters of the low-capacity diesel engine is offered. A new complex of practical methods of mathematical and physical modeling of air-fuel mixing and combustion processes, parameters of air-supplying and fuel supply, processes in valve timing systems, start and pre-starting procedure is developed. Specific offers for improvement of existing designs of units and systems of the low-capacity diesel engine are given. New methods and offers differ from earlier used by the possibility of their application for high-speed low-capacity diesel engines, presence of continuous linkage between the offer of engineering solutions and estimation of their efficiency and orientation on requirement of provision of their manufacturing application in a short term and with minimal technical re-equipment.

The developed theoretical principles and practical methods have formed a basis for designing in SE KEDB of the unified for preparation of uniform manufacture of a family of low-capacity diesel engines of DTA series in two-, three- and four-cylinder modifications.

*Key words:* high-speed low-capacity diesel engine, air-fuel mixing and combustion, air-supplying, fuel supply, start and pre-starting procedure, fuel efficiency and ecological indices, universal purpose.

**ДЛЯ НОТАТОК**

Відповідальний за випуск к.т.н., доц. Прохоренко А.О.

Підписано до друку 21.05.2010 р. Формат 60x90/16  
Папір офсетний. Друк на ризографі. Гарнітура тип Таймс.  
Ум. друк арк. 1,9. Зам. № 0521-10. Тираж 100 прим.

Видавництво ФО-П Шейніна О.В.  
61001, м. Харків, пр. Гагаріна, 1, тел. (057) 732-36-98  
E-mail: editor@izdatel.com.ua <http://www.izdatel.com.ua>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготівників  
і розповсюджувачів видавничої продукції  
ДК № 2779 від 28.02.2007 р.