

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

Кабанов Олександр Миколайович

УДК 621.433:665.7.035.7

ЗНИЖЕННЯ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ
ГАЗАМИ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ ШЛЯХОМ КОНВЕРТУВАННЯ ЇХ В
ГАЗОВІ ДВИГУНИ

Спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор

Абрамчук Федір Іванович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згоряння.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Пелепейченко Володимир Ігорович, Академія внутрішніх військ МВС України, м. Харків, професор кафедри автомобільної техніки;

кандидат технічних наук, доцент

Полив'янчук Андрій Павлович, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ, доцент кафедри екології

Захист відбудеться “22” травня 2008 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.13 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 у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “21” квітня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Триньов О.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

На сьогоднішній день особливо гостро стоїть проблема зниження викидів токсичних речовин автомобільними двигунами. Дизельні двигуни вносять суттєвий вклад у забруднення навколишнього середовища, тому в наш час ведеться активна робота над зниженням вмісту токсичних речовин у відпрацьованих газах дизелів.

В роботі над зниженням екологічної небезпеки вуглеводневих палив чітко простежується тенденція зниження долі вуглецю та підвищення долі водню у світовому вуглеводневому енергетичному балансі. В світі цієї тенденції відбувся миттєвий перехід від перших експериментів із вугільним пилом, який спочатку пробували використовувати в якості палива для дизелів до дизельного палива нафтового походження. Подальше зниження вмісту вуглецю в паливі означає зниження процентного вмісту у відпрацьованих газах дизеля токсичних речовин, що містять вуглець (СО, NMHC, тверді частки, ПАВ, альдегіди та ін.). Логічним кінцем цього процесу є перехід дизелів на водень, єдиним продуктом згоряння якого є вода, а єдина токсична речовина, що може утворюватися при його згорянні – NO_x.

Але перехід до використання водню в якості моторного палива поки що потребує дуже великих витрат, тому дизельне паливо повинне поступово замінюватися на паливо із найменшим можливим вмістом вуглецю. На сьогоднішній день таким паливом є стиснутий природний газ (СПГ), основним компонентом якого є метан. Як наслідок, загальна тенденція еволюції вуглеводневих палив буде мати наступний вигляд: C – C_nH_m – CH₄ – H₂.

У відповідності із цією тенденцією у всьому світі відбувається конвертація дизелів, що працюють на рідкому нафтовому паливі, на стиснутий природний газ. Цей шлях поліпшення екологічних показників транспортних дизелів потребує значно менших витрат матеріальних ресурсів, ніж використання складних і дорогих у виготовленні і в експлуатації дизельних паливних систем і систем очищення відпрацьованих газів від шкідливих речовин, тому в сучасних умовах він вважається оптимальним.

Крім того, в порівнянні із дизельним паливом нафтового походження СПГ є більш екологічно безпечним паливом. Метан, основний компонент СПГ, на відміну від дизельного палива не є токсичною речовиною, і при витоку СПГ із резервуарів він не забруднює ґрунти та водойми, а розчиняється в атмосфері.

В усьому світі цій проблемі приділяється велика увага, де вже працює на СПГ більше 3.2 млн. транспортних засобів, у тому числі в Аргентині – 2.2 млн., Бразилії – 600 тис., Пакистані – 410 тис., Італії – 400.8 тис., США – 130 тис. Наприклад, Європейська Комісія визначила необхідність заміщення до 2020 року 10 % бензинів та дизельного пального на території Євросоюзу стиснутим природним газом. Аналогічні законодавчі акти, що забезпечують ро-

зширення використання СПГ в якості моторного палива для транспортних дизелів, активно впроваджуються в США, Канаді, Китаї, Франції, Італії та багатьох інших країнах. В Україні проблема забруднення навколишнього середовища токсичними речовинами, що містяться у відпрацьованих газах дизелів, також стоїть досить гостро, тому проблема покращання екологічних показників транспортного дизеля за рахунок зниження викидів з відпрацьованими газами шкідливих речовин на сьогоднішній день є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами

Робота виконана на кафедрі ДВЗ ХНАДУ у відповідності із Законом України від 11.07.2001 р. № 2623-III „Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки”, зокрема п.3 „Збереження навколишнього середовища (довкілля) та сталий розвиток”, п.6 „Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі” і пов'язана з виконанням НДР № 06-53-04 „Теоретичні основи конвертування дизеля у двигун, працюючий на природному газі”, 2004-2006 рр. (ДР №0104U002049) та з виконанням договору про науково-технічне співробітництво 1-2003НТС-112/90 між Харківським автомобільним ремонтним заводом № 126 та ХНАДУ від 21 липня 2003 року.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є покращення екологічних показників транспортного дизеля за рахунок зниження викидів з відпрацьованими газами шкідливих речовин. В роботі пропонується конвертувати дизель в двигун з високоенергетичною системою іскрового запалювання, що працює на стиснутому природному газі.

Для досягнення поставленої мети в роботі були поставлені та розв'язані наступні задачі:

1. Вдосконалення математичної моделі розрахунку процесу згоряння та утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна з високоенергетичною системою іскрового запалювання, що працює на стиснутому природному газі.
2. Розробка методики для визначення показників процесу згоряння з експериментальних індикаторних діаграм.
3. Розробка методики проведення експериментального дослідження газового двигуна 6Ч13/14.

Об'єкт дослідження – процес згоряння в газовому ДВЗ на прикладі двигуна 6Ч13/14.

Предмет дослідження – вплив параметрів процесу згоряння на утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна, що працює на стиснутому природному газі.

Методи дослідження – математичне моделювання процесу згоряння, математичне моделювання утворення токсичних речовин у відпрацьованих газах двигуна, фізичне моделювання процесу згоряння, математичне планування експерименту.

Наукова новизна одержаних результатів

1. Вдосконалена математична модель процесу згоряння газового двигуна з високоенергетичною системою іскрового запалювання.
2. Розроблена методика визначення показників процесу згоряння з експериментальних індикаторних діаграм.
3. Одержані аналітичні залежності для розрахунку показників процесу згоряння газових двигунів з високоенергетичною системою іскрового запалювання.
4. Вдосконалена математична модель розрахунку викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Практичне значення одержаних результатів

1. Програмний комплекс розрахунку процесу згоряння газового двигуна.
2. Програмний комплекс визначення показників згоряння з експериментальних індикаторних діаграм.
3. Тримірна характеристична карта для мікропроцесорної системи управління кутом запалювання θ двигуна 6Ч13/14.
4. Тримірна характеристична карта для мікропроцесорної системи управління подачею палива α двигуна 6Ч13/14.

Особистий внесок здобувача

При виконанні дисертаційної роботи здобувачем особисто:

1. Розроблений математичний план експериментального дослідження газового двигуна 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання.
2. Розроблено методику одержання змінного показника m з експериментальної індикаторної діаграми.
3. Вдосконалено математичну модель розрахунку процесу згоряння та еколого-хімічних показників газового ДВЗ з високоенергетичною системою запалювання.
4. Одержано тримірні характеристичні карти для мікропроцесорної системи управління газовим двигуном 6Ч13/14: мікропроцесорної системи управління системою запалювання (θ) та системою живлення (α).

Апробація результатів роботи

Основні положення та результати роботи доповідались та отримали схвалення на: 2-й і 3-й міжнародних науково-технічних конференціях „Луканинские чтения. Пути решения энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе” (Москва, МАДИ, 2005 р, 2007 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях „Технічні та економічні перспективи розвитку автотранспортного комплексу і дорожнього будівництва” (Харків, ХНАДУ, 2005-2007 рр.); Міжнародних науково-практичних конференціях „Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье” (2006 р, 2007 р.).

Публікації

Основні положення дисертаційної роботи опубліковано в семи роботах, шість з яких – у фахових виданнях ВАК України.

Обсяг і структура дисертації

Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків та _ додатків. Повний обсяг дисертації складає ___ сторінки; з них ___ ілюстрацій у тексті; ___ ілюстрацій на ___ сторінках; ___ таблиць на ___ сторінках; ___ найменувань використаних джерел на ___ сторінках; _ додатки на ___ сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі обґрунтовується актуальність розроблюваної теми дисертації, формулюється її мета та основні завдання дослідження, визначаються шляхи їх вирішення, надається інформація про наукову новизну та практичну цінність роботи, визначається особистий внесок здобувача в одержані результати досліджень.

В першому розділі виконаний аналіз шляхів поліпшення екологічних показників транспортних дизелів, в тому числі за рахунок їх конвертації на стиснутий природний газ. Аналіз досліджень, присвячених екологічним аспектам використання стиснутого природного газу в якості моторного палива, показав можливість істотного зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами при конвертації дизельних ДВЗ на СПГ. Так, вміст монооксида вуглецю CO, неметанових вуглеводнів NMHC, канцерогенних речовин і твердих часток у вихлопі стає нехтовно малим, а викиди NO_x істотно знижуються. Таким чином, конвертація частини автомобільних двигунів на стиснутий природний газ дозволить істотно покращити екологічну обстановку в місцях, де використовується автомобільний транспорт. При цьому обґрунтовано, що такий шлях покращення екологічних показників транспортних дизелів значно дешевший, ніж використання складних і дорогих сучасних дизельних паливних систем (насос-форсунки, common-rail та ін.)

В якості прикладу на рис. 1 наведено результати дослідження, проведеного в одному з автобусних парків м. Вашингтон – середній рівень викидів шкідливих речовин автобусів Orion з дизельними двигунами Detroit Diesel Series 50 (чорний колір) і з такими ж дизелями, конвертованими на СПГ (білий колір).

Як можна бачити з рис. 1, заміна дизельних ДВЗ на газові дозволила знизити викиди транспортними засобами CO – приблизно в 10 разів, NO_x – в 2 рази, CH – в 1.2 рази, викиди твердих частинок з відпрацьованими газами стали нехтовно малими.

Проведений аналіз шляхів максимальної реалізації потенційних можливостей стиснутого природного газу в якості моторного палива показав, що використання двопаливних двигунів, що працюють як на стиснутому природ-

ному газі, так і на рідкому паливі, неефективно. Хоча цей спосіб має ряд переваг, він не дозволяє повною мірою реалізувати переваги, які надає високе октанове число стиснутого природного газу. Аналіз показав, що найкращі екологічні показники буде мати двигун, що працює тільки на газовому паливі.

Другий розділ присвячений вдосконаленню математичної моделі, що дозволяє виконати розрахунок процесу згоряння газового ДВЗ з високоенергетичною системою запалювання з метою вибору оптимальних значень параметрів роботи газового двигуна.

Для розрахунку кривої тепловиділення було обране рівняння І.І. Вибе

$$x = 1 - \exp\left(-6.908\left(\frac{\varphi - \varphi_0}{\varphi_z}\right)^{m+1}\right), \quad (1)$$

де φ_0 – кут початку згоряння, град. пкв; φ_z – кут, що відповідає тривалості згоряння, град. пкв; m – показник характеру згоряння.

Порівняння кривих тепловиділення, розрахованих за рівнянням (1), з експериментальними, показало недостатню адекватність цієї математичної моделі експериментальним результатам. Тому у запропонованій методиці постійний показник m замінюється на залежність виду

$$m = (t, x), \quad (2)$$

де t – відносний час. Моменту початку згоряння відповідає $t=0$, кінцю згоряння – $t=1$; x – частка палива, що вигоріла на момент часу t .

Для визначення змінного показника m з експериментальних кривих тепловиділення була розроблена методика, в основі якої знаходиться рівняння

$$\left(\frac{t_i}{t_z}\right)^{m+1} = \frac{\ln(1-x_i)}{\ln(1-x_z)} \quad (3)$$

де i – порядковий номер елемента в масиві; t_i – час, що пройшов з початку згоряння; t_z – загальна тривалість згоряння; x_i – частка палива, що вигоріла на момент часу t_i ; m_i – значення змінного показника m у момент часу t_i . Кінець згоряння визначається моментом, коли $x=0.999$.

Враховуючи, що при $x=0.999$ $\ln(1-x_z) = -6.908$, в результаті логарифмування рівняння (3) по t_i/t_z отримуємо

$$\log_{\frac{t_i}{t_z}} \frac{-6.908}{\ln(1-x_i)} = \log_{\frac{t_i}{t_z}} \left(\frac{t_i}{t_z}\right)^{-m_i-1}, \quad (4)$$

$$\log_{\frac{t_i}{t_z}} \frac{-6.908}{\ln(1-x_i)} = -m_i - 1. \quad (5)$$

Як наслідок, рівняння для розрахунку визначення змінного показника m з експериментальних кривих тепловиділення приймає наступний вигляд

$$m_i = -1 - \log_{\frac{t_i}{t_z}} \frac{-6.908}{\ln(1-x_i)}. \quad (6)$$

У третьому розділі описана методика експериментального дослідження газового ДВЗ 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання, конвертованого з дизельного двигуна ЯМЗ-236.

Зняття індикаторних діаграм здійснювалось за допомогою вимірювального комплексу „ІВК ДВЗ” на базі персонального комп’ютера IBM PC із спеціальним модулем аналого-цифрового перетворення, програмним забезпеченням і комплектом периферійних пристроїв вимірювальної апаратури, до якої належать датчики, підсилювачі електричних сигналів, джерела живлення та електричні лінії з’єднання.

Вимірювання тиску в циліндрі виконувалося за допомогою тензодатчика. Окрім того, використовувались оптичні датчики ВМТ і кута повороту колінчастого валу, змонтовані в одному корпусі. Тарування датчику тиску в циліндрі проводилося за допомогою поршневого манометру перед кожним випробуванням і після нього.

Індикаторна діаграма, відмітки ВМТ та відмітки кута повороту колінчастого валу записувались паралельно. Копія екрану процедури зняття індикаторної діаграми наведена на рис. 2.

Вибір представницької індикаторної діаграми здійснювався наступним чином. На встановленому режимі роботи двигуна оброблялись на p_i 240 суміжних індикаторних діаграм. Далі визначалось усереднене значення p_i , за яким підбиралась представницька індикаторна діаграма. Ця діаграма вибиралась для подальшої обробки.

Обробка індикаторних діаграм газового двигуна виконувалось з допомогою методики, розробленої на кафедрі ДВЗ.

Для скорочення обсягу експериментальних досліджень використовувалась ортогональний математичний план другого порядку для чотирьох факторів на трьох рівнях. Для виконання цього плану необхідно провести експеримент всього в 25 точках. Як змінні величини використовувались:

- коефіцієнт надлишку повітря α ;
- кут випередження запалювання θ , град. пкв до ВМТ;
- частота обертання колінчастого валу n , хв^{-1} ;
- середній ефективний тиск P_e , МПа.

Діапазони варіювання цих величин наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Діапазон варіювання змінних величин у математичному плані експерименту

α	θ	n	P_e
–	град. пкв до ВМТ	хв ⁻¹	МПа
1	32	1000	0
1.25	36	1550	0.5
1.5	40	2100	1.0

В четвертому розділі наведені результати розрахунково-експериментального дослідження газового двигуна 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання.

Проведений аналіз впливу параметрів режиму роботи двигуна на форму кривої показника m і на величину тривалості згоряння φ_z дозволив одержати наступні розрахункові залежності.

Зміна показника m в процесі згоряння

$$m_i = 0.093 + 13.866 \cdot t_i \cdot \frac{n \cdot 0.01 + 10.32}{n \cdot 0.01 + 9.21} + 10.67 \cdot t_i^2 \cdot \frac{\alpha \cdot 1.9}{\alpha + 1} - \dots$$

$$\dots - 85.98 \cdot t_i^3 \cdot \frac{\eta_v \cdot 0.089}{\eta_v \cdot 0.089 + 2.261} + 69.78 \cdot t_i^4 \cdot \frac{\Theta}{\Theta + 1.326}, \quad (4)$$

де t_i – відносний час, $t_i = 0 \dots 1$; n – частота обертання двигуна, хв⁻¹; α – коефіцієнт надлишку повітря; θ – кут випередження запалювання, град. пкв до ВМТ; η_v – коефіцієнт наповнення.

Тривалість згоряння, град. пкв до ВМТ

$$\varphi_z = 40(0.812 \cdot \alpha - 0.028 \cdot \theta + 5.762 \cdot 10^{-4} \cdot n - 0.1258 \cdot \eta_v + 0.146), \quad (5)$$

На рис. 3, 4, 5 наведені результати розрахунків при постійному значенні показника m , визначеному за методом найменших квадратів, і при змінному показнику m , визначеному за методикою, що наведена вище, у порівнянні з результатами експерименту.

З таблиці 2 видно, що при обробці індикаторної діаграми, розрахованої за методом Вибє з постійним значенням показника m , погрішність визначення індикаторного тиску склала 5.4%, в той час як при розрахунку за методикою зі змінним значенням показника m похибка визначення p_i склала 2.7%.

Таблиця 2

Результати розрахунку середнього індикаторного тиску

Величина	p_{im}	$p_{im\Box}$	p_i
Значення	0.792	0.771	0.751

При порівнянні розрахункових та експериментальних діаграм за максимальною величиною тиску згоряння p_z також видно, що запропонована методика забезпечує більш точну відповідність експериментальним результатам (таблиця 3).

Таблиця 3

Порівняння розрахункових та експериментальних індикаторних діаграм по p_z

Величина	p_{zm}	$p_{zm\Box}$	p_z
Значення	6.94	6.75	6.61

З таблиці 3 видно, що похибка розрахунків максимального тиску згоряння по методу з постійним показником m становить 4.9 %, а за методикою зі змінним значенням показника m – 2.1%.

Оптимальне з точки зору забезпечення найкращих екологічних показників газового двигуна значення коефіцієнту надлишку повітря знаходиться в межах $\alpha=1.35...1.5$, в залежності від частоти обертання колінчастого валу і навантаження.

Значення кута випередження запалювання, що забезпечує оптимальні екологічні показники газового двигуна, знаходиться в межах $\theta=35...41$ °пкв, в залежності від частоти обертання колінчастого валу і навантаження.

На рис. 6 і 7 наведені оптимальні з точки зору забезпечення мінімального рівня викидів шкідливих речовин значення коефіцієнтів надлишку повітря і кутів випередження запалювання для всіх можливих режимів роботи газового ДВЗ з високоенергетичною системою запалювання, тобто для всіх можливих комбінацій ефективного крутного моменту M_e , Н·м, та частот обертання n , xv^{-1} , в діапазоні, що досліджувався.

Конвертація дизельного двигуна в газовий за екологічною схемою призводить до наступних результатів (рис. 8, рис. 9).

На режимі холостого ходу при $n = 1000 xv^{-1}$ і $P_e = 0$ МПа вміст NO_x у відпрацьованих газах при конвертації дизельного двигуна в газовий за екологічною схемою знижуються на 20 %. Зниження викидів CO при цьому складає 60 %, однак вміст CH у відпрацьованих газах при цьому збільшується – на 25 %.

При збільшенні навантаження із зберіганням постійного значення частоти обертання різниця вмісту NO_x у відпрацьованих газах дизеля та газового

двигуна суттєво зростає, при цьому на всіх режимах роботи викиди NO_x дизельним двигуном перевищують викиди цієї речовини газовим.

Так, при $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ збільшення навантаження з $P_e = 0 \text{ МПа}$ до $P_e = 1.0$ ця величина зростає з 20 % до 55 %. При цьому спостерігається зниження викидів CO газовим двигуном з ростом навантаження. Завдяки цьому досить суттєва різниця за викидами CO між дизелем та газовим двигуном на режимі холостого ходу при збільшенні P_e до 1.0 МПа сягає величини 68 %. При частоті обертання $n = 2100 \text{ хв}^{-1}$ ці величини приймають значення 75 % і 79 % відповідно. При навантаженні $P_e = 0.4 \dots 0.6 \text{ МПа}$ різниця викидів CO найменша і складає 61...65 %.

При збільшенні навантаження вміст CH у відпрацьованих газах дизеля суттєво не змінюється до величини навантаження $P_e = 0.6 \text{ МПа}$, але потім спостерігається його зростання. В той же час викиди цієї речовини газовим двигуном з ростом навантаження постійно зменшуються. Як наслідок, при відсутності навантаження викиди CH газового двигуна перевищують викиди цієї речовини базовим дизелем (при $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$ – на 25 %, при $n = 2100 \text{ хв}^{-1}$ – на 12 %), але при збільшенні навантаження ця величина починає зменшуватися, і при досягненні навантаження $P_e = 0.6 \dots 0.8 \text{ МПа}$ вміст CH у відпрацьованих газах дизеля починає перевищувати викиди цієї речовини газовим двигуном. На режимах максимального навантаження викиди CH дизеля перевищують вміст цієї речовини у відпрацьованих газах двигуна на СПГ на 20...50 %, в залежності від частоти обертання колінчастого валу двигуна.

На режимах мінімальних обертів викиди CH дизеля нижчі від викидів газового двигуна на 15...40 %, але при частотах обертання колінчастого валу, перевищуючих $n = 1500\text{-}1800 \text{ хв}^{-1}$, концентрація CH у відпрацьованих газах дизеля перевищує аналогічний показник двигуна, що працює на СПГ, на величину до 45 %.

Зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами при конвертації дизельного двигуна в газовий, в залежності від режиму роботи, складає: NO_x – 15-60 %, CO – 55-80 %, викиди CH збільшуються на 10 % або зменшуються на 30 %. При цьому викиди CH газового двигуна в основному складаються з нетоксичного метану, а викиди CH двигуна, що працює на дизельному паливі – з високотоксичних неметанових вуглеводнів NMHC .

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні поставлена та вирішена науково-практична задача – визначення можливостей та умов поліпшення екологічних показників транспортного дизеля шляхом конвертування його в газовий двигун (на прикладі дизеля ЯМЗ-236). Рішення даної задачі дозволило одержати наступні наукові і практичні результати:

1. Вдосконалена математична модель процесу згоряння та утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах, що дозволяє оцінювати вплив параметрів роботи двигуна на показники цього процесу.

2. Розроблений метод експериментального дослідження газового двигуна 6Ч13/14.

3. Розроблена методика визначення змінного показника m з індикаторної діаграми, що дозволяє розробити рівняння залежності змінного показника m від параметрів робочого процесу газового двигуна з іскровим запалюванням.

4. Отримані аналітичні залежності, що дозволяють виконати розрахунок тривалості згоряння, а також зміни показника m в залежності від параметрів роботи газового двигуна з високо енергетичною системою запалювання.

5. Зниження викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами при конвертації дизельного двигуна в газовий, в залежності від режиму роботи, складає: NO_x – 15-60 %, CO – 55-80 %, викиди CH збільшуються на 10 % або зменшуються на 30 %. При цьому викиди CH газового двигуна в основному складаються з нетоксичного метану, а викиди CH двигуна, що працює на дизельному паливі – з високотоксичних неметанових вуглеводнів НМНС.

6. Розроблені тримірні характеристичні карти значень коефіцієнтів надлишку повітря та кутів випередження запалювання в залежності від частоти обертання та ефективного крутного моменту газового двигуна 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання, призначені для використання в мікропроцесорній системі управління двигуном.

7. Результати дослідження і програмні комплекси передані для використання і впровадження державному підприємству “Харківський автомобільний ремонтний завод № 126”, науково-дослідній лабораторії кафедри ДВЗ ХНАДУ, а також використовуються у навчальному процесі при підготовці студентів спеціальності 7.090210 – двигуни внутрішнього згоряння в ХНАДУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Богомолів В.А., Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Перспективы применения природного газа в качестве топлива для автомобильных дизелей // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – № 16. – С. 247 – 249. Здобувачем виконаний аналіз вітчизняної та закордонної літератури з метою оцінки перспектив використання природного газу в якості моторного палива для автомобільних дизелів.

2. Богомолів В.А., Абрамчук Ф.И., Манойло В.М., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Экспериментальная установка для доводки систем зажигания и управления газовым двигателем с искровым зажиганием 6Ч 13/14 // Авто Газо Заправочный комплекс + Альтернативное топливо. – Москва: АГЗК+АТ. –

2005. – № 4 (22). – С. 42 – 45. Здобувач приймав участь у встановленні систем запалювання та керування двигуном на експериментальний стенд.

3. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Реализация возможностей сжатого природного газа при использовании его в качестве топлива для ДВС // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2005. – № 17. – С. 61 – 66. Здобувачем зібрані, систематизовані та проаналізовані дані по економічним та екологічним показникам двигунів, що працюють на дизельному пальному та СПГ.

4. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н., Салдаев С.В. Расчёт процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2006. – № 18. – С. 100 – 103. Здобувачем проведено розрахункове дослідження процесу згоряння газового ДВЗ.

5. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н. Расчётная оценка эколого-химических показателей газового двигателя с высокоэнергетической системой искрового зажигания // Автомобильный транспорт. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – № 20. – С. 63 – 67. Здобувачем проведено розрахункове дослідження утворення шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна на СПГ.

6. Абрамчук Ф.И., Кабанов А.Н. Методика расчёта процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2007. – № 2. – С. 67 – 73. Здобувачем уточнена методика розрахунку процесу згоряння газового двигуна, розроблена методика отримання змінного показника m з експериментальної індикаторної діаграми.

7. Богомоллов В.А., Абрамчук Ф.И., Манойло В.М., Воронков А.И., Салдаев С.В., Кабанов А.Н. Особенности конструкции экспериментальной установки для проведения исследований газового двигателя 6Ч13/14 с искровым зажиганием // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – Харьков: ХНАДУ. – 2007. – № 37. – С. 43 – 47. Здобувач приймав участь у розробці креслень деталей експериментального стенду з газовим ДВЗ та у експериментальній перевірці методу розрахунку процесу згоряння газовоих ДВЗ.

АНОТАЦІЇ

Кабанов О.М. Дослідження процесу згоряння газового ДВЗ 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки.

Дисертація присвячена питанням дослідження процесу згоряння газового ДВЗ 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання з метою визначення оптимальних значень кутів випередження запалювання та коефіцієнтів надлишку повітря у всьому діапазоні роботи двигуна.

Розроблено концепцію конвертації дизельних ДВЗ у газові двигуни.

Розроблено уточнену методику розрахунку процесу згоряння газового двигуна з високоенергетичною системою запалювання, що дозволяє провести розрахункове дослідження впливу різних факторів на процес згоряння газового ДВЗ.

Розроблено методику проведення експериментального дослідження газового двигуна, що дозволяє оперативно проводити реєстрацію індикаторних діаграм, реєстрацію витрати газу й повітря, частоти обертання, навантаження, температури відпрацьованих газів, та інших величин.

Розроблено методику обробки індикаторних діаграм.

Розроблено методику одержання змінного показника m при обробці експериментальних кривих тепловиділення.

Отримано характеристичні карти значень коефіцієнтів надлишку повітря і кутів випередження запалювання, що забезпечують оптимальні економічні показники для всіх режимів роботи газового ДВЗ 6Ч13/14 з високоенергетичною системою запалювання.

Ключові слова: газовий двигун, стиснутий природний газ, процес згоряння, індикаторна діаграма, крива тепловиділення, коефіцієнт надлишку повітря, математичне моделювання.

Кабанов А.Н. Исследование процесса сгорания газового ДВС 6Ч13/14 с высокоэнергетической системой зажигания. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – двигатели энергетические установки.

Диссертация посвящена вопросам исследования процесса сгорания газового ДВС 6Ч13/14 с высокоэнергетической системой зажигания с целью определения оптимальных значений угла опережения зажигания и коэффициента избытка воздуха во всём диапазоне работы двигателя.

Разработана технология конвертации дизельных ДВС в газовые двигатели.

Разработана уточнённая методика расчёта процесса сгорания газового двигателя с высокоэнергетической системой зажигания, позволяющая провести расчётное исследование влияния различных факторов на процесс сгорания газового ДВС.

Разработана методика проведения экспериментального исследования газового двигателя, позволяющая оперативно проводить регистрацию индикаторных диаграмм, регистрацию расхода газа и воздуха, частоты вращения, нагрузки, температуры отработавших газов и других величин.

Разработана методика обработки индикаторных диаграмм.

Разработана методика получения переменного показателя m при обработке экспериментальных кривых тепловыделения.

Получены характеристические карты значений коэффициентов избытка воздуха и углов опережения зажигания, обеспечивающих оптимальные эко-

номические показатели для всех режимов работы газового ДВС 6СН13/14 с высокоэнергетической системой зажигания.

Ключевые слова: газовый двигатель, сжатый природный газ, процесс сгорания, индикаторная диаграмма, кривая тепловыделения, коэффициент избытка воздуха, математическое моделирование.

Kabanov O.M. Investigation of combustion process of gas engine 6CH13/14 with high-energy ignition system. – Manuscript.

Thesis for a candidate degree by speciality 05.05.03 – engines and power plants.

The dissertation describes questions of Investigation of combustion process of gas engine 6CH13/14 with high-energy ignition system for the purpose of spark angle and air ratio optimum values estimation for whole engine operational range.

Conception of convertation of diesel ICE into natural gas engines has been developed.

Improved method of combustion process calculation of natural gas engine which allows to carry out computational investigation of influence of various factors on combustion process of natural gas engine has been developed.

Method of carrying out of experimental investigation of gas engine which allows to carry out efficiently indicated diagrams, gas and air consumption, speed, load, exhaust gases temperature and other values recording has been developed.

Method of indicated diagrams processing has been developed.

Method of obtaining of variable m factor using heat release curves processing has been developed.

Characteristic maps of air ratios and spark angles which provide optimum economical values for whole 6CH13/14 gas engine operational range have been obtained.

Key words: gas engine, compressed natural gas, combustion process, indicated diagram, heat release curve, air ratio, mathematical modelling.