

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Парсаданов Ігор Володимирович

УДК 621.431: 621.436.068

НАУКОВІ ОСНОВИ КОМПЛЕКСНОГО ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАЛИВНОЇ
ЕКОНОМІЧНОСТІ ТА ТОКСИЧНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ
ДИЗЕЛІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Спеціальність 05.05.03 – Теплові двигуни

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків – 2003

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі “Двигуни внутрішнього згоряння” Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: заслужений діяч науки України,

доктор технічних наук, професор

Шеховцов Анатолій Федорович,

Національний технічний університет

“Харківський політехнічний інститут”, професор кафедри двигунів внутрішнього згоряння.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор

Пелепейченко Володимир Ігоревич,

Військовий інститут внутрішніх військ, м. Харків, професор кафедри автомобільної техніки;

доктор технічних наук, професор

Головчук Андрій Федорович,

Уманський державний аграрний університет,

м. Умань, завідувач кафедри енергетичних засобів, технологічних процесів та обладнання;

доктор технічних наук, професор

Каніло Павло Макарович,

Інститут проблем машинобудування Національної академії наук України, м. Харків, провідний науковий співробітник відділу оптимізації процесів і конструкцій турбомашин.

Провідна установа: Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра системотехніки і діагностики транспортних машин, Міністерство освіти і науки України, м. Харків.

Захист відбудеться “25” грудня 2003 р. о 13 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.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розісланий “24” листопада 2003 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради

Пильов В.О.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Розв'язання задач підвищення технічного рівня дизелів пов'язано з проведенням наукових та експериментальних досліджень, які спрямовані на поліпшення паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів (ВГ). При цьому паливна економічність, як і токсичність ВГ, у значній мірі залежать від сумішоутворення і згоряння. Тому заходи, що спрямовані на поліпшення паливної економічності дизелів, змінюють склад різних груп токсичних компонентів ВГ, іноді у бік їх зростання. Комплексний підхід до цієї проблеми дозволяє з урахуванням експлуатаційних характеристик обґрунтувати і реалізувати на практиці компромісні щодо рівнів паливної економічності та токсичності ВГ рішення відносно конструкції і регулювальних параметрів дизелів.

Для спільного розгляду показників паливної економічності та токсичності ВГ, цілеспрямованого пошуку технічних рішень, що забезпечують зниження витрати палива і токсичних викидів з ВГ дизелів, потрібен комплексний критерій. У разі застосування даного критерію на етапі проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт з'являється можливість оцінити і узагальнити показники дизелів різного призначення, виявляти ефективність використання одного й того ж дизеля в різних умовах експлуатації, розробити заходи щодо підвищення технічного рівня дизелів.

Практичне використання комплексного критерію і розроблених на його основі науково-технічних рішень, поряд з розв'язанням проблеми збереження ресурсів та навколишнього середовища, дозволяє забезпечити значне підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів українського виробництва.

Актуальність дисертаційної роботи полягає в розробці наукових основ комплексного вирішення проблеми поліпшення показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів та сільськогосподарських машин, з урахуванням їх призначення і умов експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Обраний напрям дисертаційного дослідження відповідає Державній програмі розвитку двигунобудування України на 1996-2000 р.р., конкурсним проектам Міністерства освіти і науки України "Фундаментальні дослідження з розробки наукових основ забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних автотранспортних двигунів внутрішнього згоряння по еколого-економічному критерію на базі комп'ютерного управління паливо-та повітропостачанням, глибокою вторинною утилізацією і хімічною нейтралізацією викидів" на 2000-2002 р.р. (ДР №0100v001655) та "Фундаментальні дослідження робочих процесів і токсичності перспективних автотранспортних двигунів при їх конвертації на альтернативні палива" на

2003-2005 р.р. (ДР №0103v001500), роботи з яких виконувались в проблемній науково-дослідній лабораторії кафедри двигунів внутрішнього згорання НТУ “ХП”.

Мета і задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є розробка науково-технічних основ комплексної оцінки паливної економічності дизелів та токсичності відпрацьованих газів з урахуванням умов експлуатації, застосування цих розробок для підвищення технічного рівня й якості дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

Об’єкт дослідження – шестициліндровий рядний дизель 6ЧН 12/14 (СМД-31) з безпосереднім впорскуванням палива, газотурбінним наддувом і проміжним охолодженням наддувочного повітря, який призначений для використання на вантажних автомобілях і сільськогосподарських машинах.

Предмет дослідження – показники паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин при роботі на дизельному й альтернативному паливах з урахуванням умов експлуатації.

Методи дослідження – експериментальне визначення вихідних показників витрати палива і викидів з ВГ дизелів оксидів азоту, твердих часток, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів з використанням сучасного швидкодіючого устаткування; системний аналіз взаємного впливу сумішоутворення, згорання й умов експлуатації на вартісну оцінку витрат на паливо і відшкодування збитку від шкідливого впливу ВГ на навколишнє середовище; розрахунковий метод визначення комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів; розрахунково-експериментальний метод визначення викидів твердих часток з ВГ дизеля; імовірно-статистичні методи оцінки значущості результатів проведених наукових досліджень і розробки спрощених циклів випробувань для визначення комплексного критерію паливної економічності і токсичності ВГ.

Для досягнення мети в роботі визначені такі основні задачі:

1. Запропонувати комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів, що заснований на урахуванні реальних умов експлуатації дизелів.
2. Визначити імовірнісний розподіл полігонів роботи дизеля вантажного автомобіля при експлуатації його за повним завантаженням.
3. Розробити розрахунково-експериментальний метод визначення викидів твердих часток у відпрацьованих газах, що заснований на використанні результатів вимірів димності ВГ та емісії сумарних вуглеводнів з ВГ.
4. Запропонувати напрямок впливу на перебіг процесів сумішоутворення та згорання у циліндрі дизеля, що забезпечує зниження викидів оксидів азоту з ВГ.

5. Виявити шляхи підвищення технічного рівня для дизелів вантажних автомобілів, зернозбиральних комбайнів, гусеничних і колісних тракторів.

6. Обґрунтувати й розробити заходи щодо інтенсифікації сумішоутворення і згоряння з метою значного поліпшення комплексних експлуатаційних показників паливної економічності та токсичності ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

7. Запропонувати випробувальні цикли, що спрощують процедуру стендових випробувань і забезпечують достатню вірогідність при оцінці комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ.

8. Дати оцінку ефективності застосування альтернативних палив у дизелях при різних умовах експлуатації і перспективного рівня комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ.

Проблема підвищення технічного рівня дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин при застосуванні комплексного підходу до показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів з урахуванням умов експлуатації вирішується вперше.

Наукова новизна одержаних результатів

При розв'язанні поставлених у дисертаційної роботі задач одержані нові наукові результати:

1. Уперше обґрунтовано і реалізовано метод підвищення технічного рівня дизелів, заснований на комплексній оцінці паливної економічності, вартісних витрат на паливо і відшкодування збитку від шкідливого впливу відпрацьованих газів на навколишнє середовище з урахуванням умов експлуатації.

2. Розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення твердих часток у відпрацьованих газах дизелів, заснований на даних виміру димності відпрацьованих газів і концентрації у відпрацьованих газах газоподібних сумарних вуглеводнів.

3. Запропоновано імовірнісний розподіл полігонів експлуатаційних режимів повністю завантаженого дизеля вантажного автомобіля.

4. Показана залежність зниження емісії оксидів азоту з відпрацьованими газами при збереженні високого рівня паливної економічності дизелів від інтенсифікації сумішоутворення і згоряння при мінімально можливих значеннях тиску і температури згоряння, а також коефіцієнта надлишку повітря.

5. Уперше дана оцінка комплексним показникам паливної економічності та токсичності ВГ з урахуванням умов експлуатації дизелів і на цій основі показані шляхи підвищення технічного рівня дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

6. Розроблено камеру згоряння для дизеля з двоклапанною головкою циліндра і зміщенням форсунки відносно вертикальної осі циліндра, що забезпечує поліпшення показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів за рахунок більш інтенсивної турбулізації заряду.

7. Запропоновано цикли стендових випробувань дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин для визначення комплексних показників паливної економічності та токсичності ВГ, що спрощують процедуру випробувань і забезпечують достатню вірогідність отриманих результатів.

8. Уперше дана оцінка паливо-екологічної ефективності застосування альтернативних палив при їх використанні на дизелях вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

9. Дано прогноз рівня комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ на найближчу перспективу.

Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення виконаного дослідження складає наступне:

1. Показано, що об'єктивній порівняльній оцінці рівнів токсичності вітчизняних і закордонних дизелів перешкоджають відмінності у методиках визначення питомих викидів шкідливих речовин з ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин між Правилами ЄЕК ООН і стандартами, що діють в Україні.

2. Обґрунтовано метод стендових випробувань по визначенню середньої експлуатаційної витрати палива за характерними фіксованими режимами, який враховує особливості умов експлуатації дизеля.

3. Виявлені резерви зниження емісії твердих часток з ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

4. Дано оцінку найбільш значимим факторам, що дозволяють впливати на комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів різного призначення в експлуатації.

5. Розроблені і впроваджені у виробництво заходи щодо удосконалювання показників паливної економічності та токсичності ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин українського виробництва:

- - рядний паливний насос, що інтенсифікує паливоподачу;
- - паливна форсунка зі збільшеним тиском початку підйому голки;
- - імпульсна система газотурбінного наддуву і турбокомпресор, що забезпечують більш високий ККД дизеля у широкому діапазоні частот обертання колінчастого вала і навантажень;
- - розподільний вал зі зміненою фазою закриття впускного клапана;

- - впускний гвинтовий канал головки циліндрів з поліпшеними аеродинамічними характеристиками за рахунок уточнення його конструкції;
- - камера згоряння з турбулізуючими виїмками і зміненою формою підклапаних вито-
чень;
- - збільшено ступень стиску;
- - скорочено період затримки запалювання за рахунок зменшення кута початку подачі палива.

6. Знижено середні експлуатаційні питомі ефективні витрати палива дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин українського виробництва на 2...5%.

7. Забезпечено зниження витрати на відшкодування екологічного збитку від згоряння палива дизелів вантажних автомобілів на 33% і сільськогосподарських машин на 50%.

8. Дано рекомендації із забезпечення максимальної паливно-екологічної ефективності при використанні як альтернативного палива у дизелях вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин: природного газу, рослинних олій, їх сумішей та ефірів, а також водопаливної емульсії.

- Результати наукового дослідження впроваджені і використовуються в ВАТ “Головне спеціалізоване конструкторське бюро по двигунах середньої потужності” (м. Харків), ВАТ “Серп і молот” (м. Харків), проблемній науково-дослідній лабораторії кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ “ХПІ”, а також у навчальному процесі при підготовці аспірантів і студентів спеціальності 090210 – двигуни внутрішнього згоряння в НТУ “ХПІ”.

Особистий внесок здобувача

При виконанні дисертаційного дослідження здобувачем особисто:

- запропоновано метод підвищення технічного рівня дизелів, заснований на комплексній оцінці паливної економічності, вартісних витрат на паливо і відшкодування збитку від шкідливого впливу відпрацьованих газів на навколишнє середовище з урахуванням умов експлуатації;

- експериментами і розрахунками показано, що об'єктивній порівняльній оцінці рівнів токсичності вітчизняних і закордонних дизелів перешкоджають відмінності у методиках визначення питомих викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин між Правилами ЄЕК ООН і стандартами, що діють в Україні;

- розроблено комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизелів;

- визначено, що значні витрати на відшкодування екологічного збитку при експлуатації автомобільного дизеля зв'язані з його використанням на територіях, які характеризуються

високим показником відносної небезпеки;

- показано, що поліпшення показників паливної економічності та токсичності ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин можна досягти, у першу чергу, за рахунок зниження викидів з відпрацьованими газами оксидів азоту і твердих часток; частка оксиду вуглецю і вуглеводнів у витратах на відшкодування екологічного збитку вкрай незначна;

- показана залежність зниження емісії оксидів азоту з відпрацьованими газами при збереженні високого рівня паливної економічності дизелів від інтенсифікації сумішоутворення і згоряння при мінімально можливих значеннях тиску і температури згоряння, а також коефіцієнта надлишку повітря;

- розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення емісії твердих часток з відпрацьованими газами дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин, заснований на даних вимірів димності відпрацьованих газів і концентрації у відпрацьованих газах газоподібних сумарних вуглеводнів;

- дано оцінку комплексним показникам паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів з урахуванням умов експлуатації дизелів і показані шляхи підвищення технічного рівня дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин українського виробництва.

- запропоновано цикли стендових випробувань, що спрощують процедуру проведення випробувань і забезпечують достатню вірогідність при оцінці комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів;

- дано оцінку паливо-екологічної ефективності застосування альтернативних палив у дизелях вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин;

- дано прогноз перспективного рівня комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин, що забезпечується за рахунок підвищення ефективності сумішоутворення і згоряння.

Апробація результатів дисертації

Основні результати досліджень, що включені в дисертацію, доповідалися на I,II,III,IV,V,VI,VII Конгресах двигунобудівників України (Київ-Харків-Рибач'є) у 1996-2002 р.р., на конференціях "Ресурсозбереження і нові технології" у Таврійській державній агротехнічній академії (м. Мелітополь) у 1995-2000 р.р., на міжнародних щорічних науково-технічних конференціях "Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я", Харків-Мишкольц-Магдебург у 1994-1999,2001,2003 р.р., на науково-технічних конференціях Українського транспортного університету (м. Київ), Харківській державній академії залізничного транспорту (м. Харків), Володимирського державного університету (м. Во-

лодимир, Росія) у 1994-1999 р.р., на VIII міжнародній науково-технічній конференції “Екологія і здоров'я людини.” (м. Щелкино, АР Крим) 2000 р., на Всеросійському конгресі двигунобудівників (м. Санкт-Петербург) 2003 р.

Публікації

Результати дисертаційної роботи опубліковано в одноосібній монографії, трьох статтях в наукових збірниках, трьох статтях у наукових журналах, дев'ятнадцяти статтях в збірках наукових праць, одинадцяти тезах доповідей; отримано патент України.

Обсяг та структура дисертації

Дисертаційна робота складається з вступу, шести розділів, висновків, шести додатків. Повний обсяг дисертації складає 347 сторінок; з них 25 ілюстрацій по тексту, 35 ілюстрацій на 31 сторінці; 19 таблиць по тексту, 19 таблиць на 18 сторінках; 6 додатків на 43 сторінках; 208 найменувань використаних літературних джерел на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У вступі розкриті сутність і стан наукової проблеми та обґрунтована актуальність розглянутої теми, сформульовано мету, основні задачі дослідження та шляхи їх розв'язання.

Перший розділ присвячено аналізу впливу дизелізації на проблему збереження ресурсів і навколишнього середовища при виробництві енергії, необхідної для забезпечення людської діяльності. Показано, що рівень енергетичного потенціалу розвинутих країн нерозривно зв'язаний з розширенням застосування дизелів, що мають переваги в паливній економічності в порівнянні з іншими типами двигунів внутрішнього згорання. Обмеження для розширеного застосування дизелів обумовлені дефіцитом дизельного палива і негативним впливом на навколишнє середовище токсичних викидів відпрацьованих газів.

Розв'язання цієї паливно-екологічної проблеми полягає в комплексному підході до удосконалення дизелів, обґрунтуванні й практичній реалізації прийнятих, найчастіше компромісних наукових і технічних рішень, заснованих на урахуванні умов експлуатації.

До основних факторів, що дозволяють впливати на паливну економічність та токсичність відпрацьованих газів дизелів, відносяться організація сумішоутворення і згорання, конструкція і технологія виготовлення, характеристики традиційних дизельних і альтернативних палив, застосування засобів нейтралізації відпрацьованих газів, підвищення тепловикористання, електронізація керування й умови експлуатації.

Паливно-екологічну проблему дизелів, як одного з активних джерел забруднення навколишнього середовища і споживання природних ресурсів, найбільш ефективно вирішувати шляхом безпосереднього впливу на сумішоутворення і згорання при спільному розгляді експлуатаційних характеристик паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів.

Істотним внеском у рішення проблеми ресурсозбереження і забезпечення потреби в паливі для вітчизняних дизелів є використання альтернативних палив. У наведеному огляді показано, що найбільш перспективними в умовах експлуатації в Україні альтернативними паливами для дизелів є газові палива, рослинні олії, їхні суміші та ефіри, а також водопаливні емульсії.

В другому розділі розглянуто методи оцінки паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів, а також моделі експлуатації дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

Аналіз існуючих методів оцінки витрати палива показав, що найбільш повно паливну економічність дизеля в експлуатації характеризує середня експлуатаційна питома витрата палива, визначення якої раціонально виконувати при стендових випробуваннях на характерних фіксованих режимах роботи, що обрані з урахуванням призначення двигуна й узагальнення даних його експлуатації:

$$g_{e \text{ сep.e}} = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{Ti} P_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} P_i)}, \quad (1)$$

де G_{Ti} – витрата палива за годину на кожному фіксованому режимі; P_i – частковий наробіток на кожному i -ому фіксованому режимі; N_{ei} – ефективна потужність двигуна; z – кількість фіксованих режимів.

Цей показник є в достатньому ступені універсальним, оскільки враховує експлуатаційні режими роботи двигуна, вплив рівня і тривалості завантаження. Крім того, $g_{e \text{ сep.e}}$ дозволяє визначити ефективність заходів щодо умов витрати палива в експлуатації, проводити порівняльний аналіз паливної економічності різних двигунів на машинах одного класу чи того самого двигуна на машинах різних класів, одержувати необхідні результати при мінімальному обсязі стендових випробувань.

Законодавчі обмеження на регламентовані шкідливі речовини ВГ устанавлюються нормативною документацією (національними і міжнародними стандартами), в якій наведені вимоги і положення щодо умов проведення випробувань, області застосування і терміну дії стандартів, засобів вимірювання, правил обробки результатів випробувань і характеристик застосованого палива.

Дослідженнями встановлені кількісні відмінності питомих показників викидів шкідливих речовин з ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин при випробуванні за Правилами ЄЕК ООН і стандартами, які діють в Україні, що перешкоджають об'єктивній порівняльній оцінці рівня токсичності вітчизняних і закордонних дизелів (рис. 1).

Сукупність експлуатаційних режимів можна представити у виді імовірного розподілу полігонів значень крутних моментів і частот обертання колінчастого вала двигуна, при тому, що кожний з досліджуваних показників роботи двигуна в межах окремо узятото i -го полігона приведено до центра полігона, який має конкретні $M_{крi}$ і n_i .

Якщо для кожного з полігонів визначити у відносних показниках його імовірність, що характеризується річним наробітком чи циклом виконаної роботи, то отримуємо узагальнену модель експлуатації двигуна у вигляді:

$$\bar{P}_i = f(\bar{M}_{крi}, \bar{n}_i), \quad (2)$$

де \bar{P}_i – відносний частковий наробіток двигуна на i -ому полігоні імовірного розподілу експлуатаційних режимів; $\bar{M}_{крi}$ і \bar{n}_i – відносні значення крутного моменту і частоти обертання колінчастого вала двигуна на i -ому полігоні. Тут $\bar{M}_{крi} = M_{крi} / M_{кр.н.}$; $\bar{n}_i = n_i / n_{н.}$, а індекс “н” відноситься до режиму номінальної потужності.

Моделі експлуатації дизелів сільськогосподарських машин у результаті обробки експериментальних даних уперше розроблені проф. А.Ф. Шеховцовим на кафедрі ДВЗ НТУ “ХПІ”. Ці моделі можуть бути ідентифіковані для оцінок і прогнозування експлуатаційних показників витрат палива і викидів з ВГ шкідливих речовин.

Для дизеля вантажного автомобіля на основі даних експлуатаційних випробувань, що проведені російськими й українськими дослідниками, запропоновано імовірнісний розподіл полігонів експлуатаційних режимів при русі повністю завантаженого автомобіля по міському, міжміському і змішаному циклам (рис.2), що дозволяє врахувати реальні умови експлуатації при проведенні стендових випробувань дизеля і давати оцінку паливо-екологічним показникам.

Третій розділ присвячено розробці метода комплексної оцінки показників паливної економічності та токсичності ВГ дизелів. Даний метод передбачає використання комплексного критерію, заснованого на експлуатаційній паливній економічності та вартісній оцінці витрат в експлуатації на паливо і відшкодування збитку від шкідливого впливу ВГ, віднесених до одиниці виконаної роботи.

Комплексна оцінка паливної економічності і токсичності ВГ дизеля проводилася з використанням середнього експлуатаційного ефективного ККД, який знайдемо, якщо відомі середня експлуатаційна питома ефективна витрата палива (1), а також коефіцієнта відносних експлуатаційних екологічних витрат.

Коефіцієнт відносних експлуатаційних екологічних витрат враховує частку витрат на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ двигуна в сумарних витратах на паливо і відшкодування екологічного збитку. Коефіцієнт

відносних експлуатаційних екологічних витрат визначається відношенням $\beta = Z_E / Z_{TE}$, де Z_{TE} – сумарні витрати на паливо і відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу ВГ двигуна в експлуатації, віднесені до одиниці потужності: $Z_{TE} = Z_T + Z_E$.

Добуток середнього експлуатаційного ефективного ККД на частку експлуатаційних екологічних витрат у сумарних паливо-екологічних витратах з обліком усіх імовірнісних фіксованих режимів моделі експлуатації буде представляти безрозмірний комплексний критерій паливної економічності і токсичності ВГ дизеля:

$$K_{TE} = \eta_{e \text{ сеп.е.}} \dot{I} (1 - \beta). \quad (3)$$

Комплексний критерій має максимальне значення, що дорівнює середньому експлуатаційному ефективному ККД, за умови відсутності експлуатаційних екологічних витрат, тобто в тому випадку, коли у ВГ дизеля, що викидаються у навколишнє середовище, будуть цілком відсутні токсичні компоненти. Зі збільшенням частки екологічних витрат, тобто з погіршенням екологічних характеристик дизеля, величина комплексного критерію буде знижуватися.

Сумарні витрати на паливо для всіх представницьких фіксованих режимів моделі експлуатації дизеля

$$Z_T = g_{e \text{ сеп.е.}} \dot{I} C_T = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{Ti} \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot P_i)} \cdot C_T. \quad (4)$$

Сумарні витрати на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ при спалюванні палива, віднесені до одиниці потужності для всіх представницьких фіксованих режимів моделі експлуатації дизеля:

$$Z_E = \frac{\sum_{i=1}^z (G_{Ti} \cdot \bar{Y}_{Ei} \cdot P_i)}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} \cdot P_i)}. \quad (5)$$

У формулах (4) і (5): C_T – ціна 1 кг палива; \bar{Y}_{Ei} – вартісне відшкодування (ціна) екологічного збитку на кожному i -ому фіксованому режимі від спалювання 1 кг палива:

$$\bar{Y}_{Ei} = C_T \sigma f \bar{G}_{\text{ВВпр}i},$$

де $\bar{G}_{\text{ВВпр}i}$ – приведений масовий викид шкідливих речовин з ВГ дизеля на кожному фіксованому режимі, віднесений до витрати палива:

$$\bar{G}_{\text{ВВпр}i} = \sum_{k=1}^N (A_k \cdot \bar{G}_{\text{ВВ}k_i}) = \sum_{k=1}^N (A_k \cdot \frac{G_{\text{ВВ}k_i}}{G_{Ti}}), \quad (6)$$

$G_{\text{ВВ}k_i}$ і $G_{\text{T}i}$ – відповідно, масові викиди шкідливих речовин і витрата палива на кожному фіксованому режимі; A_k – показник відносної агресивності k -го компонента токсичних викидів; N – загальна кількість токсичних компонентів, що враховуються; σ – безрозмірний показник відносної небезпеки забруднення для різних територій; f – безрозмірний коефіцієнт, що враховує характер розсіювання ВГ в атмосфері; N_{ei}, P_i, z – описано вище.

Очевидно, що для відшукування значень \bar{V}_{Ei} необхідно володіти інформацією про погодинні масові викиди токсичних компонентів шкідливих речовин на кожному представницькому фіксованому i -ому експлуатаційному режимі.

Безрозмірний комплексний критерій паливної економічності та токсичності ВГ з урахуванням ступеня завантаження дизеля і фактора часу роботи в експлуатації дозволяє дати оцінку паливо-екологічної ефективності використання конкретного дизеля на машинах різного класу чи різних двигунів при застосуванні на машинах одного класу. Комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів, дозволяє проводити аналіз компромісної ситуації, коли потрібно ухвалення рішення про припустимий ріст витрат на паливо за умови зменшення загального рівня паливо-екологічних витрат. У цьому випадку необхідно додатково порівнювати ступінь складності реалізації цих рішень з урахуванням потенційних витрат на істотну реконструкцію дизеля і витрати на застосування, приміром, систем електронного регулювання чи нейтралізації відпрацьованих газів. Отже, на основі запропонованих комплексних оцінок з використанням критерію можливі системний аналіз, вибір і наукове обґрунтування шляхів підвищення технічного рівня і конкурентоспроможності дизелів.

В загальному виді у відповідності з формулами (3,4,5,6) комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів має вигляд:

$$K_{\text{TE}} = \frac{3600}{H_u} \cdot \frac{\sum_{i=1}^z (G_{\text{T}i} P_i)}{G} \cdot \frac{\sum_{i=1}^z (G_{\text{T}i} P_i) + \sigma f \sum_{i=1}^z [G_{\text{T}i} P_i \sum_{k=1}^N \frac{(A_k G_{\text{ВВ}k})}{G_{\text{T}i}}]}{\sum_{i=1}^z (N_{ei} P_i N) P} \quad (7)$$

Результати проведених випробувань і розрахунків комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ серійних дизелів колісного і гусеничного тракторів (СМД-31ТА), зернозбирального комбайну (СМД-31.16) і вантажного автомобіля (СМД-31.15) на режимах, що відповідають вузловим точкам полігонів моделей експлуатації, показали, що найменші витрати на паливо в експлуатації мають комбайнові й автомобільні дизелі. Це по-

яснюється тим, що умови експлуатації цих дизелів практично виключають найбільш нееконічні режими малих навантажень. Найменші значення питомих витрат на відшкодування екологічного збитку від згоряння палива мають тракторні дизелі. Відносно висока частка експлуатаційних режимів, на яких тракторні дизелі працюють при малих навантаженнях, забезпечує незначні сумарні викиди з ВГ найбільш агресивних шкідливих речовин – оксидів азоту (NO_x) і твердих часток (TC).

Значні витрати на відшкодування екологічного збитку при експлуатації дизеля вантажного автомобіля пов'язані, головним чином, з експлуатацією на територіях, які характеризуються показником відносної небезпеки забруднення значно більш високим, ніж для дизелів сільськогосподарських машин. Для дизеля вантажного автомобіля σ приймається рівним 1, а для тракторів і комбайнів – 0,25.

Аналіз гістограми (рис. 3) дозволяє визначити залежність витрат на паливо і відшкодування збитку від впливу на навколишнє середовище шкідливих викидів ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин:

- для дизеля вантажного автомобіля витрати, що зв'язані з відшкодуванням екологічного збитку від впливу на навколишнє середовище викидів оксидів азоту, є максимальними і складають 63,5% від сумарних витрат, витрати на паливо складають 20 %, витрати на відшкодування збитку від викиду твердих часток – 15 %;

- для двигунів сільськогосподарських машин значна частка сумарних витрат пов'язана з витратами на паливо (52...55%) і витратами на відшкодування екологічного збитку від викиду NO_x , що складають 40...43%; витрати на відшкодування збитку від викиду TC складають 4,5...5,0%;

- частка витрат на відшкодування екологічного збитку від спільного впливу на навколишнє середовище оксиду вуглецю та сумарних вуглеводнів для автомобільних дизелів і дизелів сільськогосподарських машин складає 0,3...0,6%.

У четвертому розділі розглянуто основи комплексного поліпшення показників паливної економічності і токсичності ВГ дизелів та основні методики досліджень й обробки даних експериментів.

З метою уникнення витратних і складних вимірів емісії TC запропоновано метод, що полягає у визначенні димності ВГ і газоподібних вуглеводнів. Оскільки TC визначаються наявністю у ВГ розчинних часток у рідкій і твердій фазах і нерозчинних часток, пропонується метод визначення TC за даними вимірів димності ВГ і викидів газоподібних вуглеводнів. В основу методу покладені такі допущення:

- димність, що вимірюється оптичним методом, визначається емісією сажі й інших нерозчинних часток, які знаходяться у ВГ (сульфідів, оксидів металів, пилу, золи й ін.);

- відносна частка газоподібних вуглеводнів, вимірюваних полум'яно-іонізаційним аналізатором при температурі $>190^{\circ}\text{C}$, що трансформуються з газоподібного у рідкий і твердий стани, при реєстрації їх на фільтрах при температурі 52°C , залишається постійною.

Аналіз і обробка експериментів по визначенню $TЧ$ дизеля СМД-31, що проведені за методикою правил ЄЕК ООН № 49 із застосуванням системи повного розрядження потоку ВГ, димності ВГ і концентрації сумарних газоподібних вуглеводнів, дозволили визначити залежності емісії нерозчинних $TЧ$ від димності ВГ і розчинних $TЧ$ від сумарних газоподібних вуглеводнів (рис.4).

Експериментальна залежність концентрації нерозчинних $TЧ$ від димності ВГ апроксимована поліномом другого ступеня:

$$W_{TЧ\text{ нр}} = (0,0023 N + 0,00005 N^2), \quad (8)$$

де $W_{TЧ\text{ нр}}$ – концентрація нерозчинних $TЧ$ у ВГ; N – димність ВГ.

Залежність концентрації розчинних $TЧ$ від сумарних газоподібних вуглеводнів апроксимована поліномом другого ступеня:

$$W_{TЧ\text{ р}} = (0,145 W_{CnHm} + 0,33 W_{CnHm}^2), \quad (9)$$

де $W_{TЧ\text{ р}}$ – концентрація розчинних твердих часток у ВГ; W_{CnHm} – концентрація газоподібних сумарних вуглеводнів у ВГ.

У підсумку, концентрація $TЧ$ у ВГ дизелів буде визначатися адитивною функцією двох поліномів другого ступеня (8 і 9):

$$W_{TЧ} = (0,0023N + 0,00005 N^2) + (0,145 W_{CnHm} + 0,33 W_{CnHm}^2). \quad (10)$$

З метою підтвердження можливості застосування розрахунково-експериментального методу визначення $TЧ$ була проведена його ідентифікація для інших типів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин в результаті якої встановлено, що погрішність визначення $TЧ$ розрахунково-експериментальним методом стосовно безпосереднього виміру за допомогою спеціального устаткування не перевищує 10%. Перевагами запропонованого методу є його простота, можливість оцінки впливу складових на сумарний викид $TЧ$. Метод може знайти застосування при різних видах досліджень, для розробки і перевірки заходів, спрямованих на поліпшення екологічних якостей дизелів різних об'ємів циліндрів і швидкості.

До основних факторів, що забезпечують підвищення технічного рівня дизелів, відноситься зниження викиду NO_x . Однак при зниженні емісії NO_x не повинні зрости експлуатаційна витрата палива і викид $TЧ$. Пошук нових рішень поліпшення екологічних показників привів до необхідності аналізу механізму утворення NO_x , що враховує специфіку дизельного процесу. Цей механізм утворення NO_x ураховує три основних періоди:

- перший період утворення оксидів азоту зв'язаний із передполум'яним термохі-

мічним перетворенням парів палива, що відбувається від моменту початку подачі палива до першого спалаху палива;

- другий період утворення оксидів азоту характеризується збільшенням швидкості тепловиділення при продовженні згоряння і зростанні тиску і температури;

- третій період характеризується відновленням частки NO_x в результаті взаємодії із сажею, що утворилася в заключній фазі згоряння.

Таким чином, утворення і викид NO_x з ВГ безпосередньо пов'язані з умовами сумішоутворення та згоряння і для дизелів з безпосереднім впорскуванням палива залежать від інтенсивності паливоподачі, характеристики повітряного заряду, коефіцієнта надлишку повітря, ступеня стиску, конструктивних елементів камери згоряння і форсунки.

Загальноприйняте, що інтенсифікація паливоподачі шляхом збільшення тиску і скорочення тривалості впорскування є найбільш ефективним засобом зниження викидів з ВГ оксидів азоту, однак при цьому необхідно змінювати кут випередження впорскування палива.

Аналіз індикаторних діаграм (рис. 5), знятих при роботі дизеля на оптимальних по питомій витраті палива кутах випередження впорскування палива визначив, що інтенсифікація паливоподачі скорочує дійсний кут впорскування палива і забезпечує умови для зниження утворення NO_x в першому періоді за рахунок скорочення затримки запалювання, але при цьому одночасно збільшується швидкість згоряння основної дози палива, що приводить до збільшення утворення NO_x в другому періоді. Подібний ефект досягається і при збільшенні ступеня стиску. Досягти істотного зниження викидів NO_x в цих випадках можна, якщо одночасно зменшувати кут початку подачі палива.

Звідси випливає, що для зниження викидів NO_x з ВГ, поряд з інтенсифікацією згоряння необхідно приймати заходи для зниження максимального тиску і температури циклу, у першу чергу за рахунок зменшення кута початку згоряння й організації згоряння після ВМТ. Максимальна температура згоряння циклу повинна бути якомога нижча, причому переважне значення має зниження градієнта температур, коли утворення NO_x як у першому періоді, так і в другому – буде мінімальним. Зниженню градієнта температур сприяє і зменшення повітряно-паливного відношення до рівня, достатнього для згоряння з високою паливною економічністю, тобто необхідне дотримання наступних умов:

$$\left. \begin{array}{l} \varphi_{з.восп.}, \varphi_{сгор.} \\ P_z, T_z, \alpha \end{array} \right\} \Longrightarrow \min \quad \text{при } \eta_e = \text{const.}$$

У п'ятому розділі представлені результати практичної реалізації методу комплексної оцінки паливної економічності і токсичності ВГ з метою підвищення технічного рівня, якості і конкурентоспроможності дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

У першу чергу був проведений аналіз значень комплексного критерію паливної економі-

чності і токсичності ВГ і його складових: витрат на паливо (Z_T), витрат на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище ВГ (Z_E) і сумарних витрат (Z_{TE}) на кожному із представницьких режимів моделі експлуатації досліджених дизелів. Аналіз показав таке:

- основним резервом поліпшення комплексних показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів комбайнових дизелів є зниження емісії оксидів азоту при номінальній частоті обертання колінчастого вала і зниження викидів твердих часток у всьому діапазоні експлуатаційних режимів;

- підвищення комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизеля гусеничного трактора головним чином пов'язано з підвищенням ефективного ККД і зниженням викидів шкідливих речовин на швидкісному режимі номінальної потужності; у меншій мірі – з поліпшенням цих показників при частоті обертання колінчастого вала, яка відповідає частоті обертання $M_{кр\ max}$, і на режимі мінімального холостого ходу;

- основним резервом у підвищенні комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизеля колісного трактора є зменшення викидів оксидів азоту і твердих часток при роботі на номінальній частоті обертання колінчастого вала і підвищення середнього експлуатаційного ефективного ККД на часткових експлуатаційних режимах;

- витрати на відшкодування екологічного збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище відпрацьованих газів вантажного автомобіля в 3 – 5 разів перевищують витрати на паливо для кожного з полігонів; підвищення ефективності дизеля вантажного автомобіля забезпечується зниженням емісії оксидів азоту і твердих часток у робочому діапазоні частот обертання і навантажень.

На підставі проведеного аналізу для підвищення технічного рівня дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин українського виробництва запропоновані і реалізовані заходи, що були ув'язані з рівнем витрат на реалізацію і термінами їх впровадження у виробництво та спрямовані на удосконалювання сумішоутворення і згорання:

- застосовано імпульсну систему газотурбінного наддуву і турбокомпресор, що забезпечують високий рівень ККД дизеля у широкому діапазоні частот обертання колінчастого вала і навантажень;

- збільшено коефіцієнт наповнення на низьких частотах обертання колінчастого вала двигуна за рахунок скорочення фази закриття впускного клапана;

- поліпшені аеродинамічні характеристики впускного гвинтового каналу головки циліндрів за рахунок уточнення його конструкції;

- впроваджено паливний насос, що інтенсифікує паливоподачу, та паливна форсунка зі збільшеним тиском початку підйому голки;

- застосовано камеру згоряння з турбулізуючими виїмками і зміненою формою підклапанних виточень;

- збільшено ступінь стиску;

- скорочено період затримки за рахунок зменшення кута початку подачі палива.

На рис. 6 показано запропоновану камеру згоряння з турбулізуючими виїмками і зміненою формою підклапанних виточень, що забезпечує поліпшення показників паливної економічності та токсичності ВГ дизеля з безпосереднім впорскуванням палива та з двоклапаною головкою циліндра.

Зміну концентрації NO_x та викиду $TЧ$, що досягнуті при впровадженні запропонованих вище заходів, ілюструють графіки, показані на рис. 7. Об'ємна концентрація NO_x у відпрацьованих газах на режимах максимальної потужності і режимі максимального крутного моменту зменшилася на 30-40%. Зменшилася об'ємна концентрація NO_x у відпрацьованих газах і на часткових режимах. Виняток складають режими максимальних навантажень при частоті обертання колінчастого вала 1000–1200 $хв^{-1}$, на яких відзначається збільшення викиду NO_x за рахунок значного поліпшення сумішоутворення і згоряння. При модернізації дизеля масовий викид $TЧ$ з відпрацьованими газами знизився у всьому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів. На режимі максимальної потужності і режимі максимального крутного моменту масовий викид $TЧ$ зменшився на 35...45%. Значно зменшився викид твердих часток на максимальних навантаженнях при частотах обертання колінчастого вала дизеля 1000–1200 $хв^{-1}$ (до 70%).

Регуляторні характеристики комбайнового і тракторного дизелів, а також швидкісні характеристики дизеля вантажного автомобіля показані на рис. 8. Підсумкові результати розрахунку комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів модернізованих модифікацій дизеля СМД-31 для різних умов експлуатації зведені до таблиці 1.

Модернізація дизелів дозволила значно поліпшити показники паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів. При цьому досягнуто таке:

- зниження середньої експлуатаційної питомої ефективної витрати палива і збільшення середнього експлуатаційного ККД комбайнового і тракторного варіантів дизелів СМД-31 склало 2...3%; найбільша ефективність при модернізації досягається в експлуатації для автомобільного дизеля, паливна економічність і ефективний ККД якого підвищуються на 5%;

- зниження витрат на відшкодування екологічного збитку від спалювання палива модернізованих тракторних і комбайнових дизелів склало 0,17...0,22 грн./(кВт·год), тобто близько

50%. Для автомобільного дизеля забезпечене зниження витрат від екологічного збитку на 0,53 грн./ (кВт·год). Комплексний критерій паливної економічності і токсичності ВГ (K_{TE}) для модернізованого комбайнового дизеля збільшився з 0,183 до 0,241 (на 24%), для колісного трактора – з 0,175 до 0,239 (на 27%), для гусеничного трактора – з 0,182 до 0,239 (на 24 %) і для автомобільного дизеля – з 0,0745 до 0,1020 (на 37 %) у порівнянні із серійним дизелем.

Проведена оцінка рівня токсичності ВГ модернізованих дизелів підтвердила повну їхню відповідність європейським Правилам СЕК ООН № 49.02А і № 96.01.

Таблиця 1

Комплексні показники паливної економічності та токсичності
відпрацьованих газів серійного й модернізованого дизелів СМД-31

Позначення дизеля	$g_{e\text{ сер.е}}$ кг/ кВт год	$\eta_{e\text{ сер.е}}$	Z_T , грн./ кВт год	Z_E , грн./ кВт год	Z_{TE} , грн./ кВт год	β	K_{TE}
СМД-31.16							
серійний варіант	0,241	0,350	0,44	0,40	0,84	0,522	0,183
модернізований варіант	0,235	0,359	0,42	0,21	0,63	0,672	0,241
СМД-31ТА (колiс.трак.)							
серійний варіант	0,266	0,317	0,48	0,39	0,87	0,552	0,175
модернізований варіант	0,258	0,327	0,47	0,17	0,64	0,730	0,239
СМД-31ТА (гусен.трак.)							
серійний варіант	0,255	0,331	0,46	0,38	0,84	0,550	0,182
модернізований варіант	0,248	0,340	0,45	0,19	0,64	0,702	0,239
СМД-31.15							
серійний варіант	0,236	0,357	0,43	1,62	2,05	0,209	0,0745
модернізований варіант	0,225	0,375	0,41	1,09	1,50	0,272	0,102

У шостому розділі за допомогою комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дано оцінку ефективності застосування в дизелях різних альтернативних палив і визначено рівень комплексного критерію перспективних дизелів.

Для скорочення обсягу випробувань на підставі узагальнення проведених досліджень для дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин розроблено 8...9 режимні цикли випробувань. Ці цикли при обмеженій кількості режимів навантажень і частот обертання колінчастого вала дизеля дозволяють з достатньою вірогідністю визначати значення комплексного критерію.

Для оцінки ефективності застосування альтернативних палив у різних умовах експлуа-

тації проведено стендові випробування дизелів за розробленими режимними циклами . Випробування проведені:

- на природному компримованому газі по газодизельному циклу з запальною дозою дизельного палива, яка складає 15 % від циклової подачі палива на режимі номінальної потужності;

- на ріпаковометиловому ефірі;

- на водопаливній емульсії, що складається з дизельного палива і 10 % (по об'єму) води.

Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизелів при роботі на альтернативних і дизельному паливах показана в таблиці 2.

Таблиця 2

Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизелів СМД-31 при застосуванні альтернативних палив

Позначення дизеля	Відносна зміна комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів			
	Дизельне паливо	Компримований природний газ	Водопаливна емульсія	Ріпаковометиловий ефір
СМД-31.16 (зернозбиральний комб.)	1	1,136	1,042	1,036
СМД-31ТА (гусеничний трактор)	1	1,069	1,038	1,036
СМД-31ТА (колісний трактор)	1	1,049	1,029	1,026
СМД-31.15 (вантажний автомобіль)	1	1,119	1,150	1,119

Результати проведених досліджень показують доцільність застосування в дизелях різного призначення кожного з досліджених альтернативних палив, оскільки це сприяє підвищенню комплексного критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів.

Дизелі сільськогосподарських машин доцільно переводити на газодизельний процес з використанням компримованого природного газу. У меншій мірі ефективним є застосування ріпакових ефірів і водопаливних емульсій. Для дизелів вантажних автомобілів раціональним є застосування в однаковій мірі як ріпакових ефірів так і компримованого природного газу. Але при роботі дизеля вантажного автомобіля на водопаливній емульсії комплексний критерій паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів зростає найбільше – на 15%.

Необхідно відзначити, що представлені результати отримані без зміни регулювань дизелів і без внесення змін у їхню конструкцію з метою адаптації до конкретного виду альтернативного палива. Таким чином, можна припустити, що існують резерви у підвищенні комплексного критерію при використанні кожного з розглянутих альтернативних палив.

Прогноз рівня комплексного критерію паливної економічності і токсичності ВГ для дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин, що буде досягнутий до 2010 року, дано з урахуванням подальшого удосконалювання сумішоутворення і згоряння (табл. 3).

У найближчій перспективі комплексний критерій витрати палива і токсичності ВГ зросте в 1,22...1,27 рази для дизелів сільськогосподарських машин і в 2 рази для дизелів вантажних автомобілів. Ці показники варто вважати граничними, якщо не будуть запропоновані нетрадиційні способи підвищення ефективності сумішоутворення і згоряння дизелів і подальшого зниження на цій основі токсичних викидів.

Резервом удосконалювання паливо-екологічних показників вітчизняних дизелів є подальше поліпшення характеристик дизельного палива (зниження вмісту сірки, стабілізація фракційного складу, збільшення цетанового числа, зменшення вмісту ароматичних вуглеводнів), розвиток систем електронного керування, впровадження нейтралізації і рециркуляції ВГ, регулювання ступеня стиску, тощо.

Таблиця 3

Комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів для модернізованих і перспективних дизелів СМД

Позначення дизеля	Значення комплексного критерію витрати палива і токсичності відпрацьованих газів	
	Модернізований дизель	Перспективний дизель
СМД-31.16 (зернозбиральний комбайн)	0,237	0,302
СМД-31ТА (гусеничний трактор)	0,244	0,302
СМД-31ТА (колісний трактор)	0,244	0,297
СМД-31.15 (вантажний автомобіль)	0,106	0,212

ВИСНОВКИ

Результатом дисертаційної роботи є розв'язання значної науково-технічної проблеми – підвищення технічного рівня дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин. Виконання зазначеної задачі забезпечено обґрунтуванням методів розрахунків і досліджень, заснованих на комплексній оцінці експлуатаційної паливної економічності і вартісних витрат

на паливо та відшкодування збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище відпрацьованих газів. Запропоновані на цій основі і реалізовані заходи поліпшили показники паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів без значних капіталовкладень, термінів впровадження й освоєння у виробництві.

Дисертаційне дослідження дозволило одержати нові важливі наукові і практичні результати:

1. Вирішена задача удосконалення дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин на основі спільного розгляду експлуатаційних характеристик паливної економічності і викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами.

2. Обґрунтовано метод стендових випробувань за визначенням середньої експлуатаційної витрати палива на характерних фіксованих режимах, який враховує особливості роботи дизеля, що пов'язані з умовами його експлуатації.

3. Показано, що об'єктивній порівняльній оцінці рівнів токсичності вітчизняних і закордонних дизелів перешкоджають відмінності у методиках визначення питомих викидів шкідливих речовин з ВГ дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин між Правилами ЄЕК ООН і стандартами, що діють в Україні

4. Запропоновано імовірнісний розподіл полігонів експлуатаційних режимів повністю завантаженого дизеля вантажного автомобіля, що дозволяє врахувати реальні умови експлуатації при проведенні стендових випробувань дизеля.

5. Розроблено і вперше впроваджено у практику дослідних робіт комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів, заснований на оцінці експлуатаційної паливної економічності та витрат в експлуатації на паливо і відшкодування збитку від шкідливого впливу на навколишнє середовище відпрацьованих газів, віднесених до одиниці виконаної роботи.

6. Установлено, що серед дизелів українського виробництва, які випускаються серійно, найбільшу ефективність в експлуатації мають комбайнові дизелі, найменш ефективні – автомобільні. Визначено, що значні витрати на відшкодування екологічного збитку при експлуатації автомобільного дизеля зв'язані з використанням їх на територіях, що характеризуються високим показником відносної небезпеки.

7. Показано, що підвищення критерію паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин можна досягти, у першу чергу, за рахунок зниження викидів з відпрацьованими газами оксидів азоту і твердих часток. Частка оксиду вуглецю і вуглеводнів у витратах на відшкодування екологічного збитку вкрай незначна.

8. Показана залежність зниження викидів оксидів азоту з відпрацьованими газами при

збереженні високого рівня паливної економічності дизелів від інтенсифікації сумішоутворення і згоряння при мінімально можливих значеннях тиску і температури згоряння, а також коефіцієнта надлишку повітря.

9. Розроблено розрахунково-експериментальний метод визначення твердих часток у відпрацьованих газах дизелів, заснований на даних вимірів димності відпрацьованих газів і концентрації у відпрацьованих газах газоподібних сумарних вуглеводнів. Цей метод може знайти застосування при різних видах випробувань, а також для розробки і перевірки заходів, спрямованих на поліпшення екологічних якостей дизелів.

10. Заходи щодо модернізації дизелів з метою підвищення комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ дизелів вантажних автомобілів, зернозбиральних комбайнів і сільськогосподарських тракторів спрямовані на удосконалювання сумішоутворення і згоряння та ув'язані з рівнем витрат на реалізацію і термінами впровадження їх у виробництво. Кожен із запропонованих заходів не супроводжувався негативним впливом на показники надійності дизеля.

11. Модернізація дизелів дозволила значно поліпшити показники паливної економічності й токсичності ВГ, зокрема:

- знижена середня експлуатаційна питома ефективна витрата палива і збільшено середній експлуатаційний ККД комбайнового і тракторних дизелів на 2...3 %, автомобільного дизеля – на 5%;

- знижені витрати на відшкодування екологічного збитку від спалювання палива тракторних і комбайнових дизелів на 0,17...0,22 грн./(кВт·год), тобто майже на 50%. Для автомобільного дизеля забезпечено зниження витрат від екологічного збитку на 0,53 грн./(кВт·год), тобто на 33%;

- комплексний критерій паливної економічності і токсичності ВГ комбайнового дизеля збільшився на 24%, колісного трактора – на 27%, гусеничного трактора – на 24 % і автомобільного дизеля – на 37 %.

12. Аналіз розподілу витрат на паливо і відшкодування екологічного збитку по експлуатаційних режимах роботи дизелів дозволив запропонувати цикли стендових випробувань, що спрощують процедуру проведення випробувань і забезпечують достатню точність при оцінці комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ.

13. У результаті проведеного аналізу науково-дослідних розробок, попередніх експериментальних досліджень і рівня їхньої практичної реалізації визначено, що найбільш перспективними в умовах експлуатації в Україні альтернативними паливами для дизелів є газові палива, рослинні олії, їхні суміші та ефіри, а також водопаливні емульсії. Проведені дослідження дизелів з оцінкою комплексного критерію паливної економічності та токсичності ві-

дпрацьованих газів по запропонованих циклах стендових іспитів при роботі на різних видах альтернативних палив показали таке:

- застосування в дизелях кожного з досліджених альтернативних палив сприяє підвищенню комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів;

- найбільш високий рівень комплексного критерію паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів досягається при використанні компримованого природного газу на дизелях сільськогосподарських машин;

- у дизелях вантажних автомобілів найбільш ефективно застосування водопаливної емульсії.

14. У перспективі комплексний критерій паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин за рахунок підвищення ефективності сумішоутворення і згорання зросте в 1,6 – 2 рази.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия/ Монография.–Харьков: Издательский центр НТУ “ХПИ”.–2003.–244 с.

2. Разлейцев Н.Ф., Парсаданов И.В., Прохоренко А.А. Влияние параметров топливоподачи на токсичность автомобильного дизеля // Двигатели внутреннего сгорания.– Харьков: ХГПУ.– 1995.– Вып. 55.– С. 154 –158.

Дано оцінку викиду оксидів азоту і димності відпрацьованих газів автомобільного дизеля в залежності від тиску впорскування.

3. Быков В.И., Парсаданов И.В., Виноград С.Л. Дизель СМД-31.15 для автомобилей КраЗ // Автошляховик України.– 1995.– № 4.– С. 27 –29.

Обґрунтовано застосування імпульсної системи наддуву і рядного паливного насоса при модернізації дизеля СМД-31.15.

4. Разлейцев Н.Ф., Парсаданов И.В., Прохоренко А.А. Исследование процессов образования вредных веществ в цилиндре автомобильного дизеля // Труды Таврической государственной агротехнической академии.– Мелитополь: ТГАТА. – 1995.– С. 21 – 22.

Виявлено вплив тиску, тривалості і кута випередження упорскування палива на викид оксидів азоту з відпрацьованими газами швидкохідного дизеля.

5. Марченко А.П., Парсаданов И.В., Прохоренко А.А. Особенности расчета эмиссии оксидов азота по модели профессора Разлейцева Н.Ф. // Двигатели внутреннего сгорания .– Харьков: ХГПУ. – 1997.– Вып. № 56-57. – С. 142 – 148.

Отримано дані для ідентифікації математичної моделі розрахунку викиду оксидів азоту з

відпрацьованими газами швидкохідного форсованого дизеля, що дозволило уточнити математичну модель.

6. Парсаданов И.В. Результаты исследований по снижению выбросов твердых частиц // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА.– 1998.–Вып. 2, Т. 6 . – С. 39 – 42.

7. Парсаданов И.В. Эффективность применения природного газа в качестве топлива для дизелей // Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА .– 1998.– Вып. 2, Т. 3.– С. 39-42.

8. Строков А.П., Парсаданов И.В. Анализ и обеспечение новых требований к выбросам вредных веществ с отработавшими газами дизелей для сельскохозяйственной техники //Авиационно-космическая техника и технология.– Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т “ХАИ”. – 1998.– С. 212 – 215.

Показано напрямки досліджень по забезпеченню перспективних вимог до викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами дизелів.

9. Парсаданов И.В. Пути улучшения показателей токсичности выбросов отработавших газов тракторных и комбайновых дизелей //Труды Таврической государственной агротехнической академии. – Мелитополь: ТГАТА. –1999. – Вып. 2, Т. 10.–С. 20 – 24.

10. Шеховцов А.Ф.,Парсаданов И.В. Комплексный критерий качества и конкурентоспособности автотракторных ДВС по расходу топлива и токсичности выбросов // Вестник Харьковского государственного политехнического университета.– Харьков: ХГПУ. –1999. – Вып. 60. –С. 25 – 30.

Дано науково-технічне обґрунтування застосування комплексного критерію по витраті палива і токсичності викидів для підвищення якості і конкурентоспроможності автотракторних двигунів внутрішнього згорання.

11. Строков А.П., Парсаданов И.В. Обеспечение перспективных требований к токсичности отработавших газов дизелей СМД // Авиационно-космическая техника и технология. –Харьков: Гос. аэрокосмич. ун-т “ХАИ”.– 1999.– Вып. 5 (тематический). – С. 125 – 128.

Дано аналіз впливу реалізованих заходів щодо поліпшення сумішоутворення і згорання на показники відпрацьованих газів дизеля.

12. Парсаданов И.В., Прудников Г.В., Коколев А.А. Влияние топливоподачи на токсичность выбросов отработавших газов автотракторного дизеля // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т “ХАИ”.– 2000. –Вып. 19. – С. 179–183.

Дано класифікацію шляхів впливу паливоподачи на токсичність викидів відпрацьованих газів і сформульовані вимоги до систем паливоподачи автотракторних дизелів українського виробництва.

13. Парсаданов І.В., Островний О.В. Зниження токсичності автотракторних дизелів СМД поліпшенням параметрів повітропостачання // Праці Таврійської державної агротехнічної академії.– Мелітополь: ТДАТА.–2000.– Вип 2,Т. 14.– С.40 –46.

Дано класифікацію шляхів впливу воздухоподачі на токсичність викидів відпрацьованих газів і дані рекомендації з розробки і реалізації заходів, спрямованих на поліпшення воздухоподачі автотракторних дизелів українського виробництва.

14. Парсаданов И.В. Оценка выброса твердых частиц с отработавшими газами дизеля. Авиационно-космическая техника и технология: Сб. научн. Трудов. Вып. 19. Тепловые двигатели и установки.- Харьков: Гос. аэрокосмический ун-т “ХАИ”, 2000.– С. 176–178.

15. Парсаданов И.В. Модель эксплуатации дизеля грузового автомобиля// Вестник Национального технического университета “ХПИ”. –Харьков: НТУ “ХПИ”, 2001. –№ 1. – С. 81-86.

16. Шеховцов А.Ф., Васильченко И.Д., Рыкова И.В., Коколев А.А., Парсаданов И.В. Оценка экономических показателей перспективных автотракторных дизелей на основе совершенствования топливной аппаратуры // Вестник Национального технического университета “ХПИ”.–Харьков: НТУ “ХПИ. – 2001. – № 2. – С. 67-72.

На підставі проведених експериментальних досліджень встановлено вплив інтенсифікації впорскування палива на економічні показники перспективних дизелів вантажних автомобілів та сільськогосподарських машин.

17. Пат. 32202 України, С2 F02B23/06. Поршень для дизеля / Парсаданов І.В., Строков О.П., Копачов М.Ф., Бондаренко В.П., Касінов В.І.– № 99010146; Заявл. 11.01.99, Опубл. 15.04.02, Бюл. № 4.

Запропоновано форму турбулізуючих виїмок у стінці камери згорання для дизелів з двоклапаною головкою циліндрів та дана оцінка їх впливу на показники паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів двигуна.

18. Парсаданов И.В., Киктенко В.В., Прудников Г.В., Коколев А.А. Исследование показателей рабочего процесса быстроходного форсированного дизеля при увеличении давления открытия иглы форсунки // Авіаційно-космічна техніка і технологія. –Харків: Нац. аерокосмічний ун-т “ХАІ”. – 2001. – Вип. 26. – С. 61-63.

Дано оцінку впливу тиску відкриття голки форсунки на показники робочого циклу при зміні кута випередження впорскування палива швидкохідного форсованого дизеля для вантажних автомобілів та сільськогосподарських машин.

19. Парсаданов И.В. Комплексна оцінка показників витрати палива і токсичності викидів відпрацьованих газів автотракторних дизелів з урахуванням умов експлуатації// Зб. наук. праць Харківської державної академії залізничного транспорту. – Харків: ХарДАЗТ. –2002.– Вип.51.– С. 26–29.

20. Парсаданов И.В. Нормирование выбросов вредных веществ дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин в Украине// Двигатели внутреннего сгорания. –Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2002.– № 1.– С. 4–7.

21. Шеховцов А.Ф., Строков А.П., Парсаданов И.В. Повышение конкурентоспособности дизелей для грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин на основе комплексного критерия топливной экономичности и токсичности отработавших газов// Авіаційно-космічна техніка і технологія. – Харків: Нац. аерокосміч. ун-т “ХАІ”. – 2002.– Вип. 30. –С. 4–10.

На підставі проведених розрахунково-експериментальних досліджень показано розподіл сумарних експлуатаційних паливно-екологічних витрат дизелів вантажних автомобілів та сільськогосподарських машин.

АНОТАЦІЇ

Парсаданов І.В. Наукові основи комплексного поліпшення показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.05.03 – теплові двигуни. – Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2003.

Дисертацію присвячено розробці методу комплексної оцінки показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин, що дозволяє забезпечити підвищення їх технічного рівня, якості і конкурентоспроможності. Науково обґрунтовані і реалізовані заходи по удосконалюванню дизелів на основі поліпшення паливної економічності і токсичних викидів відпрацьованих газів з урахуванням реальних умов експлуатації

Наведено результати досліджень дизелів при використанні дизельного й альтернативних палив. Дано прогноз рівня комплексного критерія показників паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів перспективних дизелів вантажних автомобілів і сільськогосподарських машин.

Ключові слова: паливна економічність, токсичність відпрацьованих газів, режими експлуатації, сумішоутворення та згоряння, альтернативні палива.

Парсаданов И.В. Научные основы комплексного улучшения показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин.– Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

05.05.03 – тепловые двигатели. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2003.

Диссертация посвящена разработке метода комплексной оценки показателей топливной экономичности и токсичности отработавших газов дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин, позволяющего обеспечить повышение технического уровня, качества и конкурентоспособности двигателей.

В работе сформулирована задача повышения топливно-экологической эффективности дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин на основе совместного рассмотрения характеристик топливной экономичности и выбросов вредных веществ с отработавшими газами с учетом условий эксплуатации.

Разработан комплексный критерий топливной экономичности и токсичности отработавших газов, основанный на стоимостной оценке затрат в эксплуатации на топливо и возмещение ущерба от вредного воздействия отработавших газов, отнесенных к единице выполненной работы, позволяющий оценивать качество дизелей, в том числе, в безразмерной форме. В основу критерия положены средний эксплуатационный эффективный КПД дизеля и коэффициент относительных экологических эксплуатационных затрат.

Предложено вероятностное распределение полигонов эксплуатационных режимов дизеля полностью загруженного грузового автомобиля.

Установлено, что повышение топливно-экологической эффективности дизелей грузового автотранспорта и сельскохозяйственных машин можно достичь, в первую очередь, за счет снижения выбросов с отработавшими газами оксидов азота и твердых частиц. Доля оксида углерода и углеводородов в затратах на возмещение экологического ущерба крайне незначительна.

Снижение выбросов оксидов азота с отработавшими газами и сохранение высокого уровня топливной экономичности дизелей обеспечивается интенсификацией смесеобразования и сгорания при минимально возможных значениях давления и температуры сгорания, а также коэффициента избытка воздуха.

Выбросы твердых частиц с отработавшими газами дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин с достаточной точностью можно определять по данным измерения дымности отработавших газов и концентрации в отработавших газах газообразных суммарных углеводородов. Этот метод может найти применение при различных видах испытаний, для разработки и проверки мероприятий, направленных на улучшение экологических качеств дизелей различных объемов цилиндров и быстроходности.

Разработанные мероприятия по повышению технического уровня и комплексных топливно-экологических показателей дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных

машин увязаны с уровнем затрат на реализацию и сроками внедрения их в производство и направлены на совершенствование смесеобразования и сгорания.

В результате проведенного анализа распределения суммарных топливно-экологических затрат на топливо и возмещение экологического ущерба по эксплуатационным режимам комбайновых, тракторных и автомобильных дизелей предложены циклы стендовых испытаний, упрощающие процедуру проведения испытаний и обеспечивающие достаточную точность при оценке комплексного критерия расхода топлива и токсичности отработавших газов.

Проведены исследования дизелей с оценкой комплексного критерия топливной экономичности и токсичности отработавших газов по предложенным циклам стендовых испытаний при работе на различных видах альтернативных топлив.

В ближайшей перспективе комплексный критерий расхода топлива и токсичности отработавших газов дизелей грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин за счет повышения эффективности смесеобразования и сгорания может возрасти в 1,6 – 2 раза.

Ключевые слова: топливная экономичность, токсичность отработавших газов, режимы эксплуатации, смесеобразование, сгорание, альтернативные топлива

Parsadanov I.V. Scientific fundamentals of complex approach to parameters of fuel economy and emissions of harmful substances with the fulfilled gases of diesel engines of lorries and agricultural machines.– Manuscript.

The dissertation for presenting doctors degree in technical sciences of speciality 05.05.03 - heat engines. - National technical university “Kharkiv polytechnic institute”, Kharkiv, 2003.

The dissertation is devoted to development of method of the complex parameters estimation of fuel economy and emissions of harmful substances with the fulfilled gases of lorries and agricultural machines diesel engines, which increases their technological level, quality and competitiveness.

The quality and competitiveness of diesel engines on the basis of the complex approach to the expenditure of fuel and emissions of harmful substances with the fulfilled gases of diesel engines are considered. The results of experimental researches of diesel engines are given at use of traditional motor fuel and alternative fuels. The perspective complex parameters of the expenditure of fuel and exhaust gases emissions of diesel engines for agricultural machines and lorries is shown.

Key words: fuel economy, emissions of harmful substances with the fulfilled gases, combustion, alternatives fuels.

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

Підп. до друку 20.11.2003 р. Формат видання 145x215.
Формат паперу 60x90/16. Папір Captain. Друк – ризографія.
Обсяг 1,9 авт. арк. Тираж 100 прим. Зам. № 522

Видавничий центр НТУ “ХПІ”. Свідоцтво ДК № 116 від 10.07.2000 р.
Друкарня НТУ “ХПІ”, 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21
