

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ"

Осетров Олександр Олександрович

УДК 621.436:662.756.3

ПОЛІПШЕННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ДИЗЕЛЯ 4ЧН 12/14, ЩО ПРАЦЮЄ НА БІОПАЛИВАХ

Спеціальність 05.05.03 - теплові двигуни

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2005

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі двигунів внутрішнього згоряння Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут" Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: заслужений діяч науки і техніки України,  
доктор технічних наук, професор  
**Марченко Андрій Петрович**,  
Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут",  
проректор з наукової роботи, завідувач  
кафедри двигунів внутрішнього згоряння.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Пелепейченко Володимир Ігоревич**,  
Військовий інститут внутрішніх військ МВС України,  
м. Харків, професор кафедри автомобільної техніки;  
  
кандидат технічних наук,  
**Альохін Сергій Олексійович**,  
Казенне підприємство „Харківське конструкторське  
бюро з двигунобудування”,  
м. Харків, генеральний конструктор.

Провідна установа: Національний аграрний університет  
Міністерства освіти і науки України, кафедра тракторів і  
автомобілів, м. Київ.

Захист відбудеться "24" листопада 2005 р. о 13<sup>00</sup> на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.13 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 "21" жовтня 2005 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

Парсаданов І.В

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми**

Двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) завдяки своїм позитивним властивостям отримали широке поширення у світі. Разом з тим, обширне застосування ДВЗ призвело до ряду проблем, пов'язаних з виснаженням нафтових родовищ, забрудненням атмосфери токсичними викидами двигунів, глобальним потеплінням тощо. Частковим вирішенням цих проблем є використання альтернативних палив.

Перспективи застосування того чи іншого альтернативного палива залежать від наявності достатньої сировинної бази для його виробництва. В Україні, що має великі площі орних земель, раціонально використовувати альтернативні палива рослинного походження. Зокрема, для дизельних двигунів перспективними є біопалива, які виробляють на основі рослинних олій.

До цього часу запропонована велика кількість біопалив, наприклад, рослинні олії та їхні суміші з дизельним паливом (ДП), метилові, етилові, бутилові ефіри олій та ін. Ці палива відрізняються від традиційного фізико-хімічними властивостями, що призводить до змін протікання процесів у циліндрі двигуна та погіршення його показників. Наприклад, у деяких випадках збільшуються витрати палива та викиди оксидів азоту з відпрацьованими газами (ВГ), знижується надійність деталей циліндро-поршневої групи тощо.

Для ефективної роботи дизеля на біопаливах у його конструкцію та регулювання необхідно вносити зміни. Багатофакторна оптимізація можлива винятково на основі математичних моделей, які адекватно відображають протікання процесів у дизелі. Подібні моделі, які враховують особливості властивостей біопалив, зараз майже відсутні. Дотепер невирішеними залишаються питання порівняльної оцінки ефективності використання різних біопалив та ряд інших проблем.

Тому актуальною є робота, яка спрямована на дослідження впливу особливостей властивостей біопалив на протікання процесів сумішоутворення, згоряння, утворення оксидів азоту і сажі в циліндрі, розробку математичних моделей цих процесів, вибір та обґрунтування раціональних параметрів дизеля з урахуванням показників його паливної економічності та токсичності відпрацьованих газів.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

Робота виконана на кафедрі ДВЗ НТУ „ХПІ” відповідно до договору Харківської обласної державної адміністрації з Національним технічним університетом “Харківський політехнічний інститут”, підприємствами і фірмами регіону про впровадження досягнень науково-технічного прогресу на період 2000-2005 рр., держбюджетних тем МОН України: “Фізико-хімічні дослідження щодо використання альтернативних палив та альтернативних матеріалів в перспективних вітчизняних двигунах внутрішнього згоряння для автотранспортних засобів” (ДР № 01000001654); “Фундаментальні дослідження

робочих процесів та токсичності перспективних автотранспортних двигунів при їх конвертації на альтернативні палива” (ДР № 0103v001500); “Закономірності кінетики згоряння, динаміки тепловиділення та формування токсинів у двигунах внутрішнього згоряння (ДВЗ) при їх роботі на альтернативному паливі” (ДР № 0204v006545), в яких здобувач був виконавцем окремих розділів.

### **Мета і задачі дослідження**

*Метою* дисертаційної роботи є поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4ЧН 12/14, що працює на біопаливах, за рахунок вибору раціональних параметрів робочого процесу. Для досягнення поставленої мети в роботі треба було розв'язати такі основні задачі:

1. Експериментально дослідити фізико-хімічні властивості біопалив.
2. Розрахунково-експериментальними методами дослідити вплив властивостей біопалив на процеси сумішоутворення, згоряння, утворення оксиду азоту й сажі в циліндрі двигуна.
3. Розробити комплексну математичну модель робочого процесу дизеля, яка дозволяє розрахувати процеси сумішоутворення, згоряння, утворення оксиду азоту й сажі та враховує вплив на ці процеси властивостей біопалив.
4. Вибрати та обґрунтувати раціональні значення параметрів дизеля при використанні біопалив.

*Об'єкт дослідження* – чотирициліндровий рядний автотракторний дизель 4ЧН 12/14 (СМД-23) з безпосереднім впорскуванням палива, газотурбінним наддувом і проміжним охолодженням наддувочного повітря, що працює на біопаливах рослинного походження та їх сумішах з традиційним паливом.

*Предмет дослідження* – процеси сумішоутворення, згоряння, утворення оксиду азоту та сажі в циліндрі двигуна при використанні біопалив.

*Методи дослідження* – методи визначення вихідних показників дизеля з використанням сучасного експериментального обладнання; метод аналізу індикаторних діаграм; розрахункові методи визначення показників процесів згоряння, утворення оксиду азоту та сажі в циліндрі двигуна; розрахунковий метод визначення комплексного критерію паливної економічності та токсичності ВГ; математичне планування розрахункового експерименту; визначення раціональних значень впливових факторів методом структурованого пошуку.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

1. Розроблено комплексну математичну модель робочого процесу дизеля, що працює на біопаливах, шляхом внесення в математичні моделі процесів згоряння, утворення оксиду азоту та сажі таких уточнень:
  - в моделі процесу згоряння при розрахунку періоду спалаху запропоновані залежності, що враховують долю палива, яке випарувалося за період затримки запалювання, та запропонована схема узгодження періодів спалаху та дифузійного згоряння;
  - в моделі процесу утворення сажі запропоновані залежності, які враховують вплив на цей процес кисню, що входить до складу біопалив;

- в “термічній” моделі процесу утворення *NO* запропонована схема врахування дисоціації, нерівноважних концентрацій компонентів продуктів згоряння, похибок розрахунку теплоємностей і ентальпій;
- в “кінетичній” моделі процесу утворення *NO* уточнені диференціальні рівняння та запропоновані залежності, які враховують нижчу теплоту згоряння біопалив.

2. Вперше розраховані рівноважні склади, теплоємності та ентальпії продуктів згоряння біопалив.

3. Запропоновано методику порівняльної оцінки ефективності застосування в дизелі різних палив й визначено біопаливо, використання якого в дизелі 4 ЧН 12/14 найбільш ефективно.

4. Модифіковано рівняння для обчислення комплексного паливно-екологічного критерію та отримано залежності, що зв'язують цей критерій, показники паливної економічності й токсичності відпрацьованих газів дизеля 4 ЧН 12/14 із ступенем стиску, тиском наддування, кутом випередження й тривалістю впорскування.

### **Практичне значення одержаних результатів**

1. Одержано результати експериментального дослідження роботи дизеля 4 ЧН 12/14 на біопаливах, що дозволило встановити вплив особливостей фізико-хімічних властивостей цих палив на протікання процесів у циліндрі двигуна, виконати оцінку ефективності застосування в дизелі різних біопалив та отримати вихідні дані для проведення розрахункових досліджень.

2. Розроблено комплексну програму розрахунку робочого процесу дизеля на ЕОМ, що дозволило виконати розрахункове дослідження з пошуку раціональних параметрів вітчизняного дизеля 4 ЧН 12/14, який працює на біопаливах.

3. Визначені раціональні значення ступеня стиску, тиску наддування, кута випередження й тривалості впорскування для дизеля 4ЧН 12/14, який працює на біопаливах. Це дозволить забезпечує на номінальному режимі зниження питомих ефективних витрат палива, питомих викидів оксидів азоту й димності ВГ.

Результати наукового дослідження впроваджені і використовуються Казенним підприємством „Харківське конструкторське бюро з двигунобудування”, проблемною науково-дослідною лабораторією кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ „ХП”, а також у навчальному процесі при підготовці студентів спеціальності 090210 – двигуни внутрішнього згоряння в НТУ „ХП”.

### **Особистий внесок здобувача**

При виконанні дисертаційного дослідження здобувач брав участь в експериментальних роботах з виготовлення біопалив й визначення їх фізико-хімічних властивостей, експериментальних дослідженнях дизеля 4 ЧН12/14, розрахунково-експериментальних дослідженнях з розробки ком-

плексної математичної моделі та вибору раціональних параметрів робочого процесу дизеля. При цьому здобувачем особисто:

1. Визначено елементарний склад й нижчу теплоту згоряння біопалив.
2. Виконано аналіз результатів експериментальних досліджень роботи дизеля 4ЧН 12/14 на біопаливах. Встановлено вплив особливостей фізико-хімічних властивостей палив на протікання процесів сумішоутворення, згоряння, утворення оксидів азоту й сажі в циліндрі двигуна.
3. Запропоновано методику порівняльної оцінки застосування в дизелі різних палив рослинного походження й визначене біопаливо, використання якого в дизелі 4 ЧН 12/14 найбільш ефективно.
4. При розрахунку динаміки тепловиділення в циліндрі двигуна враховано процес випаровування палива за період затримки запалення й запропонована схема узгодження періодів згоряння.
5. У розрахунковій моделі процесу утворення сажі запропоновано методику врахування впливу на цей процес кисню, що входить до складу біопалив.
6. розраховані рівноважні склади, теплоємності та ентальпії продуктів згоряння біопалив.
7. У “термічній” моделі процесу утворення *NO* запропонована схема урахування дисоціації, надрівноважних концентрацій компонентів продуктів згоряння, похибок розрахунку теплоємностей та ентальпій й ряду інших факторів.
8. У “кінетичній” моделі процесу утворення *NO* уточнені диференціальні рівняння та запропоновані залежності, які враховують нижчу теплоту згоряння біопалив.
9. Модифіковано залежність для обчислення комплексного паливно-екологічного критерію стосовно до розрахунків на номінальному режимі й урахуванню двох найбільш шкідливих компонентів продуктів згоряння в циліндрі дизеля - оксидів азоту й твердих часток.
- 10.3 використанням паливно-екологічного критерію виконано розрахункове дослідження з вибору раціональних значень конструктивних і регулювальних параметрів дизеля 4 ЧН 12/14.

#### **Апробація результатів дисертації**

Основні положення та результати роботи доповідались на Конгресах двигунобудівників України (м. Рибаче, Крим, 2002 - 2004 рр.), на Всеросійському конгресі двигунобудівників (м. Санкт-Петербург, Росія, 2003 р.), на міжнародних щорічних науково-технічних конференціях „Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я” НТУ „ХПІ” (м. Харків, 2002 - 2005 рр.), на міжнародній науково-технічній конференції „Автомобільний транспорт у ХХІ сторіччі” Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків, 2003 р.), на науково-технічній конференції Харківської державної академії залізничного транспорту (м. Харків, 2003 р.).

#### **Публікації**

Результати дисертаційної роботи опубліковано в 7 роботах, 5 з яких - у фахових виданнях ВАК України, 1 - у збірнику наукових праць; отримано 1 патент України.

### **Обсяг і структура дисертації**

Дисертаційна робота складається з вступу, 4 розділів, висновків, 3 додатків. Повний обсяг дисертації складає 190 сторінок; з них 14 ілюстрацій по тексту, 46 ілюстрацій на 32 сторінках; 5 таблиць по тексту; 10 таблиць на 7 сторінках; 120 найменувань використаних літературних джерел на 11 сторінках; 3 додатка на 32 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ**

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, розглянуто стан розробки проблеми, сформульовано мету та основні задачі дослідження, надано інформацію про наукову новизну та практичну цінність роботи, визначено особистий внесок здобувача в одержані результати.

Перший розділ присвячено аналізу проблеми використання в дизелі альтернативних палив, зокрема вироблених на основі рослинних олій.

Проаналізовано вплив фізико-хімічних властивостей альтернативних палив на показники дизеля. Показано, що вимогам забезпечення високих техніко-економічних показників дизеля добре відповідають біопалива, які вироблені на основі рослинних олій.

Розглянуто й проаналізовано світовий досвід використання біопалив. Наведено умови, за яких виробництво і споживання біопалив стають економічно вигідними. Виконана оцінка перспектив використання біопалив в Україні показала можливість заміни на ці палива найближчим часом 4 – 10 % споживання дизельного палива, а в перспективі – до 50 %.

Показано, що відмінності властивостей біопалив призводять до змін у протіканні процесів сумішоутворення та згоряння в циліндрі двигуна, які значною мірою визначають паливну економічність ДВЗ і токсичність його відпрацьованих газів. Це обумовлює необхідність проведення досліджень впливу властивостей біопалив на процеси сумішоутворення, згоряння, утворення оксиду азоту й сажі в циліндрі, розробки математичних моделей цих процесів, пошуку раціональних регулювальних та конструктивних параметрів дизеля.

У другому розділі наведено методику й результати експериментальних досліджень застосування в дизелі СМД-23 біопалив.

У науковому дослідженні використовувалось стандартне дизельне паливо, суміші ДП із об'ємним вмістом ріпакової олії (РО) 25, 50 і 75 %, а також етиловий ефір ріпакової олії (ЕЕРО). У розділі наведені дані щодо розробленої технології одержання ЕЕРО, експериментальної установки, за допомогою якої отримано дослідну партію цього біопалива. Описано лабораторне обладнання та методики дослідження фізико-хімічних властивостей біопалив.

Результати дослідження (табл. 1) показують, що властивості біопалив значно відрізняються від властивостей ДП. Це призводить до змін у протіканні робочого процесу і, як наслідок, до зміни показників дизеля.

Таблиця 1

## Фізико-хімічні властивості досліджених палив

|                                 | ДП    | РО    | ЕЕРО  | ДП/РО<br>75/25 | ДП/РО<br>50/50 | ДП/РО<br>25/75 |
|---------------------------------|-------|-------|-------|----------------|----------------|----------------|
| С, %                            | 87    | 77,91 | 77,54 | 84,46          | 82,05          | 79,76          |
| Н, %                            | 12,56 | 11,86 | 12,04 | 12,28          | 12,01          | 11,76          |
| О, %                            | 0,4   | 10,23 | 10,42 | 3,23           | 5,92           | 8,47           |
| С, %                            | 0,04  | 0     | 0     | 0,03           | 0,02           | 0,01           |
| Q <sub>H</sub> , МДж/кг         | 42,21 | 36,76 | 36,87 | 40,7           | 39,3           | 38,0           |
| ρ, г/м <sup>3</sup> (20°C)      | 825   | 915   | 895   | 849,3          | 872,3          | 894,2          |
| ν, мм <sup>2</sup> /с (20°C)    | 3,8   | 87    | 32,48 | 26,3           | 47,6           | 67,8           |
| σ·10 <sup>-2</sup> , Н/м (20°C) | 28,9  | 33,3  | 36    | 30,1           | 31,2           | 32,3           |

Описано об'єкт досліджень – дизель 4ЧН12/14 (СМД-23) та дослідницький стенд лабораторії ВАТ „ГСКБД” (м. Харків). Під час випробувань здійснювалося індиціювання дизеля, вимір тиску палива перед форсункою та переміщення голки форсунки вимірювальним комплексом AVL-653. Визначення концентрації оксидів азоту в ВГ здійснювалося хемілюмінесцентним газоаналізатором 344ХЛ01. Вміст оксиду вуглецю в ВГ вимірявся інфрачервоним газоаналізатором 121ФА-01. Димність ВГ визначалася димоміром “Хартридж” HR158. У процесі випробувань відбиралися проби ВГ для їх хроматографічного аналізу. Випробування виконані при постійному установочному куті випередження впорскування та незмінному регулюванні паливного насоса. Двигун працював на режимах навантажувальних характеристик із частотами обертання колінчастого вала, що відповідають номінальній потужності ( $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ ) та максимальному крутному моменту ( $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$ ). Основні результати експериментальних досліджень дизеля 4 ЧН 12/14 наведені на рис.1.

На рис. 2 наведено характеристики тепловиділення в циліндрі дизеля, які отримані шляхом обробки експериментальних індикаторних діаграм. У другому розділі дисертації докладно розглянуто та проаналізовано особливості і характерні тенденції протікання процесів сумішоутворення та згоряння для біопалив в циліндрі ДВЗ.

Показано, що при використанні біопалив рослинного походження відбувається збільшення питомих ефективних витрат палива (див. рис. 1). Зміна показників токсичності на різних режимах має неоднозначний характер. На режимах високих навантажень, як правило, збільшуються викиди  $NO_x$  та зменшується вміст  $CO$  і сажі у ВГ дизеля. На режимах з низькими наванта-

женнями вихід продуктів неповного згоряння майже не змінюється, а викиди оксидів азоту знижуються.

Хроматографічне дослідження проб ВГ, які були відібрані при випробуваннях, показало, що утворення незгорілих вуглеводнів при згорянні біопалив підпорядковується тим самим тенденціям, що й утворення інших продуктів неповного згоряння ( $CO$ , сажі).

Для комплексної кількісної оцінки ефективності застосування у дизелі біопалив було виконано аналіз показників дизеля за випробувальними тестами. Як критерії ефективності прийняті середні експлуатаційні питомі ефективні витрати палива й ККД (відповідно  $g_{e\text{сер.е}}$  та  $\eta_{e\text{сер.е}}$ ), а також питомі викиди оксидів азоту  $g_{NO}$  з ВГ двигуна (рис.3). Ці показники були отримані шляхом обробки експериментальних даних за методиками різних випробувальних тестів. Для оцінки параметрів автомобільного дизеля прийнятий 13-режимний тест ЕСЕ правил № 49 ЄЕК ООН. Показники комбайнового, тракторного (окремо гусеничного та колісного) дизелів оцінювалися за 8-режимними тестами, які запропоновані проф. І.В.Парсадановим.

Встановлено, що найбільш ефективно використання суміші ДП із вмістом РО 25 %. При цьому досягаються найбільші значення ефективного ККД при незначному збільшенні викидів оксидів азоту та питомих ефективних витрат палива. В цілому, аналіз гістограм показав високу ефективність використання всіх розглянутих палив. Відносна зміна  $\eta_{e\text{сер.е}}$  при використанні сумішей РО та ДП не перевищує 2 %, ЕЕРО – 3 %, зміна викидів  $NO_x$  перебуває в межах 10 %.

У третьому розділі наведено результати уточнення математичних моделей процесів згоряння та утворення оксиду азоту й сажі в циліндрі дизеля.

За вихідну модель процесу згоряння прийнята математична модель, яка була запропонована к.т.н. О.І.Філіпковським, вдосконалена к.т.н. О.Ю.Ліньковим, та базується на відомій моделі згоряння проф. І.І.Вібе. В цій моделі розрахункова форма диференціальної кривої тепловиділення має два піки, що відповідають періодам спалаху та дифузійного згоряння. Враховано процеси випаровування, дифузії й хімічної кінетики реакцій. Зміна фізико-хімічних властивостей біопалив корегується коефіцієнтами при обчисленні середнього об'ємно-поверхневого діаметра краплі  $d_{32}$  і виправної функції на теоретичну константу випаровування.

Запропоновано при розрахунку періоду спалаху враховувати відносну кількість палива  $\sigma_{ei}$ , що випарувалося за період затримки запалення  $\tau_i$ :

$$\sigma_{bi} = 0,69 \cdot \sigma_i (b_i \tau_i),$$

де  $b_i$  – відносна константа випаровування;

$\sigma_i$  – відносна кількість палива, що подано за період затримки запалювання.

Також запропонована схема узгодження першого й другого періодів тепловиділення, що враховує долю палива, яке вигоріло в період спалаху. Згідно цієї схеми спочатку розраховуються відносна кількість палива  $x_i$ , яке вигоріло в

ході періоду спалаху. Швидкість тепловиділення в процесі дифузійного згоряння корегується коефіцієнтом

$$S = 1 - x_I.$$

Дані уточнення дозволили підвищити адекватність вихідної моделі процесу тепловиділення (рис. 4).

При моделюванні процесів утворення й вигорання сажі в циліндрі дизеля за основу прийнято фізико-хімічну модель, яку запропоновано проф. М.Ф.Разлейцевим.

Згідно даній моделі, утворення сажі відбувається в процесах ланцюгового перетворення молекул палива в полум'ї, а також у ході полімеризації й дегідрогенізації ядер крапель палива, що випаровуються. Зменшення концентрації сажі в камері згоряння відбувається внаслідок її вигорання й зміни об'єму циліндра. Показано, що розрахунки процесу утворення сажі за вихідною моделлю у випадку використання рослинних палив призводять до суттєвої похибки (рис. 5).

Запропоновано динаміку утворення й вигорання сажі корегувати емпіричним коефіцієнтом  $b$ , що враховує взаємодію молекулярного кисню із частками сажі:

$$b = 1 - (r_O)^{0,4},$$

де  $r_O$  – доля кисню в молекулі палива.

Дане уточнення дозволило отримати задовільний збіг розрахункових та експериментальних результатів (див. рис. 5).

При моделюванні процесу утворення оксиду азоту вперше проаналізовані та зіставлені два підходи: модель проф. В.О.Звонова, згідно з якою більша частка оксидів азоту в дизелі утворюється за „термічним” механізмом, та модель проф. М.Ф.Разлейцева, за якою  $NO$  в дизелі утворюється переважно за „кінетичною” схемою.

Для цього детально були проаналізовані результати досліджень утворення  $NO$  як за „термічним”, так і „кінетичним” механізмами. Аналіз результатів розрахунків за „термічним” механізмом, який наведено у третьому розділі, показав, що відмінності властивостей біопалив практично не впливають на рівноважний склад, теплоємність, ентальпію продуктів згоряння, а отже й на вихід  $NO$ . При використанні вихідної „термічної” моделі одержані завищені розрахункові концентрації  $NO$ . В роботі автором запропоновано враховувати ефект розведення концентрації  $NO$  порціями продуктів згоряння, що утворилися за розрахунковий крок. Також запропонована методика уточнення температури продуктів згоряння в зоні утворення  $NO$ . Ці уточнення дозволили достатньо добре ідентифікувати „термічну” модель (рис. 6).

У „кінетичній” моделі проф. М.Ф.Разлейцева вихід  $NO$  залежить від динаміки тепловиділення, циклової подачі палива, коефіцієнту надлишку повітря та інших факторів. Раніше при розрахунках використовувалися переважно інтегральні вирази для визначення концентрації  $NO$  на виході з циліндру. За-

кінчення періоду спалаху приймалося в момент 10 град. п.к.в. після початку згоряння. В дисертаційному дослідженні запропоновано розрахунки динаміки утворення оксиду азоту виконувати за диференціальними рівняннями. Це дозволило більш точно врахувати момент закінчення першого періоду процесу згоряння. здобувачем також запропоновані уточнення, які пов'язані з різними значеннями нижчої теплоти згоряння традиційних і альтернативних палив. Усі ці уточнення дозволили отримати добрий збіг розрахункових та експериментальних даних (рис. 7).

Виконано аналіз розглянутих моделей процесу утворення  $NO$  по їхній реакції на зміну параметрів, що впливають. Найбільш показові результати отримані при аналізі впливу зміни кута випередження впорскування  $\theta_{on}$  на розрахунковий вихід  $NO$ .  $\theta_{on}$  – практично єдиний параметр, зміна якого найбільшою мірою й практично однозначно впливає на вихід  $NO$ . Аналіз літературних даних, який наведено у третьому розділі, показав, що при зменшенні кута випередження впорскування на 10 град.п.к.в. викиди оксидів азоту зменшуються на 30...60 %.

Результати розрахунків за двома моделями (рис. 8) показали, що тенденції зміни виходу  $NO$  погоджуються з експериментальними даними. Однак зміна абсолютної величини істотно розрізняється. Більш достовірні результати отримані при розрахунку за „кінетичною” моделлю: зменшення  $\theta_{on}$  на 10 град.п. к. в. призводить до зниження  $g_{NO}$  на 30...50 %. Розрахунок за „термічною” моделлю дає значно меншу зміну виходу  $NO$  - близько 6 % на кожні 10 град.п.к.в. Тому для подальших досліджень прийнято саме модель проф. М.Ф.Разлейцева.

У четвертому розділі виконано вибір та обґрунтування раціональних параметрів дизеля, що працює на традиційному та альтернативному паливах.

Дослідження проведено для режиму номінальної потужності. Варіювалися - ступінь стиску  $\varepsilon$ , кут випередження впорскування  $\theta_{on}$ , тиск наддування  $p_s$  та тривалість впорскування палива  $\varphi_{впр}$ .

Проаналізовано вплив зміни параметрів на розрахункові показники дизеля. Показано, що варіювання параметрів у багатьох випадках призводить до протилежного характеру зміни показників економічності ДВЗ й токсичності його ВГ. У зв'язку з цим необхідно було вибрати критерій, який дозволив би знайти компромісне рішення.

В роботі використано паливно-екологічний критерій  $K_{ПЕ}$ , який запропоновано проф. І.В.Парсадановим. Вираз для розрахунку цього критерію модифіковано стосовно до режиму номінальної потужності й урахуванню двох найбільш шкідливих компонентів ВГ - оксидів азоту і твердих часток.

Проаналізовано вплив зміни обраних параметрів на значення паливно-екологічного критерію. Показано, що для збільшення паливно-екологічної ефективності необхідно збільшувати  $\varepsilon$ ,  $p_s$  і зменшувати  $\varphi_{впр}$ . Залежність комплексного критерію від  $\theta_{on}$  неоднозначна.

Пошук раціональних значень параметрів здійснювався методом перебору всіх можливих сполучень із заданим кроком зміни факторів. Величина тиску згоряння  $p_z$  обмежувалася на рівні 13,5 МПа. Вибір раціональних значень факторів виконувався в *три етапи* залежно від кількості параметрів, що змінювалися, і передбачуваних витрат (табл. 2 - 4). На першому етапі варіювалися два параметри -  $\varepsilon$  і  $\theta_{on}$ . На другому етапі змінювалися три параметри -  $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$  і  $p_s$ , або  $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$  і  $\varphi_{впр}$ . На третьому етапі досліджувалася зміна чотирьох параметрів.

Таблиця 2

Раціональні значення параметрів при використанні ДП (вихідні параметри:  $p_s = 0,20$  МПа;  $\theta_{on} = 20$  град.п.к.в. до ВМТ;  $\varphi_{впр} = 24$  град.п.к.в;  $\varepsilon = 15,5$ ; вихідні показники:  $g_e = 217$  г/(кВт·год);  $g_{NO} = 15$  г/(кВт·год);  $K = 27$  %)

| Етапи                                                                                                                      | Кри-терій<br>$K_{ПЕ}$ | Раціональні значення параметрів |                               |                                 |                   | Показники дизеля       |                           |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
|                                                                                                                            |                       | $p_s$ ,<br>МПа                  | $\theta_{on}$ ,<br>град.п.к.в | $\varphi_{впр}$ ,<br>град.п.к.в | $\varepsilon$     | $g_e$ ,<br>г/(кВт·год) | $g_{NO}$ ,<br>г/(кВт·год) | $K$ ,<br>%      |
| <b>I етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on} - \text{var}$                                                                  | 0,213                 | -                               | 15                            | -                               | 17                | 218                    | 12,5                      | 38              |
| <b>II етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s - \text{var};$<br>$\varepsilon, \theta_{on}, \varphi_{впр} - \text{var}$ | 0,233<br>0,224        | 0,245<br>-                      | 14<br><b>11</b>               | -<br><b>14</b>                  | 16<br><b>15,5</b> | 221<br><b>207</b>      | 11,9<br><b>14,6</b>       | 19<br><b>24</b> |
| <b>III етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s, \varphi_{впр} - \text{var}$                                            | 0,237                 | <b>0,240</b>                    | <b>9</b>                      | <b>14</b>                       | <b>15,5</b>       | <b>207</b>             | <b>13,4</b>               | <b>13</b>       |

Таблиця 3

Раціональні значення параметрів при використанні суміші ДП і РО (75:25) (вихідні параметри:  $p_s = 0,20$  МПа;  $\theta_{on} = 20$  град.п.к.в. до ВМТ;  $\varphi_{впр} = 24$  град.п.к.в;  $\varepsilon = 15,5$ ; вихідні показники:  $g_e = 224$  г/(кВт·год);  $g_{NO} = 15,5$  г/(кВт·год);  $K = 19$  %)

| Етапи                                                                                                                      | Кри-терій<br>$K_{ПЕ}$ | Раціональні значення параметрів |                               |                                 |                   | Показники дизеля       |                           |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
|                                                                                                                            |                       | $p_s$ ,<br>МПа                  | $\theta_{on}$ ,<br>град.п.к.в | $\varphi_{впр}$ ,<br>град.п.к.в | $\varepsilon$     | $g_e$ ,<br>г/(кВт·год) | $g_{NO}$ ,<br>г/(кВт·год) | $K$ ,<br>%      |
| <b>I етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on} - \text{var}$                                                                  | 0,229                 | -                               | 15                            | -                               | 16,5              | 225                    | 12,7                      | 27              |
| <b>II етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s - \text{var};$<br>$\varepsilon, \theta_{on}, \varphi_{впр} - \text{var}$ | 0,22<br>0,242         | 0,225<br>-                      | 12<br><b>8</b>                | -<br><b>14</b>                  | 17<br><b>16,5</b> | 228<br><b>208</b>      | 11,4<br><b>13,0</b>       | 24<br><b>19</b> |
| <b>III етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s, \varphi_{впр} - \text{var}$                                            | 0,249                 | <b>0,22</b>                     | <b>7</b>                      | <b>14</b>                       | <b>16,5</b>       | <b>211</b>             | <b>12,7</b>               | <b>14</b>       |

Таблиця 4

Рациональні значення параметрів при використанні ЕЕРО (вихідні параметри -  $p_s = 0,20$  МПа;  $\theta_{on} = 20$  град.п.к.в. до ВМТ;  $\varphi_{впр} = 25$  град.п.к.в;  $\varepsilon = 15,5$ ; вихідні показники:  $g_e = 259$  г/(кВт·год);  $g_{NO} = 14,5$  г/(кВт·год);  $K=17\%$ )

| Етапи                                                                                                                      | Кри-<br>терій<br>$K_{ПЕ}$ | Рациональні значення<br>параметрів |                               |                                 |                   | Показники дизеля       |                           |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|
|                                                                                                                            |                           | $p_s$ ,<br>МПа                     | $\theta_{on}$ ,<br>град.п.к.в | $\varphi_{впр}$ ,<br>град.п.к.в | $\varepsilon$     | $g_e$ ,<br>г/(кВт·год) | $g_{NO}$ ,<br>г/(кВт·год) | $K$ ,<br>%      |
| <b>I етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on} - \text{var}$                                                                  | 0,231                     | -                                  | 15                            | -                               | 16,5              | 261                    | 13,2                      | 21              |
| <b>II етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s - \text{var};$<br>$\varepsilon, \theta_{on}, \varphi_{впр} - \text{var}$ | 0,239<br>0,240            | 0,215<br>-                         | 13<br><b>10</b>               | -<br><b>14</b>                  | 17<br><b>15,5</b> | 265<br><b>244</b>      | 12,3<br><b>14,5</b>       | 18<br><b>13</b> |
| <b>III етап:</b><br>$\varepsilon, \theta_{on}, p_s, \varphi_{впр} - \text{var}$                                            | 0,244                     | <b>0,215</b>                       | <b>8</b>                      | <b>14</b>                       | <b>16,5</b>       | <b>247</b>             | <b>13,8</b>               | <b>12</b>       |

Показано, що одночасного зниження витрат палива й зменшення викидів шкідливих речовин можна досягти тільки у випадку одночасної зміни трьох ( $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$  і  $\varphi_{впр}$ ), або чотирьох ( $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$ ,  $\varphi_{впр}$ ,  $p_s$ ) параметрів. При цьому рациональні значення факторів знаходяться в діапазонах:  $\varepsilon = 15,5...16,5$ ,  $\theta_{on} = 7...11$  град.п.к.в. до ВМТ,  $p_s = 0,215...0,24$  МПа. Варіювання параметрів в указаних діапазонах дозволить знизити  $g_{NO}$  - на 0..2,8 г/(кВт·год), димність - на 0...15 %, а за умов досягнення  $\varphi_{впр} = 14$  град.п.к.в. – знизити і  $g_e$  на 10...15 г/(кВт·год).

В результаті досліджень доведено, що для рослинних палив рациональні значення ступеня стиску більше, ніж для ДП на 1...2 одиниці, а значення кута випередження впорскування на 1-2 град.п.к.в. до ВМТ менше. Це пов'язане із необхідністю зниження викидів оксидів азоту, які при використанні біопалив, як правило, збільшуються.

Рациональні значення тиску наддування для рослинних палив на 0,02...0,03 МПа нижче, ніж для ДП. При використанні біопалив значно зменшується вихід сажі з ВГ, тому й необхідність збільшення тиску наддування, як заходу, що призводить до зменшення сажоутворення, для рослинних палив менше.

Одержані рациональні значення тривалості впорскування є мінімальними з діапазону, що варіювався. Проведені розрахунки показали, що для забезпечення  $\varphi_{впр} = 14$  град.п.к.в. потрібно збільшити тиск перед отворами розпилювача форсунки  $p_{фmax}$  до величини близько 160 МПа, що становить досить складну задачу у випадку використання серійної паливної апаратури.

Тому виконано пошук рациональних сполучень параметрів для інших значень тривалості впорскування (рис. 9). Отримані рациональні значення  $\varepsilon$  і  $p_s$  практично не змінюються із зменшенням тривалості впорскування, а  $\theta_{on}$  необхідно зменшувати. У всьому діапазоні зміни  $\varphi_{впр}$  поліпшуються токсичні показники у порівнянні з базовими. Поліпшення паливної економічності дизеля відбувається при  $\varphi_{впр}$  менше 20 град.п.к.в. ( $p_{фmax}$  близько 80 МПа).

Важливим результатом дисертаційного дослідження є висновок на користь використання біопалив рослинного походження для досліджуваного ДВЗ. З табл. 2-4 видно, що при вживанні суміші ДП із вмістом РО 25 % та ЕЕРО можливо досягти більших, ніж для ДП значень паливно-екологічного критерію (відповідно 0,249, 0,244 і 0,237). Отже показано, що паливно-екологічна ефективність використання біопалив вище, ніж ефективність застосування ДП.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні поставлена та вирішена важлива науково-практична задача поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4 ЧН 12/14, що працює на дизельному паливі та біопаливах. Виконання даної задачі забезпечено проведеним експериментальним дослідженням, уточненням математичних моделей процесів згоряння, утворення оксиду азоту та сажі, розрахунковим дослідженням з використанням комплексного паливно-екологічного критерію.

У дисертаційному дослідженні одержані нові наукові і практичні результати:

1. Досліджені фізико-хімічні властивості етилового ефіру ріпакової олії та сумішей ріпакової олії з дизельним паливом.

2. Проведено стендові випробування дизеля 4ЧН12/14 на традиційному паливі та біопаливах. Встановлено характерні ознаки протікання процесів сумішоутворення, згоряння й утворення шкідливих речовин при використанні біопалив.

3. Проведено оцінку ефективності застосування біопалив у дизелі 4ЧН12/14. Виявлено, що найбільш ефективно використання суміші ДП і РО із об'ємним вмістом РО 25 %.

4. Вперше розраховані рівноважні склади, теплоємності та ентальпії продуктів згоряння біопалив.

5. Розроблено комплексну математичну модель робочого процесу дизеля, яка дозволяє розрахувати процеси згоряння, утворення оксиду азоту й сажі та враховує вплив на ці процеси властивостей біопалив. У вихідних моделях здобувачем уточнено:

- при розрахунку динаміки тепловиділення в циліндрі двигуна врахований процес випарування палива за період затримки запалення й запропонована схема узгодження періодів згоряння;
- в розрахунковій моделі процесу утворення сажі запропоновано враховувати вплив на цей процес кисню, що входить до складу біопалив;
- в “термічній” моделі процесу утворення NO запропонована схема урахування дисоціації, надрівноважних концентрацій компонентів продуктів згоряння, похибок розрахунку теплоємностей та ентальпій;

– в “кінетичній” моделі процесу утворення  $NO$  уточнені диференціальні рівняння та запропоновані залежності, які враховують нижчу теплоту згоряння біопалив.

6. Модифіковано вираз для розрахунку паливно-екологічного критерію на режимі номінальної потужності дизеля. На основі цього критерію запропоновано поетапний пошук раціональних параметрів залежно від кількості факторів і передбачуваних витрат. Показано, що одночасного зменшення складових експлуатаційних витрат можна досягти шляхом варіювання трьох ( $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$ ,  $\varphi_{впр}$ ), або чотирьох ( $\varepsilon$ ,  $\theta_{on}$ ,  $\varphi_{впр}$ ,  $p_s$ ) параметрів.

Знайдені раціональні значення факторів складають:  $\varepsilon = 15,5 \dots 16,5$ ;  $\theta_{on} = 7 \dots 11$  град.п.к.в. до ВМТ;  $\varphi_{впр} = 14$  град.п.к.в.;  $p_s = 0,215 \dots 0,24$  МПа. Варіювання параметрів у зазначених діапазонах дозволить знизити  $g_e$  на  $10 \dots 15$  г/(кВт·год),  $g_{NO}$  на  $0,2,8$  г/(кВт·год) та димність на  $0 \dots 15$  %.

7. Показано, що при використанні біопалив раціональні значення ступеня стиску вище, ніж для дизельного палива (приблизно на одиницю), а значення кута випередження упорскування й тиску наддування нижче (відповідно на  $1,2$  град. п.к.в. і  $0,02 \dots 0,04$  МПа).

8. Знайдено раціональні параметри при різних значеннях тривалості впорскування палива. Запропоновані значення параметрів забезпечують зниження токсичності ВГ дизеля, а при  $\varphi_{впр}$  менше  $20$  град. п.к.в. – й поліпшення його паливної економічності.

9. Встановлено, що при вживанні суміші ДП із вмістом РО  $25$  % та ЕЕРО можливо досягти більших, ніж для ДП значень паливно-екологічного критерію (відповідно  $0,249$ ,  $0,244$  і  $0,237$ ). Таким чином показано, що паливно-екологічна ефективність використання біопалив вище, ніж ефективність застосування ДП.

10. Результати наукового дослідження впроваджені і використовуються Казенним підприємством „Харківське конструкторське бюро з двигунобудування” (м. Харків), проблемною науково-дослідною лабораторією кафедри двигунів внутрішнього згоряння НТУ „ХПІ”, а також у навчальному процесі при підготовці студентів спеціальності 090210 – двигуни внутрішнього згоряння в НТУ „ХПІ”.

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Марченко А.П., Строков А.П., Минак А.Ф., Осетров А.А., Линьков О.Ю. Токсичность отработавших газов дизеля при использовании топлив растительного происхождения // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2002. - № 1.- С. 22 – 24. Здобувачем виготовлено етиловий ефір ріпакової олії, визначено показники токсичності відпрацьованих газів дизеля при використанні біопалив, виконано їх аналіз.

2. Марченко А.П., Минак А.Ф., Слабун И.А., Осетров А.А., Линьков О.Ю., Марков К.В., Аскрепов Д.Н. Результаты исследования рабочего про-

цесса и токсичности дизеля, работающего на альтернативных топливах растительного происхождения // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2003. - № 2.- С. 33 – 40. Здобувачем експериментально досліджено фізико-хімічні властивості біопалив (нижча теплота згоряння та елементарний склад) та визначено вплив властивостей біопалив на показники токсичності відпрацьованих газів дизеля.

3. Марченко А.П., Осетров А.А. Возможности потенциальной замены дизельного топлива топливами растительного происхождения в Украине // Вестник науки и техники. – Харьков: НТУ “ХПИ”, ООО “ХДНТ”, 2004. - №1. – С. 34 – 42. Здобувачем виконані розрахунки щодо можливості потенціальної заміни дизельного палива паливами рослинного походження в Україні.

4. Марченко А., Прохоренко А., Осетров А., Смайлис В., Сенчила В. Сравнительная оценка эффективности применения растительных топлив в дизельном двигателе // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2004. - № 1.- С. 46 – 51. Здобувачем проведено розрахунки показників дизеля, що працює на рослинних паливах, за методиками різних випробувальних тестів. Виконано аналіз результатів цих розрахунків.

5. Марченко А.П., Осетров А.А. Обоснование расчетной методики образования NO для выбора рациональных параметров рабочего процесса автотракторного дизеля // Вісник Національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2005. - № 10.- С. 72 - 77. Здобувачем виконано розрахунки процесу утворення NO в дизелі за „термічною” та „кінетичною” моделями. Проведено їх порівняльний аналіз.

6. Smailys V., Senčila V., Marchenko A., Prochorenko A., Osetrov A., Bereišienė K. Assessment of chemmotological properties and problems of practical implementation of vegetable oils derived fuels // Jura Ir Aplinka. -2004. – 2 (11). P. 65 – 75. Здобувачем виконано аналіз впливу фізико-хімічних властивостей біопалив на показники дизеля.

7. Пат. 69710 А України, С10L1/18. Спосіб одержання альтернативного дизельного палива/ Гладкій Ф.Ф., Мельник О.М., Марченко А.П., Чумак О.П., Мінак А.Ф., Марков К.В., Попов О.О., Ліньков О.Ю., Осетров О.О. - № 20031110522; Заявл. 21.11.2003; Опубл. 15. 09.2004. - Бюл. № 9. – 4 с. Здобувачем виготовлено етиловий ефір ріпакової олії.

## АНОТАЦІЇ

Осетров О.О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4ЧН 12/14, що працює на біопаливах. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.03 - теплові двигуни. - Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2005.

Дисертаційна робота присвячена дослідженню особливостей використання в дизелі біопалив, моделюванню процесів згоряння та утворення оксиду азоту та сажі при використанні біопалив, пошуку раціональних параметрів робочого процесу. Експериментальні дослідження дозволили виявити характерні ознаки процесів сумішоутворення, згоряння та утворення шкідливих речовин при використанні біопалив. Проведена порівняльна оцінка ефективності застосування біопалив у дизелі. Розроблено математичні моделі процесів згоряння й утворення шкідливих речовин у циліндрі дизеля з урахуванням властивостей альтернативних палив. Розрахункове дослідження з використанням паливно-екологічного критерію дозволило виявити раціональні значення параметрів дизеля при його роботі на дизельному паливі та біопаливах.

Ключові слова: дизель, біопалива, згоряння, паливна економічність, токсичність, математична модель.

Осетров А.А. Улучшение технико-экономических показателей дизеля 4 ЧН 12/14, работающего на биотопливах. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.03 – тепловые двигатели. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2005.

Диссертационная работа посвящена исследованию особенностей применения биотоплив в дизеле и рациональной организации его рабочего процесса.

Получены биотоплива и исследованы их физико-химические свойства. В ходе исследования разработан технологический процесс и получена опытная партия этиловых эфиров рапсового масла.

Проведены моторные испытания дизеля 4 ЧН 12/14 на дизельном топливе и биотопливах. Установлены характерные особенности протекания процессов сгорания и образования оксида азота и сажи при использовании растительных топлив. Выполнена оценка эффективности применения биотоплив.

Уточнены расчетные методики процессов тепловыделения, образования оксида азота и сажи применительно к учету особенностей биотоплив. Разработанная комплексная математическая модель позволяет проводить оптимизационные и другие исследования

Выполнено исследование по поиску рациональных параметров дизеля, работающего на биотопливах. В данном исследовании использовался уточненный комплексный топливно-экологический критерий, позволяющий учесть противоречивое влияние изменения параметров на топливно-экономические и токсические показатели. Варьировались степень сжатия  $\varepsilon$ , угол опережения впрыскивания  $\theta_{оп}$ , давление наддува  $p_s$  и продолжительность впрыскивания топлива  $\varphi_{впр}$ . Предложен поэтапный поиск рациональных значений параметров в зависимости от числа учитываемых факторов и предполагаемых затрат. Найденные рациональные значения составили:  $\varepsilon = 15,5 \dots 16,5$ ;  $\theta_{оп} = 7 \dots 11$  град.п.к.в. до ВМТ;  $\varphi_{впр} = 14$  град.п.к.в.;  $p_s = 0,215 \dots 0,24$  МПа. Варьирование параметров в указанных диапазонах позволит уменьшить удель-

ный эффективный расход топлива на 10...15 г/(кВт·ч), удельный выброс оксидов азота на 0..2,8 г/(кВт·ч) и дымность на 0...15 %.

Ключевые слова: дизель, биотоплива, сгорание, топливная экономичность, токсичность, математическая модель.

Osetrov A.A. Improvement of the efficiency of the diesel 4 CHN 12/14 running on biofuel.

Thesis of a candidate of technical science degree by speciality 05.05.03 – heat engines. - National Technical University “Kharkov polytechnic institute”, Kharkov, 2005.

The dissertation is devoted to research of biofuel employment in a diesel, improving diesel working process's organisation, manufacturing of biofuel and investigation biofuel properties. Biofuel technology process was offered and biofuel from rape oil was manufactured.

The conducted experimental research has allowed to establish characteristics of processes of mixing, combustion, harmful substances formation when diesel is running on biofuel. The comparative estimation of biofuel efficiency in diesel was conducted. Mathematical models of combustion and harmful substances formation processes in diesel running on biofuel are precised. The models has allowed to establish rational parameters of diesel running on traditional and alternative fuel.

Key words: diesel, alternative fuels, rape oil, combustion, efficiency, mathematical model.

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

Підписано до друку 20.10.2005 р.  
Формат 60×84 1/16. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Друк RISO. Обл. – вид. арк. 0,9.  
Замовлення № 873/05 Тираж 100 прим.

---

Видавництво ХНАДУ, 61200, м. Харків – МСП, вул. Петровського, 25

---

*Свідоцтво державного комітету інформаційної політики, телебачення та радіомовлення  
України про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,  
виготовників і розповсюджувачів видавничої продукції,  
серія ДК № 897 від 17.04.2002 р.*