

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ІМЕНІ ПЕТРА ВАСИЛЕНКА

**Карнаух Микола Віталійович**



УДК 629.113

РОЗШИРЕННЯ ПАЛИВНОЇ БАЗИ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ  
ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ЕТИЛОВИХ ЕФІРІВ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2018

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор  
**Войтов Віктор Анатолійович,**  
Харківський національний технічний університет  
сільського господарства імені Петра Василенка,  
завідувач кафедри транспортних технологій і  
логістики

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Полянський Олександр Сергійович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет,  
професор кафедри технології машинобудування та  
ремонтів машин

кандидат технічних наук, старший науковий  
співробітник

**Рогозін Ігор Віталійович,**  
Харківський національний університет повітряних сил  
імені Івана Кожедуба, старший викладач кафедри  
теорії та конструкції автомобільної та спеціальної  
техніки

Захист дисертації відбудеться “05” грудня 2018 року о 10<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 64.832.03 при Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61050, пр. Московський, 45, ауд. 204, м. Харків,

Із дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: 61002, вул. Алчевських, 44, м. Харків.

Автореферат розісланий “30” жовтня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент



Ю.О.Градиський

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Зменшення світових ресурсів нафти та вимоги Кіотського протоколу щодо зниження парникового ефекту призводять до все ширшого застосування альтернативних видів палив рослинного походження – зокрема, метилових ефірів рослинних олій, що отримали назву біодизель.

Використання сумішей біодизеля та нафтового дизельного палива дозволяє поліпшити екологічні показники двигуна внутрішнього згоряння та зменшити масові викиди шкідливих речовин з відпрацьованими газами.

Відмінність біодизеля полягає в підвищеній в'язкості, наявності масової частки води, механічних домішок у вигляді нежирових домішок, воску та воскоподібних речовин, фосфоліпідів та гліцерину. Перераховані недоліки ускладнюють процес експлуатації дизелів транспортних засобів на біодизелі, а саме: негативно впливають на гумотехнічні вироби та ущільнення; підвищують здатність до коксування на отворах розпилювачів форсунок; знижують термін заміни фільтрів тонкої очистки; зменшують термін заміни моторних оливо.

Новим етапом розвитку біодизеля є впровадження в експлуатацію етилових ефірів рослинних олій замість метилових ефірів. Етилові ефіри не мають у своєму складі такого агресивного розчинника як залишковий метанол, а отже їм не притаманні наведені вище недоліки.

Тому актуальною є задача розширення паливної бази та проведення всебічних випробувань для забезпечення ефективної та надійної роботи дизелів транспортних засобів у вітчизняних аграрних підприємствах на етилових ефірах ріпакової, соняшnikової та соєвої олій та їхніх сумішах з дизельним паливом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконувалася відповідно до Закону України “Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні” від 08.09.2011р. № 3715-VI та п.2 постанови Кабінету Міністрів України від 17.05.2012 р. № 397 “Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2012-2016 рр.”, планом науково-дослідних робіт навчально-наукового інституту технічного сервісу ХНТУСХ ім. П. Василенка “Обґрунтування доцільності використання етилових ефірів як біопалива з проведенням стендових випробувань дизельних двигунів та визначенням їх експлуатаційних і екологічних показників”, ДР 0109U005698.

**Мета і завдання дослідження:** Метою роботи є визначення техніко-експлуатаційних та екологічних показників дизелів засобів транспорту, особливостей їх експлуатації при застосуванні біодизеля та сумішевих видів палива, коригування термінів проведення технічного обслуговування паливної апаратури та заміни моторних оливо.

*Відповідно до мети в роботі вирішувалися наступні завдання:*

1. Теоретичним шляхом оцінити надійність паливної системи засобів транспорту при розширенні паливної бази та за результатами моделювання обґрунтувати склад сумішевих палив на базі етилових ефірів рослинних олій та шляхи підвищення надійності;
2. Експериментальним шляхом визначити залежності зміни ефективної потужності, питомої витрати палива та об'єму викидів забруднюючих

- речовин при застосуванні етилових ефірів з різної сировини та сумішевих видів палива на їхній основі;
3. Обґрунтувати та розробити критерій вибору оптимального складу суміші етилових ефірів та дизельного палива для експлуатації транспортних засобів у зимовий та літній періоди експлуатації;
  4. Провести дослідження впливу сумішевих видів палива на базі етилових ефірів рослинних олій на паливно-економічні показники транспортних засобів у режимі магістральних та міських їздових циклів;
  5. Обґрунтувати коригування термінів проведення технічного обслуговування паливної апаратури дизелів та заміни моторних оливок при застосуванні біодизеля та сумішевих видів палива на базі етилових ефірів рослинних олій;
  6. Виконати економічну оцінку зниження збитків навколишньому середовищу відпрацьованими газами транспортних засобів при застосуванні етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій. Виконати оцінку економічного ефекту при розширенні паливної бази для засобів транспорту.

**Об'єкт дослідження:** процеси експлуатації дизелів засобів транспорту при застосуванні нових видів палива – етилових ефірів рослинних олій.

**Предмет дослідження:** закономірності зміни техніко-експлуатаційних та екологічних показників дизелів засобів транспорту та особливостей їх експлуатації при застосуванні етилових ефірів рослинних олій.

**Методи дослідження:** Теоретичні дослідження базувалися на системному аналізі та теорії надійності технічних систем. Експериментальні дослідження ґрунтувалися на теорії планування експерименту, математичної статистики. Стендові дослідження та дослідження за магістральним та міським їздовими циклами проводилися за методами і методиками відповідно до стандартів і нормативно-технічної документації. Обробка результатів експериментів виконувалася із застосуванням стандартних комп'ютерних програм, розроблених на базі математичної статистики.

**Наукова новизна** одержаних результатів. Положення, що характеризують наукову новизну дисертаційної роботи, полягають у наступному.

*Вперше:*

- отримано залежності ймовірності безвідмовної роботи та коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля при експлуатації на різних видах палива;

- отримано залежності ефективної потужності, питомої витрати палива та викидів шкідливих речовин в атмосферу у відпрацьованих газах при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій.

*Удосконалено:*

- критерій оптимізації сумішевого складу біопалива для експлуатації засобів транспорту, який враховує об'ємну витрату палива дизелем, кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, кінематичну в'язкість сумішевого палива і крутний момент на колінчастому валу двигуна.

*Отримало подальший розвиток:*

- розширення паливної бази для експлуатації засобів транспорту, яка, на відміну від відомих метилових ефірів рослинних олій, застосовує етилові ефіри, що підвищує надійність елементів паливної системи.

**Практична значимість отриманих результатів:**

- розроблено практичні рекомендації щодо вмісту етилових ефірів різних олій в дизельному паливі, який для літнього періоду експлуатації не перевищує 30%, а для зимової експлуатації не більше 10%;

- розроблено практичні рекомендації щодо розрахунку витрат палива автомобілем при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів, що дозволить розробити нормативні показники щодо витрати сумішевих палив для зимового і літнього періоду експлуатації;

- запропоновано розрахункову формулу коригування термінів технічного обслуговування з урахуванням вмісту етилових ефірів рослинних олій в дизельному паливі;

- розроблено рекомендації щодо термінів проведення технічного обслуговування паливної апаратури дизелів та зміни моторних олій при застосуванні сумішевих видів палива на базі етилових ефірів рослинних олій.

**Особистий внесок здобувача.**

Особисто опубліковані наукові праці [3, 7, 8]. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, здобувачу належать: отримані залежності зміни коефіцієнта фільтрації різних сумішей біодизеля [1]; розроблені методики та оцінка собівартості виготовлення етилових ефірів жирних кислот з різних типів рослинної сировини [2]; проведена з урахуванням експериментальних даних оцінка особливостей експлуатації паливної апаратури дизелів при застосуванні різних сумішевих складів біодизеля [4]; запропоновані розрахункові залежності та визначені строки заміни моторних олій при експлуатації на різних сумішах біодизеля [5]; виконана оцінка екологічних показників дизелів при використанні біодизельного палива [6]; визначені розрахункові залежності для кінематичної в'язкості сумішевих палив [9]; отримані результати експлуатаційних випробувань засобів транспорту за магістральним та міським їздовими циклами при застосуванні біодизеля [10].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення дисертаційної роботи та результати наукових розробок доповідалися на: IV Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання” (Кіровоград, КНТУ, 2010 р.); X Міжнародній міжвузівській науково-технічній конференції студентів, магістрів і аспірантів “Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления” (Гомель, ГГТУ, 2010 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції “Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе” (Минск, БГАТУ, 2011 р.); IX Міжнародній науково-методичній конференції “Інженерно-технічне забезпечення інноваційних технологій сервісу машин” (Харків, ХНТУСГ, 2011 р.); III Всеукраїнській науково-практичній конференції “Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь” (Житомир, ЖНАЕУ, 2017 р.); XI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених “Підвищення надійності машин і

обладнання” (Кропивницький, КНТУ, 2017 р.); I Міжнародній науково-практичній конференції “Автомобільний транспорт та інфраструктура” (Київ, НУБіП, 2018 р.) .

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 13 наукових працях, у тому числі: 9 статей у спеціалізованих наукових виданнях України; 1 публікація у закордонному виданні; 3 тези у збірниках доповідей наукових конференцій; отримано 1 патент.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 205 сторінок, у тому числі 4 додатка. Обсяг основного тексту дисертації становить 170 сторінок, 42 рисунків, 29 таблиць. Список використаних джерел нараховує 157 найменувань.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**Вступ** до дисертаційної роботи містить такі положення: актуальність теми; зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; мету та завдання дослідження; наукову новизну одержаних результатів; практичне значення одержаних результатів; особистий внесок здобувача; інформацію про апробації та публікації; відомості про структуру роботи.

**У першому розділі** “Огляд літератури за темою та вибір напряму досліджень” проведено аналіз літературних джерел. Такими вітчизняними та закордонними вченими, як Голуб Г.А, Поліщук М.Ю., Парсаданов І.В., Семенов В.Г., Дідур В.А., Девянин С.Н., Марков А.І., Vıglasky J. I., Voća N., встановлено, що при експлуатації дизелів на рослинних оліях, метилових ефірах рослинних олій та їх сумішей спостерігалось зменшення димності відпрацьованих газів і вмісту в них продуктів неповного згоряння палива. Завдяки наявності кисню в молекулі рослинних олій знижується температура згоряння і вміст продуктів неповного згоряння палива, що призводить до зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище.

Дослідженням надійності паливної апаратури дизелів займались вітчизняні вчені: Полянський О.С., Марков В.А., Смирнов Т.Н., Кухаренко П.М. З аналізу наведених наукових робіт можна зробити висновок, що використання альтернативних видів палива призведе до зниження надійності паливної апаратури. Для забезпечення надійності на заданому рівні необхідна розробка заходів, які спрямовані на додаткові роботи з технічного обслуговування під час експлуатації.

Фізико-хімічні властивості рослинних олій та палив на їхній основі зумовлюють істотний вплив на параметри процесу паливоподачі, і, як наслідок, змінюють характеристики впорскування і розпилювання цих палив, процесів сумішоутворення та згоряння, фільтрування через паливні фільтри тонкої очистки. Високі значення густини, кінематичної в'язкості є причиною збільшення їх циклової подачі та годинної витрати біодизеля, порівняно з дизельним паливом, що потребує розробки науково обґрунтованих рекомендації до керівництва з експлуатації дизелів транспортних засобів, які експлуатуються на біодизелі та його сумішах.

На основі виконаного аналізу літературних джерел у першому розділі сформульовано мету та завдання дослідження.

У другому розділі “Теоретичні дослідження надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази” виконано структурний аналіз надійності паливної системи дизелів засобів транспорту.

Застосовуючи математичний апарат теорії дослідження операцій отримано вираз для оцінки надійності паливної системи  $P_0$ :

$$P_0 = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{0,1}}{\mu_{1,0}} + \frac{\lambda_{0,2}}{\mu_{2,0}} + \frac{\lambda_{0,3}}{\mu_{3,0}} + \frac{\lambda_{0,4}}{\mu_{4,0}} + \frac{\lambda_{0,5}}{\mu_{5,0}} + \frac{\lambda_{0,6}}{\mu_{6,0}}}. \quad (1)$$

В отриманій формулі використовуються два параметри:

- інтенсивність відмови  $i$ -го елемента паливної системи  $\lambda_{0,1} - \lambda_{0,6}$ ;
- інтенсивність відновлення  $i$ -го елемента паливної системи під час проведення технічного обслуговування (ТО)  $\mu_{1,0} - \mu_{6,0}$ .

Дані величини, що наведено в дисертації, визначаються і обробляються методом математичної статистики під час експлуатації і є статистичними.

Отримано математичні вирази для визначення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи при експлуатації на етилових ефірах:

$$P_{0\text{ EEPO}} = P_0 \exp(-c_E), \quad (2)$$

де  $P_{0\text{ EEPO}}$  – ймовірність безвідмовної роботи паливної системи при застосуванні сумішевих палив (дизельне паливо (ДП) + етилові ефіри ріпакової олії (EEPO));

$P_0$  – ймовірність безвідмовної роботи паливної системи на дизельному паливі, формула (1);

$c_E$  – об’ємна частка біопалива EEPO в дизельному паливі ДП.

Для сумішевого палива (95% ДП + 5% EEPO),  $c_E = 0,05$ , для (100% EEPO),  $c_E = 1$ .

Залежність (2) отримана за результатами моделювання і відображає характер зміни надійності паливної системи дизеля при застосуванні різних складів сумішевих палив (ДП + EEPO), що представлено на рис. 1.

З аналізу залежності, представленої на рис.1, слідує, що при збільшенні об’ємної частки EEPO в дизельному паливі ймовірність безвідмовної роботи також зменшується за експоненціальним законом.

На рис. 2. представлені залежності, які встановлюють ступінь впливу різних типів біопалива і його об’ємної частки в нафтовому дизельному паливі на показники надійності паливної системи. Показано, що сумішеві палива на базі етилових ефірів рослинних олій призводять до зниження коефіцієнта технічного використання паливної системи. При перевищенні об’ємної частки (30% EEPO) в дизельному паливі, коефіцієнт технічного використання зменшується до значень 0,72.

На підставі статистичних даних про відмови елементів паливної системи при експлуатації на різних видах палива і математичного моделювання надійності паливної системи встановлено, що сумішеві палива на базі етилових ефірів рослинних олій є найбільш перспективним типом біопалива і розширюють паливну базу для експлуатації засобів транспорту.

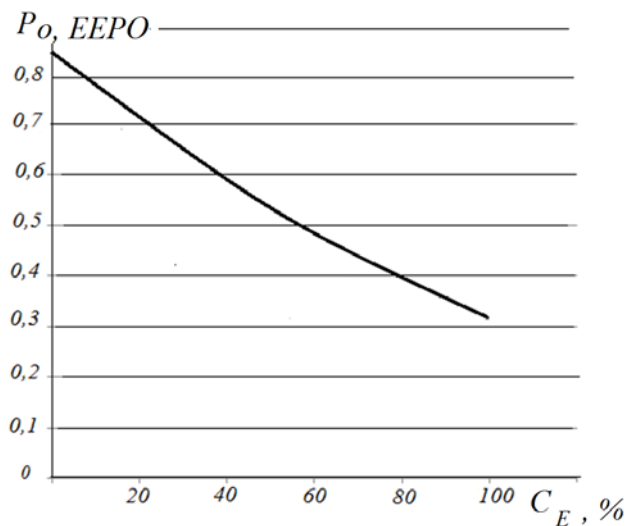


Рис. 1. Залежність зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи дизеля від змісту об'ємної частки ЕЕРО в дизельному паливі

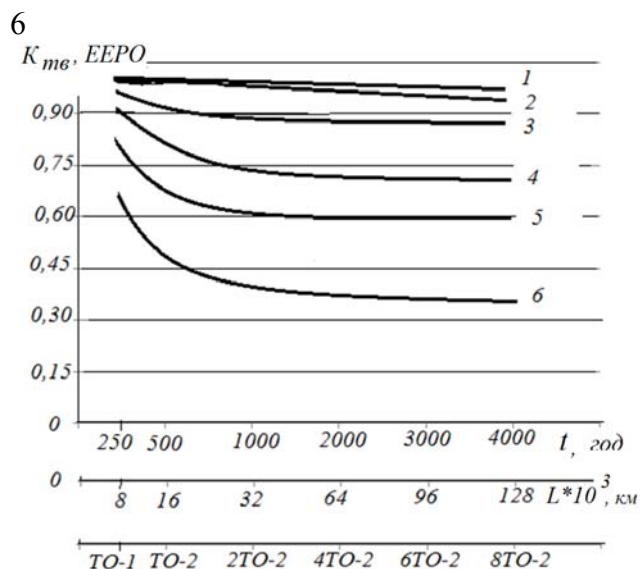


Рис. 2. Залежності зміни коефіцієнта технічного використання паливної системи дизеля від застосування різних складів сумішевих палив і пробігу вантажного автомобіля: 1 – (ДП); 2 – (95% ДП + 5% ЕЕРО); 3 – (90% ДП + 10% ЕЕРО); 4 – (70% ДП + 30% ЕЕРО); 5 – (50% ДП + 50% ЕЕРО); 6 – (100% ЕЕРО)

Результати моделювання зміни ймовірності безвідмовної роботи паливної системи і коефіцієнта технічного використання дозволяють зробити висновок, що при використанні сумішевих палив, які містять ЕЕРО, можна збільшити об'ємний вміст до (70% ДП + 30% ЕЕРО), що значно перевищує значення ймовірності безвідмовної роботи при використанні палив, що містять МЕРО, де концентрація не повинна перевищувати (90% ДП + 10% МЕРО). Однак така пропозиція вимагає розробки рекомендацій з технічного обслуговування паливних систем для літніх і зимових періодів експлуатації, що дозволить підвищити ймовірність безвідмовної роботи паливної системи до значень при експлуатації на нафтовому дизельному паливі.

**У третьому розділі** “Програма, методика та результати експериментальних досліджень” експериментальним шляхом отримані залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій. Встановлено, що застосування етилових ефірів ріпакової олії знижує ефективну потужність до 9%, етилових ефірів соняшникової олії до 11%, етилових ефірів соєвої олії до 13%, при одночасному збільшенні питомої витрати палива на 10%, 12% і 14% відповідно.

Експериментальним шляхом отримані залежності зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу у відпрацьованих газах при використанні різних типів сумішевих палив. Встановлено, що застосування етилових ефірів



знижує викид  $CO$  на 37...40%, викид  $C_nH_m$  на 27...29%, викид твердих часток  $ТЧ$  (сажі) на 16...20% при одночасному збільшенні викиду  $NO_x$  на 2,1...2,2%.

На підставі експериментальних даних отримано наступні залежності, що характеризують сумарний викид шкідливих речовин в атмосферу:

$$E = M_v \exp(-Q_{B\%}), \quad (3)$$

де  $E$  – сумарний викид шкідливих речовин у атмосферу,  $г/м^3$ ;

$M_v$  – сумарний викид шкідливих речовин у атмосферу при роботі двигуна на дизельному, мінеральному паливі,  $г/м^3$ . Для дизеля Д-243  $M_v = 0,24 г/м^3$ ;

$Q_{B\%}$  – безрозмірний параметр, який враховує зниження викиду шкідливих речовин у залежності від процентного вмісту етилових ефірів у дизельному паливі.

Вираз для розрахунку показника ступеня  $Q_{B\%}$  має наступний вигляд:

$$Q_{B\%} = CO_{B\%} \cdot m_{CO} + C_nH_m_{B\%} \cdot m_{C_nH_m} + ТЧ_{B\%} \cdot m_{ТЧ} - NO_{x_{B\%}} \cdot m_{NO_x}, \quad (4)$$

де  $CO_{B\%}$  – величина зниження викиду  $CO$  при певному процентному вмісті етилових ефірів у сумішевому складі;

$m_{CO}$  – ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) у загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$C_nH_m_{B\%}$  – величина зниження викиду  $C_nH_m$  при певному процентному вмісті етилових ефірів у паливі;

$m_{C_nH_m}$  – ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість)  $C_nH_m$  у загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$ТЧ_{B\%}$  – величина зниження викиду твердих частинок при певному процентному вмісті етилових ефірів у паливі;

$m_{ТЧ}$  – ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) твердих частинок у загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах;

$NO_{x_{B\%}}$  – величина збільшення викиду при певному процентному вмісті етилових ефірів у паливі;

$m_{NO_x}$  – ваговий коефіцієнт, що враховує “вагу” (значимість) в загальному обсязі шкідливих речовин у відпрацьованих газах.

На підставі масиву експериментальних даних, які отримані нами при випробуванні дизеля на стенді за допомогою методу найменших квадратів, було отримано наступні значення вагових коефіцієнтів:  $m_{CO} = 0,017$ ;  $m_{C_nH_m} = 0,0178$ ;  $m_{ТЧ} = 0,0535$ ;  $m_{NO_x} = 0,63$ .

Використовуючи розрахункові значення показника ступеня  $Q_{B\%}$ , формула (4) і підставляючи його в вираз (3) шляхом моделювання, отримаємо залежності сумарного викиду шкідливих речовин в атмосферу при роботі дизеля Д-243 на різних сумішевих паливах, що містять етилові ефіри. Залежності представлені на рис. 3.

Аналіз представлених залежностей дозволяє зробити висновок, що інтенсивне зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу характерно для сумішевих палив В10–В30. Подальше збільшення етилових ефірів у

дизельному паливі більшого ефекту не створює. На наш погляд, це пов'язано з протиріччям одночасного зниження  $CO$ ,  $C_nH_m$ ,  $ТЧ$  і збільшення  $NO_x$ . У зв'язку з тим, що ваговий коефіцієнт у показника  $NO_x$  досить високий, відбувається втрата ефекту сумарного зниження викиду шкідливих речовин  $E$ , розмірністю  $г/м^3$ .

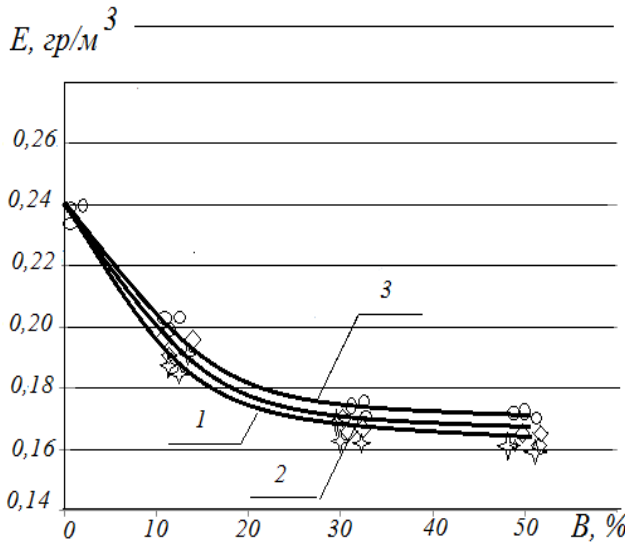


Рис. 3. Залежності зміни сумарного викиду шкідливих речовин  
1 – етилові ефіри ріпакової олії; 2 – етилові ефіри соняшникової олії;  
3 – етилові ефіри соєвої олії.

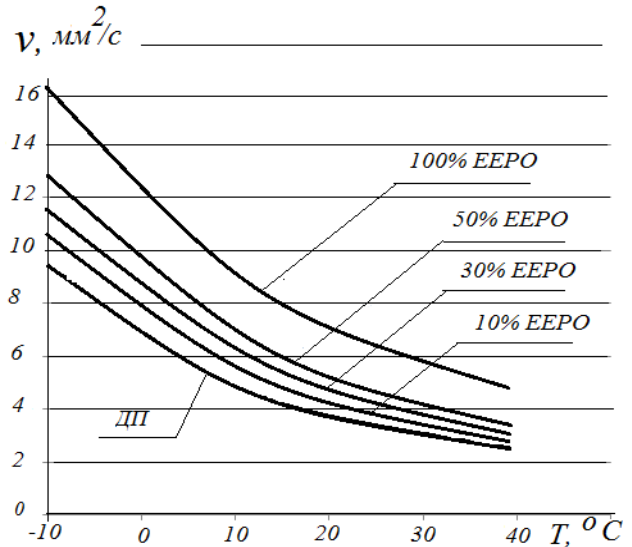


Рис. 4. В'язкісно-температурні характеристики дизельного палива і різних об'ємних концентрацій етилових ефірів ріпакової олії

Виконано дослідження залежностей зміни кінематичної в'язкості сумішевих палив, що містять етилові ефіри рослинних олій. Результати досліджень представлено на рис. 4, де надано в'язкісно-температурну характеристику для різних сумішевих палив на основі EEPO. Дані залежності є теоретичними, оскільки отримані шляхом моделювання за формулами (5) та (6) і методу ASTM D7152-11 і призначені для обліку фактора в'язкості сумішевих палив при виборі оптимальних об'ємних концентрацій етилових ефірів у дизельному паливі для зимового і літнього періодів експлуатації:

$$\nu_{EEPO} = 12,65 \exp(-0,0245 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с} \quad (5)$$

$$\nu_{ДП} = 7,2 \cdot \exp(-0,028 \cdot T), \text{ мм}^2 / \text{с}, \quad (6)$$

де  $\nu_{EEPO}$  і  $\nu_{ДП}$  – кінематична в'язкість етилових ефірів ріпакової олії та дизельного палива,  $\text{мм}^2 / \text{с}$ ;

$T$  – температура палива,  $^{\circ}\text{C}$ .

У четвертому розділі “Обґрунтування критерію оптимізації та вибір сумішевого складу палива для експлуатації засобів транспорту при розширенні паливної бази” на підставі теорії подібності і методів розмірностей отримано безрозмірний критерій оптимізації сумішевого складу біопалива для експлуатації засобів транспорту:

$$K_{opt} = M_{кр} \cdot G_V^{-1} \cdot E^{-1} \cdot v_{EE}^{-1} = \frac{M_{кр}}{G_V \cdot E \cdot v_{EE}}, \quad (7)$$

де  $M_{кр}$  – крутний момент на валу дизеля;

$G_V$  – об'ємна витрата палива дизеля,  $m^3/c$ ;

$E$  – кількість шкідливих речовин викинутих у атмосферу,  $кг/m^3$ ;

$v_{EE}$  – кінематична в'язкість палива,  $m^2/c$ .

Критерій враховує об'ємну витрату палива дизелем, кількість викинутих шкідливих речовин в атмосферу, кінематичну в'язкість сумішевого палива і крутний момент двигуна рис. 5.

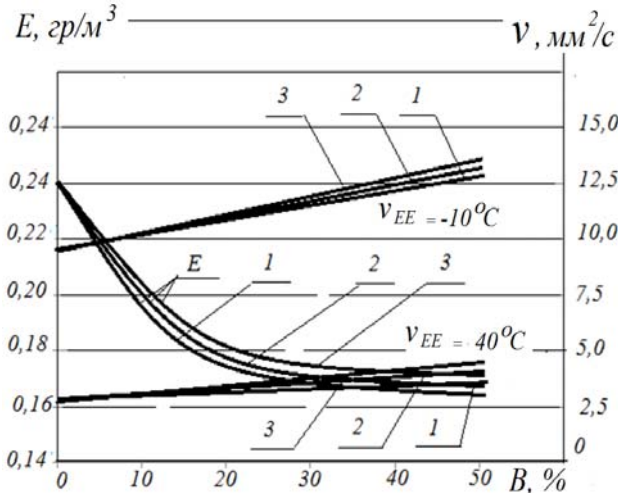


Рис. 5. Залежності зміни сумарного викиду шкідливих речовин та кінематичної в'язкості від вмісту етилових ефірів в дизельному паливі  
1 – ЕЕРО (етилові ефіри ріпакової олії);  
2 – ЕЕСО (етилові ефіри соняшникової олії); 3 – ЕЕСоО (етилові ефіри соєвої олії)

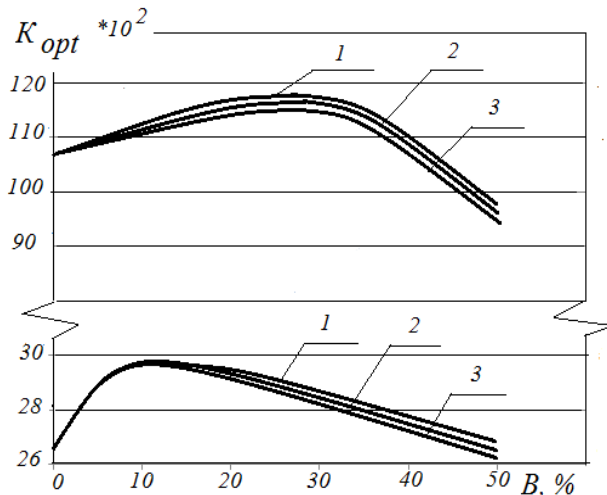


Рис. 6. Залежності зміни критерію оптимізації від вмісту етилових ефірів у дизельному паливі  
1 – ЕЕРО (етилові ефіри ріпакової олії);  
2 – ЕЕСО (етилові ефіри соняшникової олії); 3 – ЕЕСоО (етилові ефіри соєвої олії)

Аналізуючи залежності, представлені на рис. 6, можна стверджувати: для літнього періоду експлуатації необхідно застосовувати сумішеві палива не більше 30% етилових ефірів рослинних олій; для зимового періоду експлуатації оптимальне значення сумішевого складу палива повинно містити не більше 10% етилових ефірів рослинних олій.

Для підтвердження розрахункових даних проведено експериментальні дослідження з визначенням паливної економічності автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” при застосуванні оптимальних сумішевих складів палива за магістральним і міським їздовими циклами, ГОСТ 20306-90. Результати випробувань представлено в таблицях 1 та 2.

З наведених даних слідує, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період експлуатації на сумішевому паливі, що містить 30% етилових ефірів, витрата палива збільшується в порівнянні з дизельним паливом на 7,05...8,67%. Менше значення відноситься до ЕЕРО, а більше до ЕЕСоО. Для зимового періоду

експлуатації, коли сумішеве паливо містить 10% етилових ефірів, витрата палива збільшується на 3,31...4,34%.

Доведено, що при експлуатації автомобіля за міським циклом у літній період експлуатації на сумішевому паливі, що містить 30% етилових ефірів, витрата палива збільшується на 7,1...8,69% в залежності від типу палива. Для зимового періоду експлуатації, коли рекомендується застосовувати не більше 10% етилових ефірів у дизельному паливі, витрата збільшується на 3,6...4,22%.

Таблиця 1.

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря +20 °С.

Маса вантажу $m$ , кг	Час випробування $t_{cp}$ , с	Об’ємна витрата палива $Q_{cp}$	Середня швидкість руху $V_{cp}$ км/год	Витрата палива $Q_{cp}$ , л/100км	Середньо-квадратичне відхилення $S_Q$	Коефіцієнт варіації $v_Q$	Відсоток збільшення $\varepsilon$ , %
Дизельне паливо ДП (Л)							
0	241,1	680	59,72	17,0	0,61	0,036	-
1500	246,4	735	58,41	18,3	0,73	0,04	-
3000	252,6	784	57,0	19,6	0,85	0,043	-
70% ДП (Л) + 30% ЕЕРО							
0	246,3	728	58,46	18,2	0,73	0,04	7,05
1500	251,1	784	57,34	19,6	0,85	0,043	7,1
3000	256,8	840	56,07	21,0	0,97	0,046	7,1
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСО							
0	247,5	728	58,18	18,2	0,75	0,041	7,05
1500	252,7	788	56,9	19,7	0,88	0,044	7,65
3000	257,9	844	55,8	21,1	0,99	0,046	7,65
70% ДП (Л) + 30% ЕЕСоО							
0	249,4	736	57,33	18,4	0,78	0,042	8,23
1500	254,6	792	56,55	19,8	0,90	0,045	8,19
3000	259,8	852	55,42	21,3	1,0	0,046	8,67

Таблиця 2.

Результати випробувань автомобіля ЗІЛ-5301 “Бичок” за магістральним циклом при температурі навколишнього повітря -5 °С.

Маса вантажу $m$ , кг	Час випробування $t_{cp}$ , с	Об’ємна витрата палива $Q_{cp}$	Середня швидкість руху $V_{cp}$ км/год	Витрата палива $Q_{cp}$ , л/100км	Середньо - квадратичне відхилення $S_Q$	Коефіцієнт варіації $v_Q$	Відсоток збільшення $\varepsilon$ , %
Дизельне паливо ДП (З)							
0	243,2	724	59,21	18,1	0,71	0,039	-
1500	248,6	776	57,92	19,4	0,83	0,042	-
3000	254,8	828	56,51	20,7	0,91	0,043	-
90% ДП (З) + 10% ЕЕРО							
0	244,2	748	58,96	18,7	0,72	0,038	3,31
1500	249,3	804	57,76	20,1	0,9	0,044	3,60
3000	255,6	860	56,33	21,5	1,05	0,048	3,86
90% ДП (З) + 10% ЕЕСО							
0	245,3	748	58,7	18,7	0,72	0,038	3,31
1500	250,2	804	57,55	20,1	0,9	0,044	3,60
3000	256,4	860	56,16	21,5	1,05	0,048	3,86
90% ДП (З) + 10% ЕЕСоО							
0	247,4	752	58,20	18,8	0,76	0,04	3,86
1500	252,1	808	57,12	20,2	0,94	0,046	4,12
3000	258,8	864	55,64	21,6	1,06	0,049	4,34

Отримано залежності середньої витрати палива автомобіля від маси вантажу, що перевозиться, і типу сумішевого палива для зимового і літнього періоду експлуатації, які апроксимовані загальним регресійним рівнянням.

$$Q_{cp} = a + 9,35 \cdot 10^{-4} \cdot m, \text{ л / 100 км} \quad (8)$$

де  $a$  – безрозмірний коефіцієнт, який залежить від типу палива, періоду і умов експлуатації;

$m$  – маса вантажу, що перевозиться, кг.

Значення регресійних коефіцієнтів  $a$  для різних умов експлуатації наведено в таблиці 3.

Таблиця 3.

Значення регресійних коефіцієнтів  $a$  для різних умов експлуатації

Тип палива	Значення коефіцієнта $a$			
	Магістральний цикл (літо)	Магістральний цикл (зима)	Міський цикл (літо)	Міський цикл (зима)
ДП	17,0	18,1	18,1	19,4
ДП+ЕЕРО	18,2	18,7	19,4	20,1
ДП+ЕЕСО	18,2	18,7	19,5	20,1
ДП+ЕЕСоО	18,4	18,8	19,6	20,2

Застосування регресійного рівняння (8) сумісно з таблицею 3 дозволяє зробити прогноз по витраті палива автомобілем ЗІЛ-5301 “Бичок” в залежності від різних умов експлуатації. Даний механізм розрахунку дозволить планувати і нормувати витрати палива в автопідприємствах при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів рослинних олій.

У п'ятому розділі “Розробка рекомендацій щодо забезпечення надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при розширенні паливної бази і оцінка економічного ефекту” в результаті дослідження отримано залежності зміни коефіцієнта фільтрування  $K_f$  для різних типів сумішевих палив від часу відстоювання, таблиця 4.

Таблиця 4.

Значення коефіцієнта фільтрування від часу відстоювання

Паливо	Час відстоювання, години						
	24	48	72	96	120	144	168
(90%ДП+10%ЕЕРО) $K_f$	7,2	5,8	2,6	2,5	2,4	2,4	2,4
(70%ДП+30%ЕЕРО) $K_f$	10,2	6,8	3,7	2,6	2,4	2,4	2,4

Аналіз отриманих величин дозволяє зробити висновок, що ДП + ЕЕРО мають високі значення  $K_f$ . Згідно ГОСТ 305-82, значення  $K_f$  не повинно перевищувати 3. При збільшенні  $K_f$  до 6 термін служби фільтрів тонкої очистки необхідно зменшити в три рази.

Встановлено, що найефективніше зниження коефіцієнта фільтрації відбувається в перші 72...96 годин відстоювання і дорівнює величині 2,6. Це дозволило розробити практичні рекомендації з підготовки сумішевих палив перед використанням та забезпечити термін заміни паливних фільтрів в межах 2ТО-2.

Досліджено залежності зміни циклової подачі палива насосними секціями паливних насосів високого тиску з різним ступенем зносу. Встановлено, що підвищення вмісту ЕЕРО в дизельному паливі призводить до збільшення циклової подачі, що є результатом підвищення густини та в'язкості палива.

Таке явище має наслідком збільшення ресурсу паливних насосів за рахунок зменшення витоків у зазорах плунжер-втулка.

Отримано залежності зменшення прохідного перетину отворів розпилювачів форсунок від часу напрацювання в двигунах на різних типах палив. Встановлено, що застосування сумішевих палив приводить до швидшого зменшення прохідного перетину отворів форсунок, що вимагає скорочення терміну технічного обслуговування розпилювачів форсунок. На базі отриманих залежностей запропоновано розрахункову формулу коригування термінів технічного обслуговування з урахуванням вмісту ЕЕРО в дизельному паливі.

Таке коригування (“приведене напрацювання”) може бути отримано діленням числа мотогодин  $T_m$ , відпрацьованих двигуном до 2ТО-2, на коригуючий коефіцієнт  $K_k$ , що враховує особливості сумішевих палив (90% ДП+10% ЕЕРО) та (70% ДП+30% ЕЕРО):

$$H = \frac{T_m}{K_k}, \text{ мотогодини,} \quad (9)$$

де,  $H$  – приведенне напрацювання, мотогодини;

$K_k$  – коригуючий коефіцієнт, що визначається за формулою:

$$K_k = 1 + \left( \frac{k_B}{100} \right)^p, \quad (10)$$

де  $k_B$  – вміст ЕЕРО у дизельному паливі, %;

$p$  – емпіричний показник ступеня.

Згідно залежностям, які наведено в дисертаційній роботі, можна стверджувати, що показник ступеня  $p$  дорівнює 1.

При експлуатації дизелів Д-242, Д-243 та Д-245 на сумішевих видах палива (дизельне паливо та ЕЕРО) термін заміни моторної оливи при використанні різних видів палива буде збільшуватися. Чим більший відсоток ЕЕРО в дизельному паливі, тим більший термін заміни моторної оливи. Такий термін експлуатації моторної оливи доцільний тільки за умови контролю в'язкості оливи через кожні 250 мотогодин, або 8 тис. км пробігу, при проведенні ТО-1.

На основі виконаних досліджень розроблено практичні рекомендації щодо проведення технічного обслуговування паливної апаратури і виконано оцінки надійності паливної системи.

Для забезпечення надійної роботи паливної системи внесені зміни в керівництво з експлуатації в розділ “Терміни виконання ТО”, таблиця 5.

Виконано оцінку надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при експлуатації на сумішевому паливі (ДП + ЕЕРО). На підставі статистичних даних результатів експлуатації отримано розрахункові значення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи. За рахунок коригування термінів проведення технічного обслуговування ймовірність безвідмовної роботи складає  $P_0 = 0,84$ , що можна порівняти зі значенням при експлуатації на ДП,  $P_0 = 0,85$ , а коефіцієнт технічного використання становить  $0,94 \dots 0,96$ .

Виконано оцінку економічного ефекту при використанні етилових ефірів рослинних олій в якості паливної бази для засобів транспорту. Визначено

розрахункові зменшення розміру збитків, які завдаються навколишньому середовищу при використанні ДП + ЕЕРО в порівнянні з ДП.

Таблиця 5.

Технологічні операції і терміни їх проведення при технічному обслуговуванні паливної системи дизелів засобів транспорту

Технологічна операція	Д – 242	Д – 243	Д – 245
Виконати відстоювання сумішевого палива і його фільтрування перед заправкою в баки транспортних засобів			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	72+5 годин	72+5 годин	72+5 годин
(70% ДП+30% ЕЕРО)	96+5 годин	96+5 годин	96+5 годин
Злив відстою з фільтрів грубої очистки			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕРО)	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км	0,5ТО-1 4 тис.км
Заміна фільтрів тонкої очистки			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕРО)	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км	ТО-2 16 тис.км
Промивання й очищення розпилювачів форсунок			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	1,75ТО-2 28 тис.км	1,75ТО-2 28 тис.км	1,75ТО-2 28 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕРО)	1,5ТО-2 24 тис.км	1,5ТО-2 24 тис.км	1,5ТО-2 24 тис.км
Контроль паливного насоса високого тиску на стенді			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	6ТО-2 96 тис.км	6ТО-2 96 тис.км	6ТО-2 96 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕРО)	8ТО-2 128 тис.км	8ТО-2 128 тис.км	8ТО-2 128 тис.км
Заміна моторної оливи М-10Г <sub>2к</sub> , АРІ СС			
(90% ДП+10% ЕЕРО)	0,8ТО-2 14 тис.км	0,8ТО-2 13 тис.км	0,75ТО-2 12 тис.км
(70% ДП+30% ЕЕРО)	1,4ТО-2 22 тис.км	1,3ТО-2 21 тис.км	1,2ТО-2 19 тис.км

Економічний ефект від застосування палива (90% ДП + 10% ЕЕРО) при експлуатації одного автомобіля з річним пробігом 64 тис.км складе 979 572 грн, при застосуванні палива (70% ДП + 30% ЕЕРО) економічний ефект дорівнює 2015593 грн.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове-практичне завдання розширення паливної бази для експлуатації засобів транспорту шляхом застосування етилових ефірів ріпакової, соняшnikової та соєвої олій з прогнозуванням надійності елементів паливної системи та коригуванням строків проведення технічного обслуговування. В результаті виконаної роботи отримано наступні основні результати.

1. В результаті аналізу літературних джерел встановлено, що експлуатація дизелів на рослинних оліях, метилових ефірів рослинних олій та їх сумішей спостерігалось зменшення димності відпрацьованих газів і вмісту в них продуктів неповного згоряння палива, що призводить до зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище. Фізико-хімічні властивості рослинних олій та палив на їх основі зумовлюють істотний вплив на параметри процесу паливоподачі, і, як наслідок, змінюють характеристики впорскування і розпилювання цих палив, процесів сумішоутворення та згоряння, фільтрування через паливні фільтри тонкої очистки. Високі значення густини, кінематичної в'язкості є причиною збільшення їхньої циклової подачі та годинної витрати біодизеля порівняно з дизельним паливом. З аналізу публікацій встановлено, що метилові ефіри знижують надійність елементів паливної системи за рахунок негативного впливу залишкового метанолу на ущільнювальні матеріали і фільтруючі елементи, що потребує розробки науково-обґрунтованих рекомендацій до керівництва з експлуатації дизелів транспортних засобів, які експлуатуються на біодизелі та його сумішах.

2. З використанням основних положень теорії дослідження операцій виконано структурний аналіз надійності паливної системи дизеля засобів транспорту. Отримано математичні вирази для визначення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи та ймовірності відмови її елементів при експлуатації на різних видах палива. Із застосуванням розробленого математичного апарата і за наявності статистичних даних за часом напрацювання до відмови і часу відновлення робочого стану розраховано ймовірність виходу з ладу кожного елемента паливної системи і ймовірність безвідмовної роботи паливної системи в цілому на різних типах палива. Отримано залежності, які дозволяють встановити ступінь впливу різних типів біопалива та його об'ємної частки в нафтовому дизельному паливі на показники надійності паливної системи. Встановлено, що при експлуатації транспортних засобів на сумішевих паливах із вмістом 95% ДП + 5% МЕРО ймовірність безвідмовної роботи паливної системи знижується з величини 0,85 до 0,76. При цьому збільшення об'ємної частки МЕРО в сумішевому складі до 30% призводить до зниження надійності паливної системи до величини 0,53. Сумішеві палива на базі етилових ефірів рослинних олій призводять до більш повільного зниження коефіцієнта технічного використання паливної системи. При застосуванні 70% ДП + 30% ЕЕРО коефіцієнт технічного використання знижується до значень 0,72 в порівнянні зі значенням 0,53 для 70% ДП + 30% МЕРО. Результати моделювання ймовірності безвідмовної роботи паливної системи і коефіцієнта технічного використання дозволяють стверджувати, що при використанні сумішевих палив вміст в них ЕЕРО можна збільшити до 30%,



в той час як вміст метилових ефірів у сумішевому складі не повинен перевищувати 10%.

3. Експериментальним шляхом отримано залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів ріпакової, соняшникової та соєвої олій. Встановлено, що застосування етилових ефірів ріпакової олії знижує ефективну потужність до 9%, етилових ефірів соняшникової олії до 11%, етилових ефірів соєвої олії до 13%, при одночасному збільшенні питомої витрати палива на 10%, 12% і 14% відповідно. Отримано залежності зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу у відпрацьованих газах при використанні різних типів сумішевих палив. Встановлено, що застосування етилових ефірів знижує викид  $CO$  на 37...40%, викид  $C_nH_m$  на 27...29%, викид твердих часток (сажі)  $TC$  на 16...20% при одночасному збільшенні викиду  $NO_x$  на 5,4...7,4%. Шляхом моделювання отримано залежність зміни сумарного викиду шкідливих речовин в одиницях об'єму відпрацьованих газів для різних складів сумішевих палив. Встановлено, що максимальний ефект характерний для палив, що містять 10...30% етилових ефірів. Подальше збільшення процентного вмісту етилових ефірів у дизельному паливі не приносить ефекту через збільшення вмісту  $NO_x$  у відпрацьованих газах.

4. Експериментальним шляхом отримано в'язкісно-температурні характеристики етилових ефірів різних олій, які дозволили отримати розрахункові залежності зміни в'язкості сумішевих палив при різному відсотковому вмісті етилових ефірів і температури сумішевого палива. Встановлено, що сумішеві палива на базі етилових ефірів мають більш високі значення кінематичної в'язкості, які в 1,5...2,6 рази перевищують в'язкість дизельного палива. Це призводить до утруднення прокачуваності палива в зимовий період експлуатації. Серед трьох видів біопалива максимальну кінематичну в'язкість зафіксовано в сумішевих складах на етилових ефірах соєвої олії. Виходячи з цього, рекомендується використовувати цей вид палива при експлуатації транспортних засобів лише в літній період.

5. На підставі теорії подібності і методу розмірностей отримано безрозмірний критерій оптимізації сумішевого складу біопалива для експлуатації засобів транспорту. Критерій враховує об'ємну витрату палива дизелем, кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, кінематичну в'язкість сумішевого палива і крутний момент на колінчастому валу двигуна. Встановлено оптимальний вміст етилових ефірів різних олій в дизельному паливі, який для літнього періоду експлуатації не перевищує 30% етилових ефірів, а для зимової експлуатації не більше 10%.

6. Виконано оцінку паливної економічності автомобіля ЗІЛ 5301 "Бичок" при експлуатації на оптимальних сумішевих складах палива за магістральним і міським їздовими циклами. Встановлено, що при експлуатації автомобіля на магістральних дорогах з асфальтовим покриттям у літній період на сумішевому паливі, що містить 30% етилових ефірів, витрата палива збільшується в порівнянні з дизельним паливом на 7,05...8,67%. Менше значення відноситься до ЕЕРО, а більше до ЕЕСоО. Для зимового періоду експлуатації, коли сумішеве паливо містить до 10% етилових ефірів, витрата

палива збільшується на 3,31...4,34%. Отримано залежності середньої витрати палива автомобілем від маси вантажу, що перевозиться і типу сумішевих палив для зимового і літнього періоду експлуатації, які апроксимовані загальним регресійним рівнянням. Рівняння дозволяє виконати прогноз витрат палива автомобілем при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів, а також розробити нормативні показники по витраті сумішевих палив для зимового і літнього періоду експлуатації, що становить практичну значущість цієї роботи.

7. Отримано залежності зміни коефіцієнта фільтрації, циклової подачі палива насосними секціями паливних насосів високого тиску з різним ступенем зносу, прохідного перетину отворів розпилювачів форсунок від часу напрацювання в двигунах, строки заміни моторної оливи для різних типів сумішевих палив. На базі отриманих залежностей запропоновано розрахункову формулу коригування строків технічного обслуговування з урахуванням вмісту етилових ефірів рослинних олій в дизельному паливі. Виконано оцінку надійності паливної системи дизелів засобів транспорту при експлуатації на сумішевих паливах (ДП + ЕЕРО). На підставі статистичних експлуатаційних даних отримано розрахункові значення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи. Коригування строків проведення технічного обслуговування паливної системи при їхній експлуатації на етилових ефірах дозволило підвищити ймовірність її безвідмовної роботи до величини, що можна порівняти зі значенням експлуатації на ДП ( $P_0 = 0,84$ ), при цьому коефіцієнт технічного використання становить 0,94...0,96.

8. Виконано оцінку економічної ефективності використання етилових ефірів рослинних олій в якості палива для транспортних засобів. Проведено розрахунок зменшення розміру збитку, який завдається навколишньому середовищу від викиду шкідливих речовин в атмосферу при використанні сумішевого складу на базі етилових ефірів ріпакової олії в порівнянні зі збитками, які завдаються при використанні мінерального дизельного палива. Економічний ефект від зниження техногенного впливу на навколишнє середовище при експлуатації одного автомобіля з річним пробігом 64 тис.км на паливі В10 (90% ДП + 10% ЕЕРО) складе 979 572 грн, на паливі В30 (70% ДП + 30% ЕЕРО) економічний ефект дорівнює 2015593 грн.

## ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Список праць, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Войтов В.А., Карнаух М. В., Калюжний О.Б., Даценко М.С. Дослідження особливостей фільтрації біодизеля через паперові фільтри тонкої очистки дизельних двигунів. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник Кіровоградського національного технічного університету*. 2010. Вип. 40. Ч І. С. 282–287.

2. Войтов В.А., Карнаух М. В., Даценко М.С. Оцінка собівартості виготовлення етилових ефірів жирних кислот рослинного походження. *Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені П. Василенка*. 2010. Вип.108. С. 105–115.

3. Карнаух М. В. Розширення паливної бази автомобільного транспорту шляхом застосування етилових ефірів жирних кислот рослинних олій. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2010. Вип. 49. С. 47–51.

4. Войтов В.А., Даценко М.С., Карнаух М. В., Сорокін С. П. Особливості експлуатації паливної апаратури дизелів сільськогосподарського призначення при застосуванні біологічного палива. *Вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. Вип. 144, Ч. 1: Сер.: Техніка і енергетика АПК. С. 322–328.

5. Войтов В.А., Карнаух М. В., Даценко М.С. Підбір моторних олів дизельних двигунів та терміни їх заміни при експлуатації на біопаливі. *Вісник національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2010. Вип. 144, Ч. II: Сер.: Техніка і енергетика АПК. С. 25–28.

6. Войтов В.А. Сандомирский М.Г., Карнаух Н.В., Даценко Н.С. Техничко-експлуатаційні і екологічні показники дизелів при використанні біодизельного палива. *Тракторы и сельхозмашины*. 2011. №4. С.8–11.

7. Карнаух М. В. Оцінка показників паливної економічності і токсичності відпрацьованих газів дизеля при використанні етилових ефірів. *Вісник Харківського національного університету сільського господарства імені П. Василенка*. 2011. Вип.109. С. 175–185.

8. Карнаух Н.В. Теоретические исследования надежности топливной системы дизелей средств транспорта при расширении топливной базы. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2016. № 4. С. 252–267.

9. Карнаух Н.В., Войтов В.А. Исследование закономерностей влияния процентного содержания биодизеля в топливе на эксплуатационные характеристики средств транспорта. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 11. С. 233–240.

10. Карнаух Н.В., Войтов В.А. Эксплуатационные испытания транспортного средства на смесевом составе биотоплива по магистральным и городским ездовым циклам. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2018. № 12. С. 167–176.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

1. Карнаух М.В. Визначення доцільності використання етилових ефірів рослинних олій у якості біопалива для дизеля транспортного і сільськогосподарського призначення. *IV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів “Підвищення надійності машин і обладнання”*. Кіровоград: КНТУ, 2010. С. 20–22.

2. Карнаух Н. В. Оценка эффективности эксплуатации и экологической безопасности автомобиля ЗИЛ 5301 при использовании в качестве топлива этиловых эфиров жирных кислот. *V Международная научно-практическая конференция “Научно-инновационная деятельность в агропромышленном комплексе”*. Минск, БГАТУ, 2011. С. 155–158.

3. Карнаух М.В. Визначення закономірностей впливу біологічного палива на сумарний показник викиду шкідливих речовин в атмосферу. *I Міжнародна науково-практична конференція “Автомобільний транспорт та інфраструктура”*. Київ, НУБіП, 2018. С. 110-112.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:  
Спосіб одержання біодизельного палива у вигляді етилових ефірів олій та жирів: пат. 65058 Україна: МПК С10L 1/19 (2006/1). №u201105331; заявл. 26.04.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. №22. 4 с.

## АНОТАЦІЯ

**Карнаух М.В.** Розширення паливної бази засобів транспорту шляхом застосування етилових ефірів рослинних олій – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.20 “Експлуатація та ремонт засобів транспорту” (274 – Автомобільний транспорт). – Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Україна, Харків, 2018.

У дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове-практичне завдання розширення паливної бази для експлуатації засобів транспорту шляхом застосування етилових ефірів рослинних олій з прогнозуванням надійності елементів паливної системи. Виконано структурний аналіз надійності паливної системи дизеля засобів транспорту. Отримано математичні вирази для визначення ймовірності безвідмовної роботи паливної системи при експлуатації на різних видах палива. Із застосуванням розробленого математичного апарата отримано залежності, які дозволяють встановити ступінь впливу різних типів біопалива на показники надійності паливної системи. Експериментальним шляхом отримано залежності ефективної потужності і питомої витрати палива при застосуванні сумішевих палив на базі етилових ефірів ріпакової, соняшnikової та соєвої олій. Отримано залежності зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу у відпрацьованих газах при використанні різних типів сумішевих палив. Удосконалено критерій оптимізації сумішевого складу біопалива для експлуатації засобів транспорту, який враховує об’ємну витрату палива дизелем, кількість шкідливих речовин, що викидаються в атмосферу, кінематичну в’язкість сумішевого палива і крутний момент на колінчастому валу двигуна. На базі отриманих залежностей запропоновано розрахункову формулу коригування строків технічного обслуговування з урахуванням вмісту етилових ефірів рослинних олій в дизельному паливі.

Ключові слова: технічна експлуатація, біодизель, засоби транспорту, метилові ефіри рослинних олій, етилові ефіри рослинних олій, сумішеві види палив, ефективна потужність, питома витрата палива, екологічні показники.

## АННОТАЦИЯ

**Карнаух Н.В.** Расширение топливной базы средств транспорта путем использования этиловых эфиров растительных масел – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта» (274 – Автомобильный транспорт). – Харьковский

национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Украина, Харьков, 2018.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача расширения топливной базы для эксплуатации средств транспорта путем использования этиловых эфиров рапсового, подсолнечного и соевого масел с прогнозированием надежности элементов топливной системы.

Расчетным путем получены математические выражения для определения вероятности безотказной работы топливной системы и вероятности отказа ее элементов при эксплуатации на различных видах топлива. Предложена зависимость, которая позволяет установить степень влияния различных типов биотоплива и его объемной доли в нефтяном дизельном топливе на показатели надежности топливной системы.

На основе экспериментальных данных определены зависимости эффективной мощности и удельного расхода топлива при применении смесевых топлив на базе этиловых эфиров рапсового, подсолнечного и соевого масел. Получены зависимости снижения выбросов вредных веществ в атмосферу в отработанных газах при использовании различных типов смесевых топлив.

Путем моделирования получена зависимость изменения суммарного выброса вредных веществ в единицах объема отработанных газов для различных составов смесевых топлив. Установлено, что максимальный эффект характерен для топлив, содержащих 10 ... 30% этиловых эфиров. Дальнейшее увеличение процентного содержания этиловых эфиров в дизельном топливе не приносит эффекта из-за увеличения содержания в отработавших газах оксида азота.

Экспериментальным путем получены вязкостно-температурные характеристики этиловых эфиров растительных масел, которые позволили определить расчетные зависимости изменения вязкости смесевых топлив при различном процентном содержании этиловых эфиров и температуры смесевого топлива.

Установлено, что смесевые топлива на базе этиловых эфиров имеют более высокие значения кинематической вязкости, которые в 1,5 ... 2,6 раза превышают вязкость дизельного топлива. Это приводит к затруднению прокачиваемости топлива в зимний период эксплуатации.

На основании теории подобия и метода размерностей получен безразмерный критерий оптимизации смесевого состава биотоплива для эксплуатации средств транспорта. Критерий учитывает объемный расход топлива дизелем, количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, кинематическую вязкостью смесевого топлива и крутящий момент на коленчатом валу двигателя. Установлено оптимальное содержание этиловых эфиров различных масел в дизельном топливе, который для летнего периода эксплуатации не превышает 30%, а для зимней эксплуатации не более 10%.

Выполнена оценка топливной экономичности автомобиля ЗИЛ 5301 "Бычок" при эксплуатации на оптимальных смесевых составах топлива по магистральным и городским ездовыми циклам.

Получены зависимости среднего расхода топлива автомобилем от массы груза и типа смесевых топлив для зимнего и летнего периода эксплуатации,

которые аппроксимированы общим регрессионным уравнением. Уравнение позволяет выполнить прогноз расхода топлива автомобилем при применении смесевых топлив на базе этиловых эфиров, а также разработать нормативные показатели по расходу смесевых топлив для зимнего и летнего периода эксплуатации, что составляет практическую значимость этой работы.

Получены зависимости изменения коэффициента фильтрации, цикловой подачи топлива насосными секциями топливных насосов высокого давления с разной степенью износа, проходного сечения отверстий распылителей форсунок от времени наработки в двигателях, сроки замены моторного масла для различных типов смесевых топлив. На базе полученных зависимостей предложена расчетная формула корректировки сроков технического обслуживания с учетом содержания этиловых эфиров растительных масел в дизельном топливе.

Ключевые слова: техническая эксплуатация, биодизель, средства транспорта, метиловые эфиры растительных масел, этиловые эфиры растительных масел, смесевые виды топлива, эффективная мощность, удельный расход топлива, экологические показатели.

## ABSTRACT

**Karnaukh M.V.** Expanding the fuel base by using ethyl esters of vegetable oils – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the scientific degree of the candidate of technical sciences (PhD) in specialty 05.22.20 "Operation and repair of means of transport" (274 – Automobile transport). – Kharkiv National Technical University of Agriculture named after P.Vasylenko, Ukraine, Kharkiv, 2018.

The thesis presents a solution for an actual scientific and practical task – expanding the fuel base for the exploitation of transport means by application of ethyl esters of vegetable oils predicting reliability of the fuel system elements. A structural analysis demonstrates how reliable is the fuel system of the diesel engine of the means of transport. Mathematical expressions were obtained for determining the probability of fail-safe operation of the fuel system using different types of fuel. As a result of using the developed mathematical apparatus we obtained dependencies that allow us to determine the degree of influence of different types of biofuels on the reliability indicators of the fuel system. Experimental way resulted in obtaining dependences of effective power and specific fuel consumption when using mixed fuels based on ethyl esters of rapeseed, sunflower and soybean oils. The dependence of the reduction of harmful substances emissions into the atmosphere in the exhaust gases by using different types of mixed fuels was stated. On the basis of the obtained dependences, a formula for adjusting the maintenance period is offered taking into account the content of ethyl esters of vegetable oils in diesel fuel.

Key words: technical exploitation, biodiesel, transport means, methyl esters of vegetable oils, ethyl esters of vegetable oils, mixed fuels, effective power, specific fuel consumption, ecological indicators.