

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Колобов Костянтин Сергійович**



УДК 629.331:669.018

**УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ  
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ**

Спеціальність 05.22.20 — Експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у державному підприємстві «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут» (ДП «ДержавтотрансНДІпроект»), м. Київ.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент  
**Жерновий Анатолій Сергійович**

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Поляков Андрій Павлович,**  
Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця,  
професор кафедри "Автомобілі та транспортний менеджмент";

кандидат технічних наук, доцент  
**Бешун Олексій Анатолійович,**  
Національний університет біоресурсів і природокористування,  
м. Київ,  
доцент кафедри "Трактори, автомобілі та біоенергосистеми".

Захист відбудеться "22" листопада 2019 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.03 в Національному транспортному університеті за адресою: 01010, м. Київ, вул. Омеляновича-Павленка, 1, аудиторія 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий "18" жовтня 2019 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



С.В.Ковбасенко

## **ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ**

**Актуальність теми.** Відомо, що ефективність експлуатації колісних транспортних засобів (КТЗ), яка визначається сучасними вимогами до паливної економічності, екологічної безпеки та зменшенням простоїв транспорту, у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ), насамперед, дизелів. Для активного впливу на технічний стан ДВЗ необхідна об'єктивна інформація, яка забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних методів та технічних засобів.

Проведений аналіз методів, способів та засобів діагностування ДВЗ показав їх велику розмаїтість, складність і високу вартість при реалізації в умовах експлуатації. А умови експлуатації КТЗ визначають необхідність вибору такого способу (методу та засобу) діагностування, який би забезпечував із заданою точністю експрес-діагностування технічного стану ДВЗ безпосередньо на КТЗ за допомогою автономних та не складних засобів технічного діагностування без застосування складних навантажувальних стендів.

Раніше проведені дослідження по використанню температури відпрацьованих газів (ВГ) у якості діагностичного параметра засвідчили, що він є одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних параметрів. Але, недоліки відомих способів та засобів вимірювання температури ВГ не дозволяють визначити з необхідною точністю та швидкістю технічний стан дизеля при експрес-діагностуванні в умовах експлуатації.

Тому, актуальність даної роботи полягає в удосконаленні способу експрес-діагностування транспортних дизелів в режимі холостого ходу (х.х.) за температурою ВГ застосуванням вимірювального засобу з високою швидкодією, що дозволить покращити інформативність, спростити процес діагностування технічного стану двигунів і підвищити ефективність експлуатації КТЗ.

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

Робота виконана згідно плану наукових робіт державного підприємства «Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут»: за темою «Дослідження та розроблення рекомендацій щодо зменшення питомого споживання енергоносіїв автомобільним транспортом» на 2015-2016 роки державна реєстрація № 0115U006026, за темою «Дослідження впливу на викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря структури парку колісних транспортних засобів України» на 2015-2017 роки державна реєстрація № 0115U006027.

**Мета та задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів для підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються такі задачі:

1. Аналіз методів, способів і засобів діагностування дизелів.
2. Побудова моделі діагностування технічного стану дизелів.
3. Аналіз відомих способів реєстрації параметрів акустичного сигналу, конструкцій акустичних датчиків температури ВГ, придатних для цілей експрес-діагностування технічного стану дизелів, та розробка макетного зразка датчика.

4. Проведення стендових випробувань дизеля з оцінювання впливу технічного стану двигуна на температуру відпрацьованих газів, енергетичні, екологічні показники та паливну економічність.

5. Розроблення методики та програмованого технологічного процесу експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ з використанням акустичного датчика.

6. Визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля КТЗ за допомогою удосконаленого способу експрес-діагностування з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури ВГ та оцінювання ефективності від його впровадження.

**Об'єкт дослідження** - процес діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою ВГ з використанням фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань (ФАДТ з ПАРК).

**Предмет дослідження** - вплив технічного стану дизеля на температуру ВГ, енергетичні, економічні показники, димність та викиди ШР з ВГ.

**Методи дослідження.** Експериментальним методом досліджували вплив відмов механізмів та систем дизеля на температуру ВГ, енергетичні показники, паливну економічність, викиди ШР та димність ВГ дизеля, а також характеристики макетного зразка ФАДТ з ПАРК.

Розрахунковим методом визначали параметри ФАДТ з ПАРК для забезпечення удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів, економічну та екологічну ефективності від його впровадження в експлуатації.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Запропоновано для більш повного врахування в експлуатації реального стану двигуна, як об'єкта діагностування, окрім функціональних і логічних зв'язків між функціональними елементами дизеля враховувати ймовірності станів його систем та механізмів.

2. Запропоновано визначати роботоздатність дизелів при експрес-діагностуванні за миттєвими значеннями температурних імпульсів кожного циліндра на виході із випускної труби (патент України на корисну модель № 117911).

3. Вперше запропоновано нове застосування фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань у якості засобу діагностування для ДВЗ (патент України на корисну модель № 117912).

4. Встановлено необхідність коригувати отримані значення температурних імпульсів ВГ під час експрес-діагностування відповідно до температури повітря оточуючого середовища.

5. Уточнено розрахунки економічної та екологічної ефективності від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування врахуванням імовірностей появ відмов дизелів КТЗ.

#### **Практичне значення одержаних результатів складають:**

1. Методика побудови оптимізованого алгоритму експрес-діагностування дизеля на основі логіко-імовірнісної діагностичної моделі двигуна з використанням функції переваг.

2. Експериментальні дані стосовно впливу відмов механізмів і систем дизеля на його енергетичні, економічні показники, викиди шкідливих речовин та температуру відпрацьованих газів.

3. Рекомендації щодо розробки програмованого технологічного процесу та методики експрес-діагностування дизелів за температурою відпрацьованих газів з застосуванням ФАДТ.

4. Методика розрахунку коефіцієнта поправки значень температурних імпульсів ВГ в залежності від температури повітря оточуючого середовища.

5. Акустичний датчик миттєвої температури пульсуючих потоків газів (патент України на корисну модель № 117912).

6. Методики розрахунку економічної та екологічної ефективностей при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу експрес-діагностування дизелів КТЗ.

7. Результати досліджень прийняті до використання в ПАТ «АвтоКрАЗ» та ТОВ «Чернігівський автозавод».

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Роботи [9, 10, 17, 18, 21] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, автору належать: аналіз методів, способів та засобів діагностування двигунів внутрішнього згорання колісних транспортних засобів та обґрунтування вибору способу експрес-діагностування транспортних дизелів за температурою ВГ [2, 3, 11, 19], побудова та аналіз доцільної діагностичної моделі дизеля, вибір раціональної послідовності контролю діагностичних параметрів та побудова оптимізованого алгоритму діагностування при контролі роботоздатності дизелів КТЗ [4, 8, 12, 15], аналіз існуючих конструкцій акустичних датчиків температури, розробка і виготовлення макетного зразка ФАДТ з ПАРК та визначення його роботоздатності [1, 5, 6, 7, 13, 20], постановка задачі, та проведення експериментальних досліджень впливу відмов механізмів і систем дизеля на його енергетичні, економічні показники, викиди шкідливих речовин та температуру відпрацьованих газів [9, 10, 14], розробка методики та побудова технологічного процесу експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ в умовах експлуатації [16, 17, 18].

**Апробація результатів дисертації.** Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені у вигляді тез та доповідей на 2-х міжнародних конференціях: міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2012 р., м. Київ; 16-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука - образованию, производству, экономике», БНТУ, 2018, м. Мінськ та 7-ми науково-практичних конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету Міністерства освіти і науки України (м. Київ, 2007 – 2010, 2012, 2017, 2018 роки).

**Публікації.** Матеріали дисертаційної роботи опубліковано у 21 наукових працях, з яких 9 статей опубліковано у фахових виданнях України, 1 стаття в іноземних періодичних виданнях та 8-ми тезах науково-технічних конференцій.

П'ять наукових праць видано одноосібно. Отримано два патенти України на корисну модель (у співавторстві) і свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір.

**Обсяг і структура дисертації.** Робота складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 259 сторінок, включаючи 145 сторінок основного тексту, 27 таблиць, 97 рисунків, список використаних джерел зі 141 найменування та 6 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета, задачі, об'єкт і предмет дослідження, викладені наукова новизна, практичне значення, інформація про апробацію та публікацію основних положень дисертації.

**У першому розділі** проведено аналіз існуючих методів діагностування ДВЗ, способів їх реалізації та засобів діагностування. Встановлено, що існуючі методи діагностування ДВЗ мають велику розмаїтість і складність при реалізації в умовах експлуатації, особливо при експрес-діагностуванні дизелів, зокрема системи живлення паливом, технічний стан якої визначає їх економічні та екологічні показники, і відмови якої можуть досягати двох третин відмов двигуна.

Визначено, що одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних діагностичних параметрів є температура відпрацьованих газів ДВЗ. Використання методу діагностування за температурою ВГ для експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації потребує удосконалення способу його реалізації застосуванням засобу, який здатен з необхідною швидкістю та точністю визначати температуру ВГ. Реєструючи температуру ВГ за допомогою швидкодіючого засобу вимірювання на виході з випускної труби можна визначити технічний стан як двигуна в цілому, так і окремих його циліндрів, враховуючи що характер пульсації ВГ від кожного циліндра ДВЗ при проходженні повздовж випускної труби КТЗ зберігається, незважаючи на зменшення амплітуди температури імпульсів ВГ.

З проведеного аналізу існуючих способів та засобів швидкого вимірювання температури на виході з випускної труби КТЗ встановлено, що для цілей експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації найбільш відповідають акустичні датчики температури, а саме, ФАДТ з ПАРК, який забезпечує достатню точність та швидкодію вимірювання.

Відповідно до висновків по першому розділу встановлено мету, задачі та наведено загальну методику проведення досліджень.

**У другому розділі** розроблена діагностична модель дизеля, яка дозволила, на основі логіко-імовірнісної моделі обрати мінімальну і достатню кількість діагностичних параметрів для експрес-діагностування дизеля, а також, визначити послідовність їх контролю з використанням функції переваг ( $W$ ).

Для того, щоб модель найбільш повно відповідала реальному стану дизеля в експлуатації, крім функціональних і логічних зв'язків, враховувались ймовірності можливих станів його систем та механізмів і закономірності появи відмов за результатами статистичних даних підконтрольної експлуатації дизелів Ярославського моторного заводу, встановлених на автомобілях МАЗ і КрАЗ.

Встановлено, що потоки відмов дизелів КТЗ є ординарними, тому можна припустити, що кількість нероботоздатних станів визначається кількістю систем та механізмів -  $N$ , тобто кожен функціональний елемент (ФЕ) моделі (рис. 1) може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - роботоздатному і нероботоздатному. А вихідні сигнали кожного ФЕ - це можливе число перевірок.

ФЕ, їхні вихідні сигнали та імовірності безвідмовної роботи є основою складання логіко-імовірнісної математичної моделі дизеля у вигляді матриці станів (табл. 1), що встановлює зв'язок між безліччю станів ФЕ ( $S$ ) з урахуванням їхніх ймовірностей, безліччю можливих перевірок (діагностичних параметрів) ( $Y$ ) та безліччю наслідків цих перевірок.

Матриця станів є вихідною інформацією при побудові мінімального діагностичного тесту для контролю роботоздатності об'єкта діагностування.

Побудована матриця (табл. 1) містить 19 рядків (рівних числу ФЕ), що позначають нероботоздатний стан ( $S_i$ ) - "0" і одну (верхню), що відповідає роботоздатному стану функціональних елементів ( $S_0$ ), коли всі діагностичні параметри ( $Y_j$ ) мають допустимі значення - "1", при допустимих значеннях усіх зовнішніх вхідних впливів.

Стовпці матриці станів позначають результати перевірок ( $Y_j$ ), рівних числу вихідних сигналів ФЕ, а останній стовпець містить обчислені ймовірності  $i$ -го стану моделі  $P(S_i)$ :

$$P(S_i) = [1 - P(S_0)] \cdot (1 - P_i) / \sum_{j=1}^n (1 - P_j), \quad (1)$$

де  $P(S_0)$  - імовірність безвідмовної роботи об'єкта діагностики,

$$P(S_0) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2)$$

$P_i$  - імовірність безвідмовної роботи ФЕ; причому:

$$\sum_{i=0}^n P(S_i) = 1. \quad (3)$$

Для перевірки роботоздатності дизеля необхідно одержати інформацію про стан усіх ФЕ, тому визначення мінімальної кількості діагностичних параметрів полягає у пошуку мінімальної кількості стовпців матриці станів, які заповнюють нулями всі рядки (крім  $S_0$ , що відповідає роботоздатному стану).

В результаті із 19 параметрів визначено лише два параметра, необхідних та достатніх для контролю роботоздатності дизелів КТЗ (температура та димність ВГ).

Для реалізації раціонального процесу послідовності перевірки роботоздатності дизеля, матриця станів транспонується в матрицю (табл. 2), стовпці і рядки якої міняються місцями, а останній стовпець цієї матриці містить обчислені функції переваги виходячи з ймовірності станів  $P(S_i)$ :

$$W = \max \sum P(S_i) "0", \quad (4)$$

де  $\sum P(S_i) "0"$  - сума ймовірностей станів для нулів у кожному рядку.

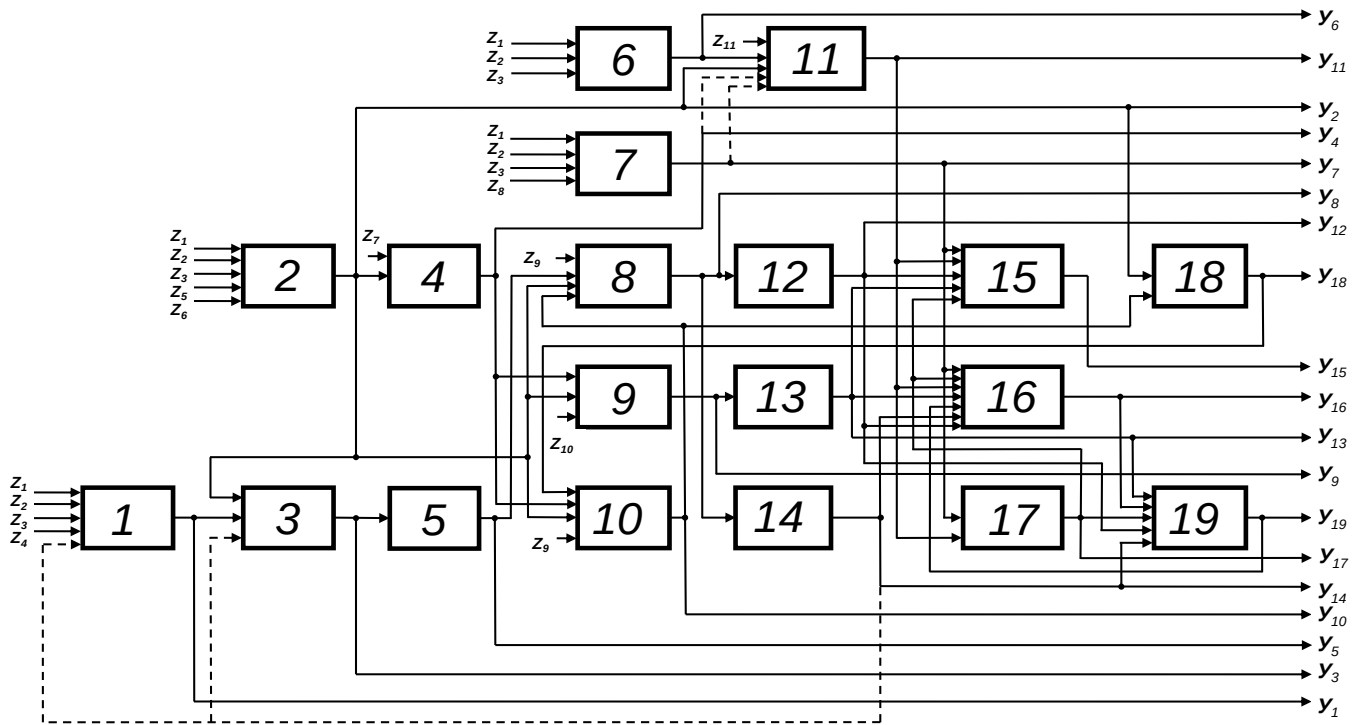


Рисунок 1 – Функціонально-логічна модель дизеля: 1 - паливний бак; 2 - пусковий пристрій; 3 – паливо підкачуючий насос; 4 - система мащення; 5 - паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 - система охолодження; 8, 9, 10 - ФЕ паливного насосу високого тиску; 11 – механізм газорозподілу (МГР); 12, 13, 14 - форсунки; 15 - 19 – циліндро-поршнева група та кривошипно-шатунний механізм;  $z_1, z_2, z_3$  – величини тиску, температури і вологості навколишнього середовища;  $z_4$  - кількість палива;  $z_5, z_6$  – величина напруги і струму акумулятора;  $z_7, z_8$  - рівень оливи і охолодної рідини;  $z_9$  - положення важеля керування паливом;  $z_{10}$  - кут випередження впорскування;  $z_{11}$  – зазор у МГР

Таблиця 1 - Матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями

| $y_j \backslash S_i$ | $y_1$ | $y_2$ | $y_3$ | $y_4$ | $y_5$ | $y_6$ | $y_7$ | $y_8$ | $y_9$ | $y_{10}$ | $y_{11}$ | $y_{12}$ | $y_{13}$ | $y_{14}$ | $y_{15}$ | $y_{16}$ | $y_{17}$ | $y_{18}$ | $y_{19}$ | $P(S_i)$ |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| $S_0$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0,2832   |
| $S_1$                | 0     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0770   |
| $S_2$                | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0,0237   |
| $S_3$                | 1     | 1     | 0     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0178   |
| $S_4$                | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0,0237   |
| $S_5$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0178   |
| $S_6$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0,0770   |
| $S_7$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0,0237   |
| $S_8$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0118   |
| $S_9$                | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0355   |
| $S_{10}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0,0474   |
| $S_{11}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0,0474   |
| $S_{12}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0237   |
| $S_{13}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0296   |
| $S_{14}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0178   |
| $S_{15}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0,0474   |
| $S_{16}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0474   |
| $S_{17}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0,0415   |
| $S_{18}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 1     | 0        | 1        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0,0415   |
| $S_{19}$             | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 0,0652   |



Таблиця 2 - Транспонована матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями  $P(s_i)$  і функціями переваг  $W$

| $y_j \backslash s_i$ | $s_1$  | $s_2$  | $s_3$  | $s_4$  | $s_5$  | $s_6$  | $s_7$  | $s_8$  | $s_9$  | $s_{10}$ | $s_{11}$ | $s_{12}$ | $s_{13}$ | $s_{14}$ | $s_{15}$ | $s_{16}$ | $s_{17}$ | $s_{18}$ | $s_{19}$ | $s_0$  | $W$   |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------|-------|
| $y_1$                | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,077 |
| $y_2$                | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,024 |
| $y_3$                | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,116 |
| $y_4$                | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,047 |
| $y_5$                | 0      | 0      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,136 |
| $y_6$                | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,077 |
| $y_7$                | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,136 |
| $y_8$                | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 1      | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,261 |
| $y_9$                | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,083 |
| $y_{10}$             | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,136 |
| $y_{11}$             | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,148 |
| $y_{12}$             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 1      | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,284 |
| $y_{13}$             | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0      | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1      | 0,113 |
| $y_{14}$             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 1      | 1      | 0      | 1      | 0        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,279 |
| $y_{15}$             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,545 |
| $y_{16}$             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1      | 0,669 |
| $y_{17}$             | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 0      | 0      | 1      | 1      | 1        | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1        | 1      | 0,213 |
| $y_{18}$             | 1      | 0      | 1      | 0      | 1      | 1      | 1      | 1      | 1      | 0        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 1        | 0        | 1        | 1      | 0,136 |
| $y_{19}$             | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1        | 0        | 0        | 0        | 0        | 1      | 0,669 |
| $P(s_i)$             | 0,0770 | 0,0237 | 0,0178 | 0,0237 | 0,0178 | 0,0770 | 0,0237 | 0,0118 | 0,0355 | 0,0474   | 0,0474   | 0,0237   | 0,0296   | 0,0178   | 0,0474   | 0,0474   | 0,0415   | 0,0415   | 0,0652   | 0,2832 |       |

|                                                                                                                                        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $s_1 v s_2 v s_3 v s_4 v s_5 v s_6 v s_7 v s_8 v s_9 v s_{10} v s_{11} v s_{12} v s_{13} v s_{14} v s_{16} v s_{17} v s_{18} v s_{19}$ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

|                      |  |  |  |          |        |       |
|----------------------|--|--|--|----------|--------|-------|
| $y_j \backslash s_i$ |  |  |  | $s_{15}$ | $s_0$  | $W$   |
| $y_{15}$             |  |  |  | 0        | 1      | 0,545 |
| $P(s_i)$             |  |  |  | 0,0474   | 0,2832 |       |

За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів побудовано оптимізований алгоритм діагностування при контролі працездатності дизелів колісних транспортних засобів (рис. 2), який вказує, що при перевірці працездатності дизеля необхідно і достатньо здійснити контроль лише двох параметрів – температури ( $Y_{16}$ ) і димності ( $Y_{15}$ ) відпрацьованих газів. Причому, з урахуванням максимального значення функції переваги першим контролюється температура, а потім димність відпрацьованих газів дизеля.

Якщо обидва ці параметри відповідають нормативним значенням, то дизель перебуває у роботоздатному стані. А якщо хоч один із контрольованих параметрів не відповідає нормативу, то дизель - у нероботоздатному стані.

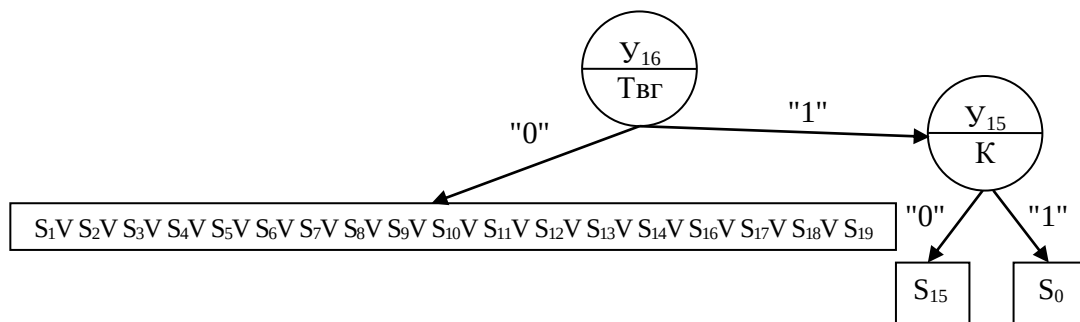


Рисунок 2 - Оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизеля

У третьому розділі проведено обґрунтування вибору фазоакустичного датчика температури ВГ з проточним акустичним резонатором коливань, представлено аналіз основних характеристик та розрахунків його технічних параметрів, а також результати оцінювання метрологічних характеристик.

Встановлено, що для забезпечення діагностування дизелів окремо по циліндрах необхідно реєструвати температуру ВГ на вихідному зрізі випускної

труби з частотою не нижче періоду повного циклу ( $T_u$ ) роботи двигуна:

$$T_u = \frac{30 \cdot \tau}{n \cdot i}, \quad (5)$$

де  $\tau$  - тактність двигуна;

$i$  - число циліндрів;

$n$  - частота обертання вала двигуна.

Так, на прикладі дизеля КамАЗ, визначено, що для максимально можливої частоти обертання вала дизеля в режимі х.х. ( $2850 \text{ хв}^{-1}$ ) та 8-ми циліндрів мінімальний період дорівнює  $0,0053 \text{ с}$ .

Аналіз засобів вимірювання температури показав, що таку швидкодію може забезпечити акустичний датчик температури (акустичний термометр).

Принцип дії акустичного датчика засновано на зв'язку швидкості звуку в газі з температурою, який для ідеального газу визначається наступним рівнянням:

$$c = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T} = \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot T}{M}}, \quad (6)$$

де  $c$  - швидкість звуку в газі;

$g$  - прискорення сили тяжіння;

$R$  - універсальна газова стала;

$T$  - температура газу;

$k = \frac{C_p}{C_v}$  – показник адіабати;

$M$  – молярна маса газу.

У сумішах газів, якими є відпрацьовані гази, швидкість поширення звуку залежить від концентрації компонентів:

$$c = \sqrt{\frac{R \cdot T}{\sum x_i \cdot M_i} \cdot \frac{\sum x_i \cdot C_{p_i}}{\sum x_i \cdot C_{v_i}}}, \quad (7)$$

де  $x_i$  – відносна концентрація  $i$ -го компонента газу.

Рівняння перетворення акустичного термометра, у випадку реального газу, приймає вигляд:

$$T = \frac{c^2 \cdot \sum x_i \cdot M_i}{R} \cdot \frac{\sum x_i \cdot C_{v_i}}{\sum x_i \cdot C_{p_i}}. \quad (8)$$

Наявність квадратного кореня свідчить про нелінійність залежності швидкості звуку від температури, але у визначеному для цілей експрес-діагностування температурному діапазоні ( $50 - 200^\circ\text{C}$ ) вона не впливає на похибку вимірювання. Крім того, відомо, що на величину показника адіабати  $k$  впливає коливання складу коефіцієнта надміру повітря  $\alpha$  і наявність часточок сажі у ВГ дизеля, але зміна  $\alpha$  (зміна від 1 до  $\infty$  призводить до 1,7% похибки вимірювання) та часточок сажі (зміна від 0 до  $1,8 \text{ г/м}^3$  призводить до 0,001% похибки вимірювання) в режимі х.х. дизеля практично не призводять до зміни  $k$ , тому він може бути прийнятий сталим.

Вимірювання температури відпрацьованих газів за допомогою ФАДТ з ПАРК (рис. 3) базується на залежності частоти власних коливань газів у резонаторі від температури цих газів ( $f = f(T)$ ) і полягає у тому, що генератор електричних коливань 1 виробляє збуджуючі електричні коливання з частотою  $f_{зб}$ , які, через

підсилювач коливань 2, подаються до ФАДТ 3 та фазового дискримінатора 5. У ФАДТ збуджуючі електричні коливання перетворюються в акустичні коливання, проходять через потік відпрацьованих газів та потрапляють до приймача акустичних коливань датчика 3, який перетворює їх у вимушені електричні коливання з частотою  $f_e$  та подає далі через підсилювач 4 до фазового дискримінатора 5. Фазовий дискримінатор 5 порівнює фази  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$  отриманих збуджуючих  $f_{зб}$  ( $\varphi_1$ ) та вимушених  $f_e$  ( $\varphi_2$ ) електричних коливань і виробляє сигнал, пропорційний зсуву фаз  $\Delta\varphi$  між ними. Зсув фаз  $\Delta\varphi$  та сигнал, що видає фазовий дискримінатор, змінюються пропорційно зміні температури ВГ, що ґрунтується на залежності частоти  $f_0$  власних коливань ВГ у фазоакустичному датчику від температури цих газів.

Оскільки частота збуджуючих коливань є постійною, то змінюється тільки частота власних коливань. Ця зміна пояснюється наступним рівнянням:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{\sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T}}{\lambda}, \quad (9)$$

де  $f$  – частота звукових коливань;

$\lambda$  – довжина звукової хвилі.

Основними конструктивними параметрами ПАРК (рис. 3) є відстань між резонуючими стінками  $L_R$  резонатора та довжина звуководів  $l_{зв}$ . Розміри вхідного та вихідного трубопроводів для відпрацьованих газів обирали з урахуванням забезпечення вільного проходу відпрацьованих газів, і тому приймали наближеними до діаметру випускної труби транспортного засобу.

За результатами аналізу будови існуючих конструкцій акустичних датчиків температури і їх характеристик, складено принципову схему акустичного датчика (рис. 4), а за результатами розрахунків виготовлено макетний зразок ФАДТ з ПАРК (рис. 5), характеристики якого наведено у таблиці 3. Також визначено залежності резонансної частоти вимушених акустичних коливань та їх зсуву фази від температури всередині резонатора ФАДТ (рис. 6 та 7 відповідно).

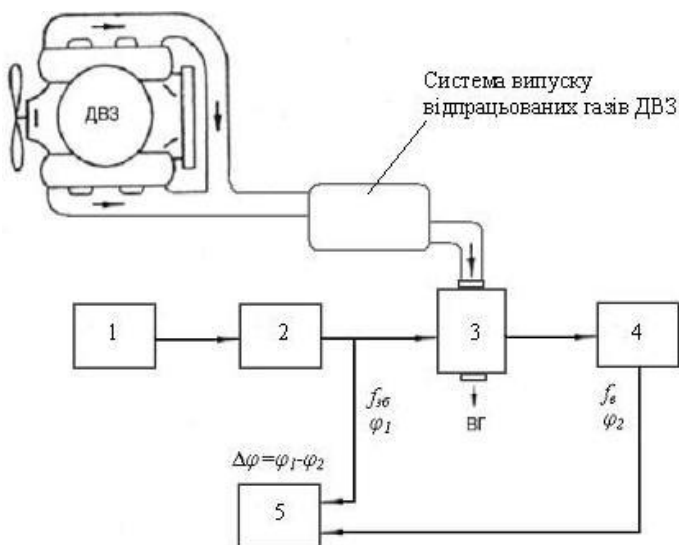


Рисунок 3 – Блок-схема вимірювання температури імпульсів ВГ ДВЗ за допомогою ФАДТ з ПАРК

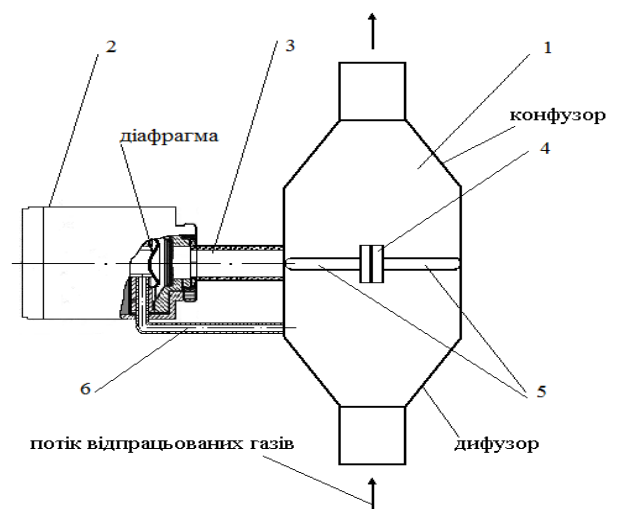


Рисунок 4 - Схема ФАДТ з ПАРК

1 – ПАРК; 2 - випромінювач акустичних коливань; 3 – звуківод; 4 – приймач; 5 - приймаючі звуководи; 6 - компенсуючий трубопровід



Рисунок 5 - Макетний зразок ФАДТ з ПАРК

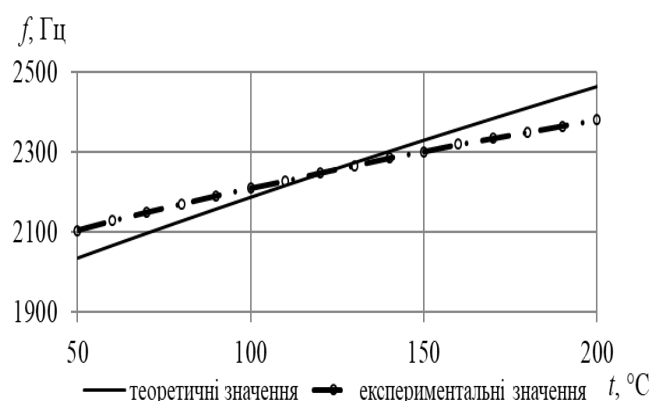


Рисунок 6 – Залежність резонансної частоти акустичних коливань від температури в ПАРК ФАДТ

Таблиця 3 – Основні технічні характеристики ФАДТ з ПАРК

|                                                           |              |
|-----------------------------------------------------------|--------------|
| Діапазон вимірювання температури відпрацьованих газів, °C | 50 – 200     |
| Відстань між стінками резонатора, мм                      | 177          |
| Живлення прилада                                          | 220 В, 50 Гц |
| Розширена невизначеність вимірювання, °C                  | 3,3          |
| Вага датчика, кг                                          | 7            |

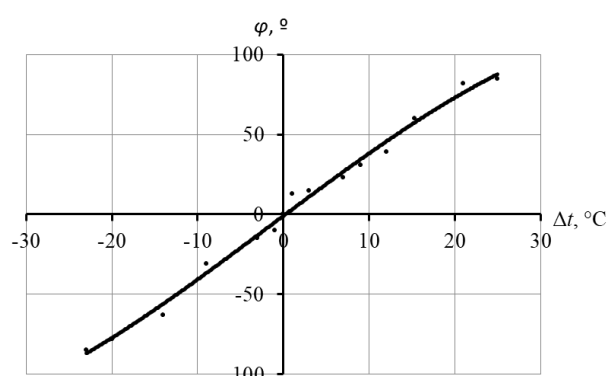


Рисунок 7 – Залежність зсуву фази акустичних коливань від температури газів

Згідно з результатами калібрування та розрахунків було визначено, що абсолютне значення середньоквадратичного відхилення середнього значення замірів  $\sigma_t$  не перевищує 1 °C, а розширена невизначеність  $U_p$  не перевищує 3,3 °C.

**У четвертому розділі** наведено мету, задачі, програму, об'єкт та результати експериментальних досліджень.

Метою експериментальних досліджень є: визначення впливу різних відмов та несправностей дизеля на його енергетичні, екологічні, економічні показники і на температуру відпрацьованих газів; отримання даних, необхідних для удосконалення способу експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ та розробки технологічного процесу; а також, перевірка робоздатності удосконаленого способу експрес-діагностування дизеля в умовах експлуатації.

**Об'єктом стендових досліджень** був серійний чотирициліндровий дизель моделі OM 615 виробництва фірми Mercedes-Benz з робочим об'ємом 1,988 л.

**Об'єктом досліджень в умовах експлуатації** був вантажний автомобіль ГАЗ-3309 з чотирициліндровим дизелем моделі Д-245.7Е2 з робочим об'ємом 4,75 л.

Випробування двигуна на моторному стенді, визначення та розрахунок його показників здійснювали відповідно до вимог Правил ООН №24-02 та Правил ООН №49-02. Під час випробування визначали енергетичні (ефективна потужність  $N_e$  та ефективний крутний момент двигуна  $M_k$ ), екологічні показники (концентрації у ВГ

та питомі викиди монооксиду вуглецю ( $CO$ ), загальних вуглеводнів ( $HC$ ), оксидів азоту ( $NO_x$ ), твердих частинок ( $PT$ ), димність ( $N$ )), а також температуру ( $t_{вг}$ ) ВГ.

Згідно з проведеним аналізом ймовірностей відмов систем та механізмів дизеля, а також їхнього впливу на температуру відпрацьованих газів, встановлено, що найбільше за все впливає на роботоздатність дизеля справність системи живлення паливом.

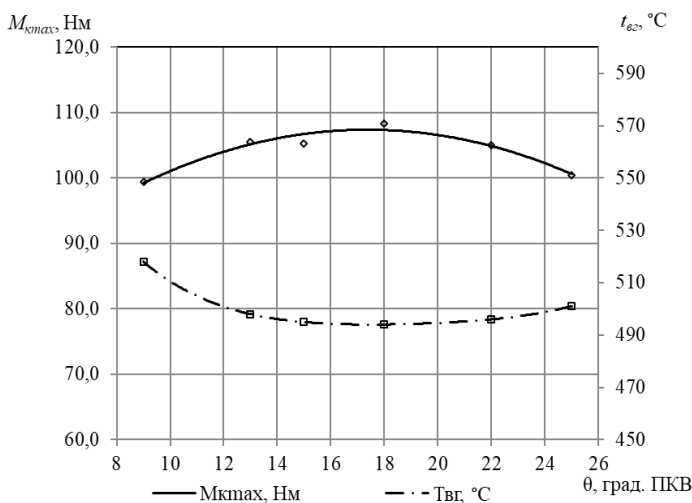
Імітування відмов та несправностей здійснювали шляхом зміни (регулювання) таких параметрів технічного стану дизеля (табл. 4): кут випередження впорскування палива  $\theta_{впр}$ ; подача палива ПНВТ  $Q_{нал}$ ; тиск початку впорскування палива форсункою  $P_{впр}$ .

Оцінювання впливу відмов на енергетичні, екологічні показники та температуру ВГ здійснювали в режимах максимальної потужності, максимального крутного моменту та в режимах холостого ходу двигуна. Загальну оцінку впливу відмов дизеля на його екологічні показники здійснювали шляхом визначення питомих викидів шкідливих речовин при випробовуванні за циклом Правил ООН №49-02.

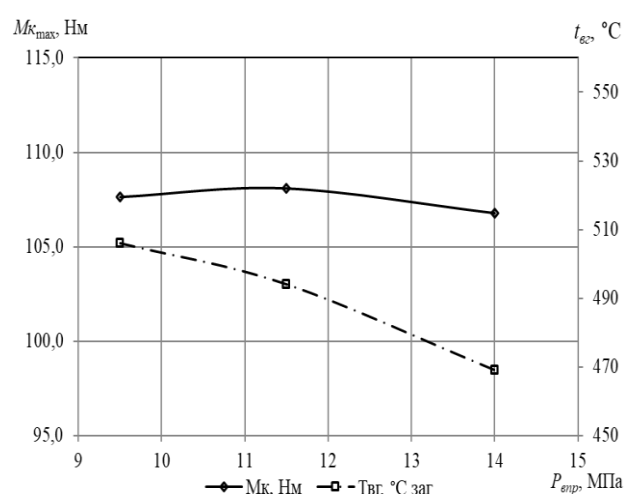
Результати експериментальних досліджень в навантажувальних режимах роботи дизеля, які наведено на рис. 8 та 9, підтвердили вплив  $\theta_{впр}$ ,  $Q_{нал}$  та  $P_{впр}$  на енергетичні, екологічні показники, паливну економічність, та підтвердили їх зв'язок з температурою ВГ.

Таблиця 4 – Параметри технічного стану, процес випробування та вихідні показники дизеля при експериментальному дослідженні

| Параметри технічного стану               | Процес випробування                                                     | Вихідні показники                                                                            |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\theta_{впр}$<br>$P_{впр}$<br>$Q_{нал}$ | Стационарний<br>13-ти режимний<br>випробувальний цикл Правил<br>ООН №49 | $N_e$<br>$M_k$<br>$G_{нал}$<br>$g_e$<br>$CO$<br>$HC$<br>$NO_x$<br>$PT$<br>$N(K)$<br>$t_{вг}$ |



а



б

Рисунок 8 - Залежність  $M_{kmax}$  та  $t_{вг}$  дизеля від  $\theta_{впр}$  (а) та  $P_{впр}$  (б)

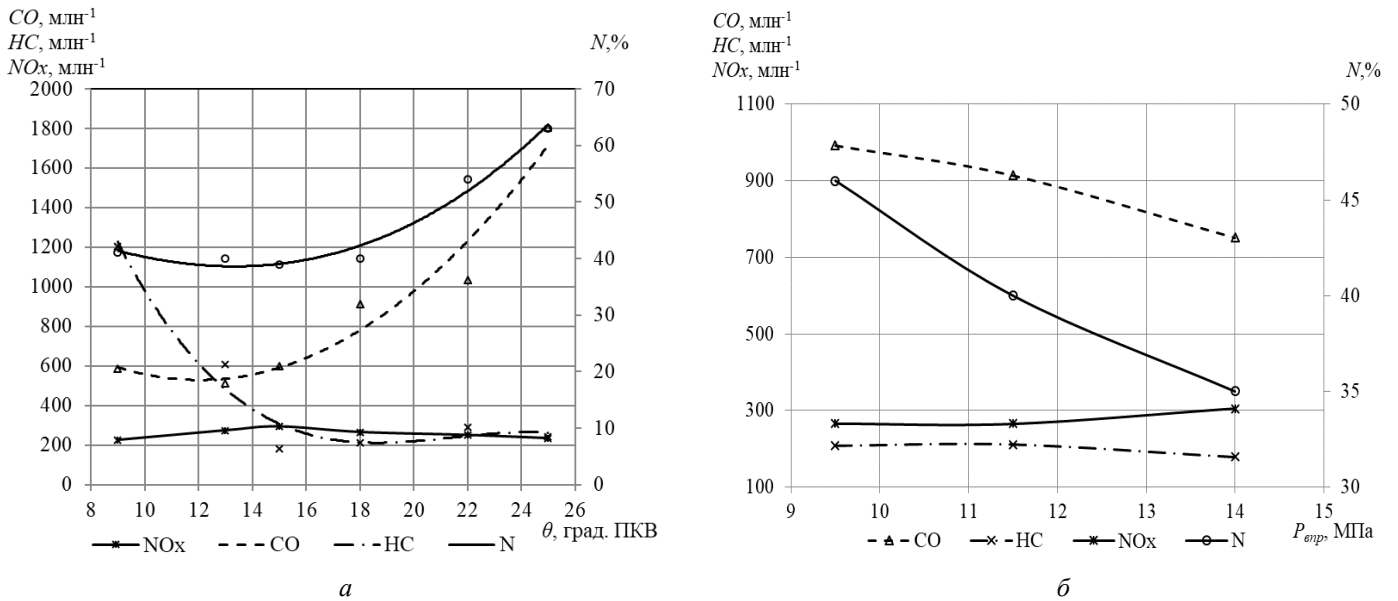


Рисунок 9 - Залежність концентрацій ШР у ВГ дизеля в режимі  $M_{кmax}$  від  $\theta_{впр}$  (a) та  $P_{впр}$  (б)

Результати наведені на рис. 10, 11 та 12 доводять можливість експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ в режимах х.х. двигуна.

В режимі мінімальної частоти обертання х.х. двигуна ( $n_{xx \min}$ ) температура ВГ збільшується (рис. 10 a), як при збільшенні, так і при зменшенні кута випередження впорскування палива. Концентрації оксиду вуглецю (CO), вуглеводнів (HC) та димність ВГ (N) при збільшенні кута випередження впорскування палива не змінюються, а при зменшенні кута випередження впорскування палива значно збільшуються. Концентрації оксидів азоту ( $NO_x$ ) збільшуються при збільшенні кута випередження впорскування палива та зменшуються при його зменшенні за майже лінійною залежністю.

При відхиленнях тиску впорскування (рис. 10 б), як в більшу сторону так і в меншу, концентрації у ВГ CO та HC збільшуються, а  $NO_x$ , навпаки зменшуються. Димність ВГ змінювалася в межах похибки вимірювання, а температура відпрацьованих газів має тенденцію до зменшення при підвищенні  $P_{впр}$ .

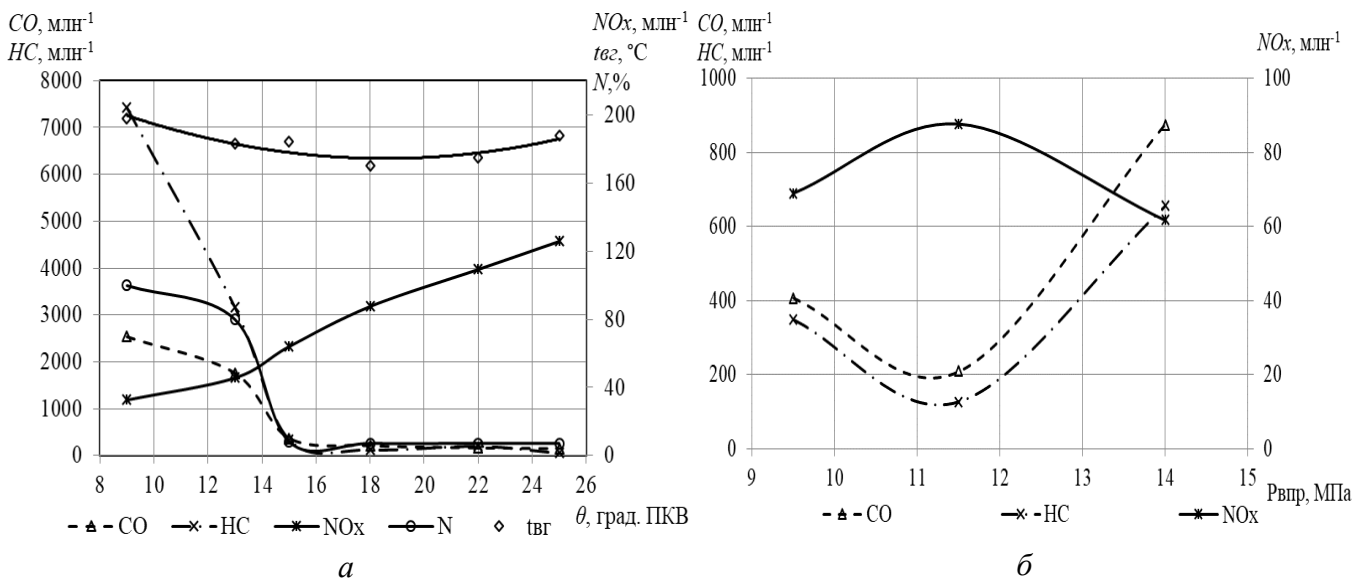


Рисунок 10 - Залежність концентрацій ШР у ВГ та  $t_{вг}$  дизеля в режимі  $n_{xx \min}$  двигуна від  $\theta_{впр}$  (a) та  $P_{впр}$  (б)

Залежність температури ВГ в режимах х.х. від зміни  $\theta_{впр}$  та  $P_{впр}$  (рис. 11 та 12) свідчить про стабільність і інформативність цього діагностичного параметра.

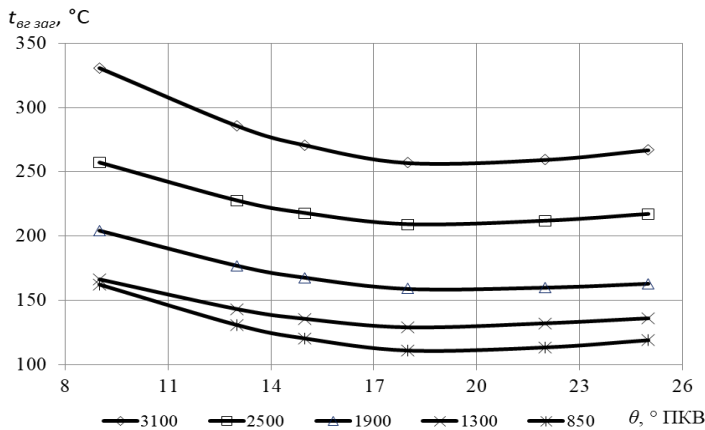


Рисунок 11 - Залежність  $t_{вг}$  в режимі холостого ходу дизеля від  $\theta_{впр}$

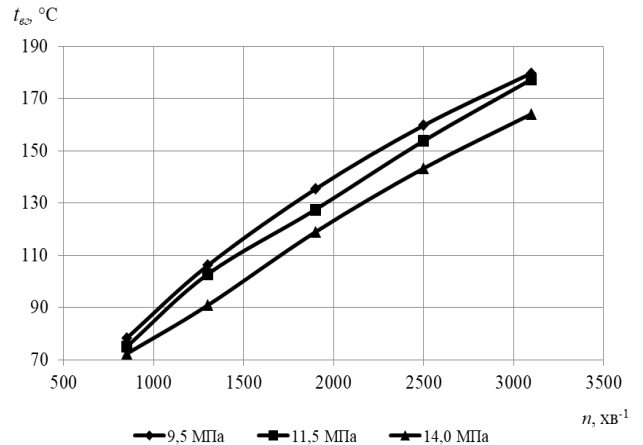


Рисунок 12 – Залежність  $t_{вг}$  дизеля в режимі холостого ходу, яка визначена за допомогою ФАДТ, від зміни  $P_{впр}$

Проведено випробування КТЗ з дизелем в умовах експлуатації, яке підтвердило роботоздатність удосконаленого способу експрес-діагностування дизелів та можливість визначення їх технічного стану окремо по циліндрах за допомогою ФАДТ з ПАРК.

Результати випробування наведені на рис. 13 та в таблиці 7 свідчать, що температура імпульсів ВГ при зменшенні тиску впорскування з 23,5 МПа до 13,5 МПа одного із циліндрів призводить до збільшення температури імпульса ВГ несправного циліндра, як в режимі  $n_{xx \min}$  так і в режимі  $n_{xx \max}$ , та вплив на  $t_{вг}$  інших циліндрів дизеля. Усереднене значення температури імпульсів ВГ за всіма циліндрами збільшується на 7,3 °C в режимі  $n_{xx \min}$  та на 6,3 °C в режимі  $n_{xx \max}$ , а значення температури імпульсів ВГ несправного циліндра є більшим по відношенню до середнього значення трьох інших циліндрів на 3 °C (3,9%) та 3,8 °C (2%) відповідно в режимі  $n_{xx \min}$  та в режимі  $n_{xx \max}$ . При цьому димність ВГ в режимі вільного прискорення, яка визначалась згідно з ДСТУ 4276:2004, збільшилася з 23 % до 33 %, та залишилася у межах нормативного значення, яке становить 72,5 % (3,0 м<sup>-1</sup>).

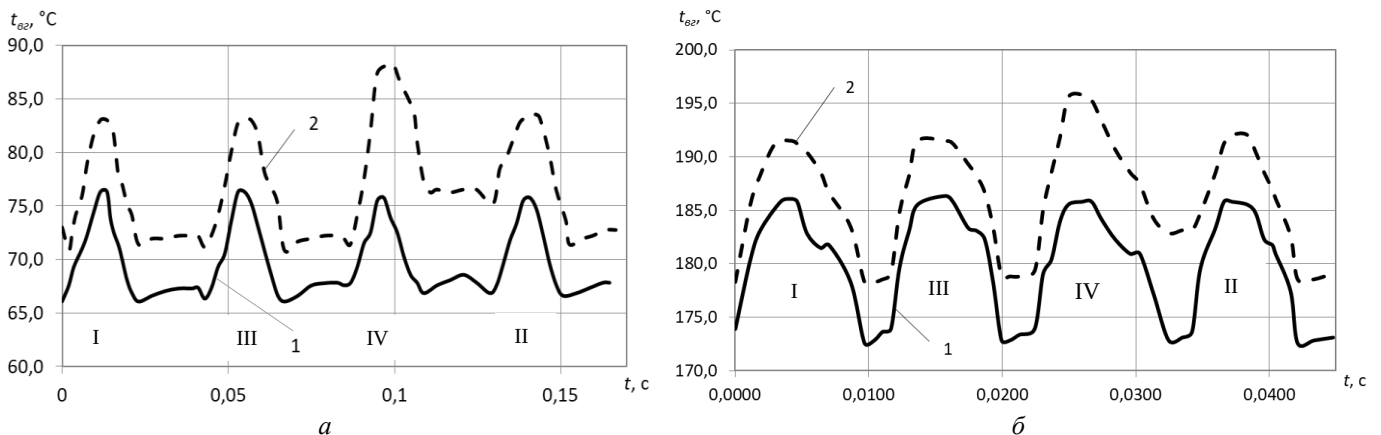


Рисунок 13 - Температура ВГ дизеля Д-245.7Е2 в режимах  $n_{xx \min}$  (а) та  $n_{xx \max}$  (б) на виході із випускної труби відповідно по I-му, III-му, IV-му, та II-му циліндрах двигуна.

1 – справний стан, 2 – при зниженому тиску впорскування у IV-му циліндрі дизеля



Результати випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 за допомогою ФАДТ в умовах експлуатації демонструють, що діагностування за температурою імпульсів ВГ окремо по циліндрах дизеля є більш інформативним ніж стандартизована процедура визначення технічного стану дизеля за димністю ВГ в режимі вільного прискорення.

Таблиця 7 – Результати визначення температури імпульсів ВГ окремо по циліндрах дизеля на виході з випускної труби КТЗ за допомогою ФАДТ

| Режим випробування                   | Частота збуджуючих коливань ФАДТ, Гц | Технічний стан дизеля | Температура імпульсів ВГ за циліндрами дизеля, °С |       |       |       | Усереднене значення температури ВГ, °С |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------|-------|-------|-------|----------------------------------------|
|                                      |                                      |                       | 1                                                 | 2     | 3     | 4     |                                        |
| $n_{xx \min} = 730 \text{ хв}^{-1}$  | 2147                                 | справний              | 69,9                                              | 70,1  | 70,1  | 70,0  | 70,0                                   |
|                                      | 2174                                 | несправний            | 76,0                                              | 77,4  | 76,1  | 79,5  | 77,3                                   |
| $n_{xx \max} = 2620 \text{ хв}^{-1}$ | 2350                                 | справний              | 179,4                                             | 180,4 | 179,9 | 180,5 | 180,1                                  |
|                                      | 2354                                 | несправний            | 184,9                                             | 186,1 | 185,4 | 189,3 | 186,4                                  |

Отримані результати підтверджують можливість визначення технічного стану дизеля в цілому, а також визначити (локалізувати) несправність в окремих циліндрах дизеля в режимах х.х. за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ на виході з випускної труби за допомогою ФАДТ з ПАРК.

У п'ятому розділі представлені результати аналізу виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, розробки технологічного процесу діагностування дизелів та рекомендацій щодо його впровадження в експлуатації, розрахунків економічної та екологічної ефективності удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.

На основі побудованого оптимізованого алгоритму діагностування розроблено програмований технологічний процес діагностування дизелів (рис. 14), схему діагностування КТЗ з дизелем при контролі роботоздатності (рис. 15) за допомогою ФАДТ та методику діагностування.

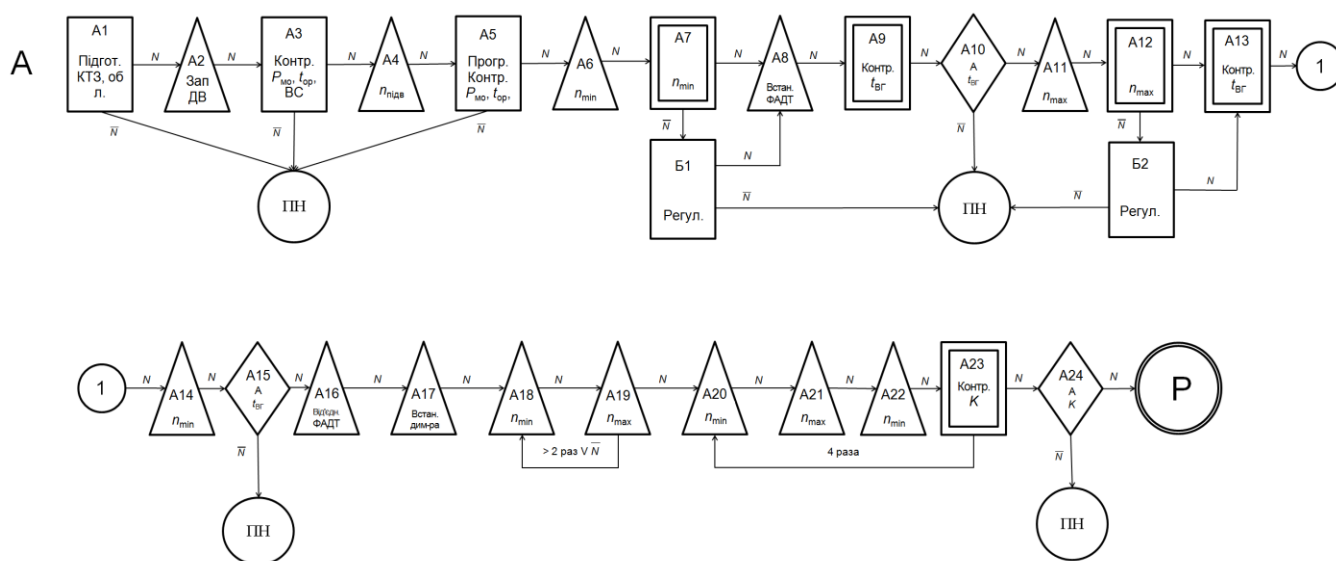


Рисунок 14 - Програма діагностування дизеля за температурою та димністю ВГ з метою встановлення технічного стану дизеля



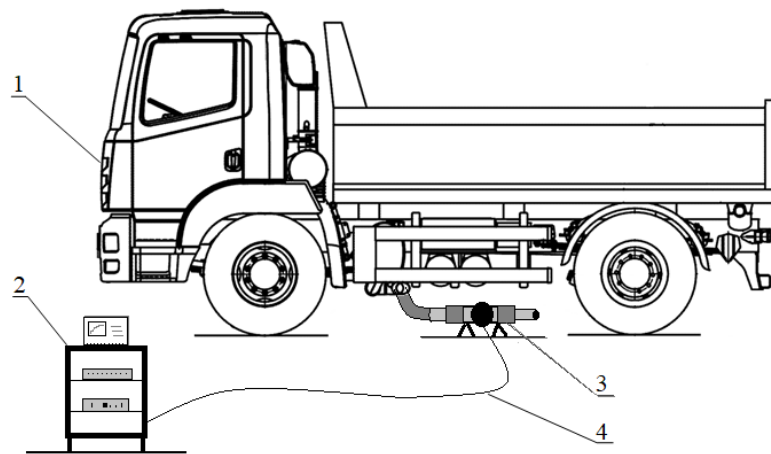


Рисунок 15 - Схема діагностування КТЗ з дизелем при контролі роботоздатності з використанням фазоакустичного датчика температури: 1 – КТЗ; 2 – стойка з обладнанням ФАДТ та комп'ютером з програмним забезпеченням; 3 – ФАДТ з ПАРК; 4 – кабель датчика

За результатами розрахунків встановили екологічні збитки за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та прогнозний термін окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану дизелів в експлуатації, який, для автопарку КТЗ у кількості 20 одиниць, складає – 3,3 місяці.

### ВИСНОВКИ

1. Актуальною є необхідність вибору, розробки і запровадження такого методу, способу та засобу діагностування, який би забезпечував в умовах експлуатації із завданою точністю швидке визначення технічного стану ДВЗ безпосередньо на КТЗ при звичайному функціонуванні за допомогою автономного та нескладного засобу технічного діагностування без використання навантажувального обладнання.

2. Аналіз розробленої діагностичної моделі дизеля дозволив визначити мінімальну, необхідну і достатню сукупність діагностичних параметрів, вибрати раціональну послідовність контролю цих параметрів та побудувати оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів КТЗ. Встановлено, що з 19 параметрів, які визначають технічний стан дизеля, необхідно та достатньо при перевірці роботоздатності здійснити контроль лише двох параметрів - температури ( $T_{BG}$ ) і димності ( $K$ ) відпрацьованих газів.

3. За результатами стендових випробувань дизеля Mercedes-Benz встановлено, що відхилення його технічного стану від номінальних значень експлуатаційних параметрів призводить до зміни температури ВГ та інших основних показників роботи, а також, визначено вплив відхилень налаштувань механізмів та систем дизеля на питомі викиди шкідливих речовин з ВГ за стандартизованою процедурою випробувань Правил ООН №49-02.

4. За результатами аналізу існуючих засобів вимірювання температури, для цілей експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації обґрунтовано вибір та розраховано фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань.

5. Встановлено, що при експрес-діагностуванні з ФАДТ необхідно коригувати значення температури (температурних імпульсів) ВГ дизеля в залежності від температури повітря оточуючого середовища. Вперше запропоновано методику розрахунку коефіцієнта поправки значень температурних імпульсів ВГ під час діагностування.

6. Запропонований в роботі спрощений розрахунок проточного акустичного резонатора коливань ФАДТ дозволяє розрахувати його конструктивні параметри в залежності від температури ВГ на виході з випускної труби, змін параметрів відпрацьованих газів при проходженні через випускний тракт, діаметру випускної труби дизелів тощо. За результатами калібрування ФАДТ встановлено, що абсолютне значення середньоквадратичного відхилення середнього значення замірів  $\sigma_t$  не перевищує  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а розширена невизначеність  $U_p$  не перевищує  $3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

7. Для визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля КТЗ за допомогою удосконаленого способу експрес-діагностування розроблено програмований технологічний процес та методику експрес-діагностування, а також проведено випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2, результати якого підтвердили можливість визначення в умовах експлуатації технічного стану як дизеля в цілому, так і окремих його циліндрів за допомогою ФАДТ з ПАРК в режимах холостого ходу.

8. Запропоновано враховувати ймовірності появу відмов дизелів КТЗ при розрахунках економічної та екологічної ефективностей від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування.

Розрахований прогнозний термін окупності витрат на виготовлення ФАДТ складає для автопарку КТЗ у кількості 20 одиниць – 3,3 місяці.

9. Результати експериментальних випробувань і розрахункових досліджень прийняті до використання в ПАТ «АвтоКрАЗ» та ТОВ «Чернігівський автозавод».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Публікації в наукових фахових виданнях**

1. Жерновий А.С. Аналіз та вибір засобу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Окремий випуск – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2004. – С. 147 – 149.

2. Жерновий А.С. Розробка та дослідження методу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Окремий випуск – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – С. 56 – 59.

3. Жерновий А.С. Нові методи та засоби діагностування двигунів внутрішнього згорання / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Вип. 3 – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2006. – С. 14 – 16.

4. Жерновий А.С. Розробка оптимізованого алгоритму діагностування при контролі працездатності дизельного двигуна КТЗ / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Вип. 4 – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2008. – С. 6 – 9.

5. Жерновий А.С. Розробка засобу реєстрації миттєвої температури відпрацьованих газів для експрес-діагностування дизелів / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Вісник Національного транспортного університету. Частина 2. Науково-технічний збірник. Вип. 21 – К. : НТУ, 2010. – С. 37 – 39.

6. Жерновий А.С. Вибір засобу експрес-діагностування дизелів / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Вип. 4 – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2011. – С. 10 – 12.

7. Колобов К.С. Дослідження конструкційних та газодинамічних параметрів фазоакустичного датчика температури відпрацьованих газів транспортних двигунів / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Вип. 5 – К.: ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2011. – С. 20 – 24.

8. Колобов К.С. Вибір діагностичних параметрів для експрес-діагностування дизелів. / А.С. Жерновий, О.Д. Климпуш, К.С. Колобов // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. Вип. 25 – К.: НТУ, 2012. – С. 175 – 178.

9. Колобов К.С. Дослідження впливу несправностей систем та механізмів дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів / К.С. Колобов // Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки», Том 29 (68). Ч.3. Вип. 1 – К.: ТНУ, 2018. – С. 103 – 108.

#### **Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав**

10. Колобов К.С. Вплив технічного стану дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів / К.С. Колобов // Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 13. Seria: Transport. Rzeszów 2018. S.23-30.

#### **Публікації апробаційного характеру**

11. Колобов К.С. Розробка методу експрес діагностування двигунів внутрішнього згоряння. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / 63 науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2007. – 440 с. С.52.

12. Колобов К.С. Розробка оптимізованого алгоритму діагностування при контролі працездатності дизельного двигуна на основі логіко-ймовірносної моделі. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету. - К: НТУ, 2008. – 464 с. С.59.

13. Колобов К.С. Розробка засобу експрес-діагностування двигунів колісних транспортних засобів. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2009. -440 с., С.57.

14. Колобов К.С. Створення експериментальної установки і розробка програми та методики експериментального дослідження фазоакустичного датчика температури. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXVI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2010. -446 с., С.70.

15. Колобов К.С. Розробка методу експрес-діагностування дизелів. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К: НТУ, 2012. -504 с., С.28.

16. Колобов К.С. Розробка методики експрес-діагностування дизеля. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2017. – 595с., С.51.

17. Колобов К.С. Програмований технологічний процес експрес-діагностування дизеля // Колобов К.С. / LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2018. – 564 с., С.47.

18. Колобов К.С. Экспресс-диагностика дизеля по температурным импульсам в выпускной системе. // К.С. Колобов / Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. - Минск: БНТУ, 2018. С. 78.

#### **Патенти на корисну модель**

19. Патент №117911 Україна, МПК G01M 15/04 (2006.01), G01M 15/10 (2006.01), «Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згоряння за температурою відпрацьованих газів» / А.С. Жерновий, К.С. Колобов / (Україна); Заявник і патентовласник: А.С. Жерновий, К.С. Колобов, Державний № u2017 01386; заяв. 14.02.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

20. Патент №117912 Україна, МПК G01K 11/22 (2006.01), G01K 11/24 (2006.01), «Акустичний датчик миттєвої температури пульсуючих потоків газів» / А.С. Жерновий, К.С. Колобов / (Україна); Заявник і патентовласник: А.С. Жерновий, К.С. Колобов, Державний № u2017 01387; заяв. 14.02.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. № 13.

#### **Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір**

21. Стаття «Дослідження впливу несправностей систем та механізмів дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів» / К.С. Колобов // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 83350 від 30.11.2018.

### **АНОТАЦІЯ**

**Колобов К.С. Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів.** - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». - Національний транспортний університет, Київ, 2019.

Дисертація присвячена підвищенню ефективності експлуатації колісних транспортних засобів удосконаленням способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою відпрацьованих газів застосуванням фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань.

Розроблена методика побудови оптимізованого алгоритму діагностування на основі логіко-імовірнісної діагностичної моделі дизеля з використанням функції переваг, яка дозволяє визначити мінімальну і достатню сукупність діагностичних параметрів і вибрати раціональну послідовність їх контролю.

Для реалізації мети та задач досліджень обрано фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань, який найбільше відповідає цілям реєстрації температури відпрацьованих газів КТЗ.

Експериментально доведено, що температура ВГ в режимах холостого ходу двигуна є стабільним та інформативним показником, який дозволяє в експлуатації діагностувати технічний стан дизеля, а також визначити несправність в окремому циліндрі за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ на виході з випускної труби за допомогою ФАДТ з ПАРК.

Підтверджено достовірність визначеної за допомогою розробленої логіко-імовірнісної діагностичної моделі мінімальної кількості необхідних та достатніх діагностичних параметрів, якими є температура та димність ВГ. Визначено режими діагностування дизеля, розроблено методику та технологічний процес діагностування. Роботоздатність удосконаленого способу експрес-діагностування підтверджено випробуванням автомобіля з дизелем в експлуатації.

**Ключові слова:** технічний стан, діагностичний параметр, діагностична модель, дизель, температура, фазоакустичний датчик температури, експрес-діагностування.

## АННОТАЦИЯ

**Колобов К.С. Усовершенствование способа экспресс-диагностирования технического состояния транспортных дизелей.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 - «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». - Национальный транспортный университет. - Киев, 2019.

Диссертация посвящена повышению эффективности эксплуатации колесных транспортных средств усовершенствованием способа экспресс-диагностики технического состояния транспортных дизелей по температуре отработавших газов применением фазоакустического датчика температуры с проточным акустическим резонатором колебаний.

Разработана методика построения оптимизированного алгоритма диагностирования на основе логико-вероятностной диагностической модели дизеля с использованием функции преимуществ, которая позволяет определить минимальную и достаточную совокупность диагностических параметров и выбрать рациональную последовательность их контроля. Установлено, что из 19 параметров, определяющих техническое состояние дизеля, необходимо и достаточно при проверке работоспособности осуществить контроль только двух параметров - температуры ( $T_{ВГ}$ ) и дымности ( $K$ ) отработавших газов.

Для реализации цели и задач исследований выбран фазоакустический датчик температуры с проточным акустическим резонатором колебаний, который по результатам исследований наиболее соответствует целям регистрации быстроизменяемой температуры отработавших газов на выходе из выпускной трубы КТС. По выбранному типу датчика температуры составлена блок-схема измерения мгновенной температуры отработавших газов, разработан и изготовлен макетный образец акустического датчика.

Проведенные стендовые экспериментальные исследования дизеля позволили определить влияние характерных неисправностей его системы питания топливом на энергетические, экологические показатели, топливную экономичность и температуру отработавших газов. Доказано, что температура ОГ в режимах

холостого хода двигателя является стабильным и информативным диагностическим параметром, который позволяет диагностировать в условиях эксплуатации техническое состояние дизеля в целом, а также определить (локализовать) неисправность в отдельном его цилиндре по мгновенным значениям температуры импульсов ОГ на выходе из выпускной трубы с помощью ФАДТ с ПАРК.

На основе экспериментальных исследований определены режимы диагностирования дизеля, разработана методика и технологический процесс диагностирования, а также, рекомендации по внедрению усовершенствованного способа экспресс-диагностирования в эксплуатации. Работоспособность усовершенствованного способа экспресс-диагностирования подтверждено испытанием автомобиля с дизелем в эксплуатации.

**Ключевые слова:** техническое состояние, диагностический параметр, диагностическая модель, дизель, температура, фазоакустичний датчик температуры, экспресс-диагностика.

## SUMMARY

**Kolobov K.S. Improvement of the method for express diagnosis of transport diesels' technical condition.** – Qualification scientific work on the right of manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical Sciences on speciality 05.22.20 "Operation and repair of means of transport". – National Transport University, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the increase of the efficiency of the operation of wheeled vehicles by improving the method of express diagnosis of the technical condition of transport diesels at the temperature of exhaust gases by using a phase-acoustic temperature sensor with a flowing acoustic resonator of oscillation.

The method of constructing an optimized diagnostic algorithm based on the logical probabilistic diagnostic model of a diesel engine using the function of advantages is developed, which allows determining the minimum and sufficient set of diagnostic parameters and choosing a rational sequence of their control.

To realize the purpose and objectives of the research, a phase-acoustic temperature sensor with a flow-through acoustic vibration resonator was selected, which, according to the results of the researches, most closely meets the goals of registration of the rapidly changing exhaust gas temperature at the outlet of the vehicle exhaust pipe.

It is experimentally proved that the EG temperature in the idle modes is a stable and informative indicator that allows to diagnose the technical condition of the diesel engine in operation, as well as to determine the malfunction in a separate cylinder by the instantaneous values of EG at the outlet of the outlet pipes using FATS with FARO.

The reliability of the minimum number of necessary and sufficient diagnostic parameters, such as temperature and smoke of the EG, was determined using the developed logic-probabilistic diagnostic model. The modes of diesel diagnostics are determined, the methodology and technological process of diagnostics are developed. The performance of an advanced method of rapid diagnosis is confirmed by the test of a car with diesel in operation.

**Key words:** technical condition, diagnostic parameter, diagnostic model, diesel, temperature, phase-acoustic temperature sensor, rapid diagnosis.

Підписано до друку 10.10.2019р. Формат 60х84/16.  
Папір офсетний № 1. Гарнітура Times.  
Вк. 11. Наклад 100. Зам. 4897

---

Редакційно-видавничий відділ НТУ.  
01010, Україна, Київ, вул. М. Бойчука, 39, тел. +(38 044) 284 26 26