

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний автомобільно- дорожній університет

Автомобільний факультет

Кафедра Інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говорущенка М.Я.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
магістра

Вдосконалення методики експрес-діагностування технічного стану двигунів  
вантажних автомобілів

Завідувач кафедри  
д-р техн. наук, професор  
Нормоконтролер  
канд. техн. наук., доцент  
Керівник



Володимир ВОЛКОВ

канд. техн. наук.,  
доцент



Ігор МАРМУТ

Студент гр. А-62-24



Олександр НАЗАРОВ



Костянтин ЯЦЕНКО

Харків, 2025

## ХНАДУ

Факультет автомобільний

Кафедра Інжинірингу систем автомобільного транспорту ім. Говоруценка М.Я.

Освітній рівень другий - магістр

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

професор В.П.Волков

«    »                      2025 р.

### ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту  
Яценку Костянтину Сергійовичу

1. Тема роботи: Вдосконалення методики експрес-діагностування технічного стану двигунів вантажних автомобілів

затверджена наказом по університету від « 8» жовтня 2025 р. № 155

Керівник роботи Назаров Олександр Іванович, канд. техн. наук, доцент

2. Термін здачі закінченої роботи: 10 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- літературні джерела з діагностування систем керування двигунами автомобілів;
- матеріали розробок з ТМНТ;
- матеріали виробничої практики.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

ВСТУП

1. Огляд літературних джерел та постановка задачі.
2. Розробка моделі діагностування технічного стану дизелів.
3. Розробка технологічного процесу удосконаленого способу експрес-діагностування транспортних дизелів.
4. Економічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.

ВИСНОВКИ



ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1. Постановка задач дослідження.
2. Класифікація методів діагностування ДВЗ.
3. Вплив несправностей, режимів та налаштувань дизеля на температуру випускних газів.
4. Класифікація методів вимірювання температури випускних газів.
5. Діагностування дизелів за температурою відпрацьованих газів.

6. Функціонально-логічна модель дизеля.
7. Обчислення ймовірності безвідмовної роботи функціональних елементів дизеля.
8. Програма діагностування дизеля за температурою та димністю випускних газів.
9. Обладнання для поста з експрес-діагностуванням.
10. Висновки.

6. *Консультанти розділів роботи*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Всі розділи	Доцент Назаров О.І.		

7. *Дата видачі завдання 5. 09. 2025 р.*

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Найменування розділів плану виконання кваліфікаційної роботи студента	Термін виконання розділів роботи	Примітка
1. Актуальність теми.	01.09.2025-10.09.2025	Вик.
2. Дослідження сучасних методик діагностування двигунів транспортного засобу.	11.09.2025-20.09.2025	Вик.
3. Обґрунтування технологічного процесу удосконаленого способу експрес-діагностування	21.09.2025-10.10.2025	Вик.
4. Економічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів	11.10.2025-10.11.2025	Вик.
5. Вдосконалення методики експрес-діагностування двигунів транспортного засобу.	11.11.2025-25.11.2025	Вик.
6. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	26.11.2025-09.12.2025	Вик.
7. Затвердження роботи	10.12.2025	Вик.

Студент  
Керівник роботи


Яценко К.С.  
Назаров О.І.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 92 с., 24 рис., 9 табл., 1 додаток, 32 джерела.

ДВИГУН, ДІАГНОСТУВАННЯ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН, ВІДПРАЦЬОВАНІ  
ГАЗИ, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ, АКУСТИЧНІ ТЕРМОМЕТРИ,  
ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕКСПРЕС-ТЕХНОЛОГІЯ

Об'єкт дослідження – процес діагностування технічного стану дизелів.

Мета дослідження – удосконалення способу експрес-діагностування  
технічного стану транспортних дизелів.

Предмет дослідження – встановлення взаємозв'язку між технічним  
станом дизеля та енергетичними показниками.

Методи дослідження – математичне моделювання та теоретичний аналіз.

У кваліфікаційній роботі визначені сучасні методи, способи та засоби  
діагностування, подано огляд літературних джерел з даної тематики.

Зроблено вибір та обґрунтування доцільного методу, способу та засобу  
діагностування технічного стану дизелів.

Визначено двигун як об'єкт діагностування.

На підставі аналізу статистичних даних відмов елементів двигуна  
побудована його логіко-імовірнісна діагностична модель.

Побудовано алгоритм діагностування при пошуку несправностей ДВЗ та  
розроблено технологічний процес удосконаленого способу експрес  
діагностування дизелів АТЗ.

Розраховано економічну ефективність впровадження удосконаленого  
методу експрес діагностування технічного стану дизелів.

## ABSTRACT

Qualification thesis: 92 p., 24 fig., 9 tab., 1 appendix, 32 sources.

ENGINE, DIAGNOSTICS, TECHNICAL CONDITION, EXHAUST GASES, TEMPERATURE SENSOR, ACOUSTIC THERMOMETERS, DIAGNOSTIC MODEL, EXPRESS TECHNOLOGY

Object of the study – The process of diagnosing the technical condition of transport diesel engines by the temperature of the exhaust gas using a high-speed temperature sensor.

Purpose of the study – Improving the method of express diagnostics of the technical condition of transport diesel engines to increase the efficiency of vehicle operation.

Research methods – mathematical modeling and theoretical analysis.

The thesis defines modern methods, methods and means of diagnostics, provides a review of literary sources on this topic. The selection and justification of an appropriate method, method and means of diagnosing the technical condition of diesel engines are made.

The engine is defined as an object of diagnostics. Based on the analysis of statistical data on engine element failures, its logical-probabilistic diagnostic model is built. An algorithm for diagnosing internal combustion engine faults is built and a technological process for an improved method of express diagnostics of ATZ diesel engines is developed.

The cost-effectiveness of implementing an improved method of express diagnostics of diesel engines is calculated.

## ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Огляд літературних джерел та постановка задачі.....	9
1.1 Загальні положення технічного діагностування колісних транспортних засобів .....	9
1.2 Методи, способи та засоби діагностування .....	13
1.3 Вибір та обґрунтування доцільного методу, способу та засобу діагностування технічного стану дизелів.....	19
1.4 Запропонований датчик для вимірювання температури відпрацьованих газів.....	26
1.5 Висновки до розділу 1.....	39
1.6 Мета і задачі дослідження.....	40
2 Розробка діагностичної моделі діагностування технічного стану дизелів.....	42
2.1 Визначення двигуна як об'єкта діагностування.....	42
2.2 Побудова функціональної та функціонально-логічної моделей двигуна.....	50
2.3 Аналіз статистичних даних відмов елементів двигуна та їх ймовірностей.....	41
2.4 Побудова логіко-імовірнісної діагностичної моделі у вигляді матриці станів.....	59
2.5 Аналіз матриці станів та побудова оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов двигунів внутрішнього згоряння.....	62
2.6 Висновки до розділу 2.....	63
3 Розробка технологічного процесу удосконаленого способу експрес-діагностування транспортних дизелів.....	66
3.1 Аналіз виконаних теоретичних та експериментальних досліджень.....	66

	6
3.2 Розробка технологічного процесу експрес-діагностування дизелів .....	67
3.3 Рекомендації щодо впровадження в експлуатацію розробленого технологічного процесу.....	75
3.4 Висновки до розділу 3 .....	77
4 Економічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.....	78
4.1 Розрахунок економічного ефекту впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану дизелів .....	79
4.2 Висновки до розділу 4.....	87
Висновки .....	88
Перелік посилань .....	89
Додаток А. Ілюстративні матеріали до кваліфікаційної роботи магістра ..	92

## ВСТУП

Актуальність теми. Ефективність експлуатації автотранспортних засобів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання.

З огляду на сучасні вимоги до паливної економічності, екологічної безпеки та ефективності, для активного впливу на технічний стан дизелів необхідна об'єктивна діагностична інформація, яка забезпечується різноманітними методами та технічними засобами.

При експлуатації необхідно зробити вибір такого способу (методу та засобу) діагностування, який би забезпечував із заданою точністю експрес-діагностування технічного стану ДВЗ безпосередньо на АТЗ за допомогою автономних та не складних засобів технічного діагностування без застосування складних навантажувальних стендів.

Способи діагностування з використанням температури відпрацьованих газів у якості діагностичного параметра засвідчили, що вони є найбільш чутливими, стабільними і інформативними. Але, недоліки відомих способів та засобів вимірювання температури відпрацьованих газів не дозволяють визначити з необхідною точністю та швидкістю технічний стан дизеля.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Кваліфікаційна робота пов'язана із реалізацією тематичного плану наукових робіт кафедри ТЕСА ХНАДУ на 2025 р. «Інноваційні рішення для підвищення ефективності діагностування автомобільних систем».

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є вдосконалення способу експрес-діагностування технічного стану дизелів автотранспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проаналізувати вплив енергетичних показників на технічний стан дизеля;
- розробка моделі експрес-діагностування технічного стану дизелів;
- удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів;
- економічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.

Об'єкт дослідження – процес діагностування технічного стану дизелів.

Предмет дослідження – встановлення взаємозв'язку між технічним станом дизеля та енергетичними показниками.

Методи дослідження. В кваліфікаційній роботі використовувалися методи математичного моделювання та теоретичного аналізу.

Апробація результатів роботи. Основні результати кваліфікаційної роботи доповідалися і обговорювалися на міжнародній науково-практичній конференції «Новітні технології розвитку автомобільного транспорту» кафедри ТЕСА, 30-31 жовтня 2025 р., Харків, ХНАДУ [1].

Публікації. Основні положення кваліфікаційної роботи у вигляді статті викладено на сайті автомобільного факультету ХНАДУ.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

### 1.1 Загальні положення технічного діагностування колісних транспортних засобів

Основним засобом забезпечення постійної високої технічної готовності колісних транспортних засобів є своєчасне проведення з високою якістю технічного обслуговування та ремонту.

Так, технічне обслуговування визначає комплекс операцій чи операції щодо підтримки роботоздатності або справності виробу під час використання за призначенням, зберігання та транспортування, а ремонт – комплекс 36 операцій щодо відновлення справності або роботоздатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи їх складових частин [2].

Невід'ємною частиною технічного обслуговування та ремонту є діагностування, яке разом з прогнозуванням залишкового ресурсу є одним з найважливіших умов підвищення ефективності, економічності та надійності використання колісних транспортних засобів.

Основою технічного обслуговування рухомого складу в автомобільних господарствах і станціях технічного обслуговування є застосування і використання таких методів та підходів до обслуговування, які б були направлені на підвищення ефективності використання автомобілів, на зниження витрат і простоїв при технічному обслуговуванні та ремонті. Більшість з них ґрунтується на методах теорії надійності машин, і відповідно, носить ймовірнісний характер.

Для певної сукупності транспортних засобів, об'єднаних однаковими умовами експлуатації, методи теорії надійності дозволяють з достатньою ефективністю визначати необхідність у технічному обслуговуванні, ремонті, запасних частинах і прогнозувати залишковий ресурс. Однак, щодо конкретного транспортного засобу, чи його агрегатів, або при особливих умовах експлуатації, вони не дозволяють прийняти оптимальне рішення. У цьому випадку вирішити

питання щодо встановлення реального технічного стану та об'ємів необхідних технічних дій можливо здійснити за допомогою технічного діагностування.

Технічне діагностування є складовою частиною технічного обслуговування [2]. Воно вивчає та встановлює ознаки несправного стану, методи, принципи і обладнання, за допомогою яких надається інформація щодо технічного стану, а також, здійснює прогнозування залишкового ресурсу [6]. Основним завданням технічного діагностування колісних транспортних засобів є скорочення витрат на їх технічне обслуговування і зменшення втрат від простою в результаті відмов окремих агрегатів [3].

Враховуючи масштаби застосування дизелів на автомобільному транспорті, вирішення питань, пов'язаних з їх діагностуванням, має важливе практичне значення. Особливо важливим є визначення технічного стану колісних транспортних засобів з дизелями при випуску їх на лінію.

Теорія, методи та засоби технічного діагностування поєднують у собі питання щодо організації оптимальної процедури перевірки технічного стану складних об'єктів та вирішення виникаючих при цьому проблем та задач, а також методи та засоби, що необхідні для вирішення цих задач та виконання зазначених процедур.

Технічний стан об'єкта – це стан, який характеризується значеннями параметрів, які встановлені технічною документацією на об'єкт.

Метою технічного обслуговування і ремонту, згідно з «Положенням про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту» - є підтримування дорожніх транспортних засобів у технічно справному стані та належному зовнішньому вигляді, забезпечення надійності, економічності, безпеки руху та екологічної безпеки [2].

За часом визначення технічного стану об'єкта розрізняють три типи задач діагностування:

- визначення технічного стану об'єкта у даний момент часу (задачи діагностування). Ці задачи важливі при виконанні технічного обслуговування та у разі прийняття рішення щодо подальшої експлуатації об'єкта;

– визначення технічного стану, в якому опиниться об'єкт через певний проміжок часу у майбутньому (задачі прогнозування). Вони використовуються під час визначення остаточного ресурсу;

– визначення технічного стану, в якому знаходився об'єкт у певному моменті часу у минулому (задачі генезису).

Ці задачі мають важливе значення при проведенні технічних експертиз з визначення причин аварійних ситуацій, невідповідностей об'єкта вимогам технічної документації, які виникли під час експлуатації тощо.

З точки зору автотранспортних підприємств, суб'єктів господарювання основним завданням технічного діагностування - є скорочення витрат на технічне обслуговування колісних транспортних засобів, зменшення втрат від простою в результаті відмов, оперативне визначення, із встановленою вірогідністю, технічного стану транспортних засобів в цілому та їх частин, пошук дефектів, що порушили справний стан та роботоздатність машини, а також збір первинних даних для прогнозування залишкового ресурсу чи визначення вірогідності безвідмовної роботи машини у міжконтрольній період [2].

Отже, аналіз літературних джерел [2,3,4,6] показує, що основними функціями діагностування колісних транспортних засобів є:

- оцінка технічного стану об'єкта;
- виявлення і визначення місця локалізації несправностей;
- прогнозування залишкового ресурсу об'єкта; – моніторинг технічного стану об'єкта;
- виявлення причин відмов вузлів і механізмів.

Результатом діагностування об'єкта, технічний стан якого визначається, є встановлений технічний діагноз. Для постановки діагнозу необхідно оцінити відповідність параметрів стану об'єкту діагностування вимогам нормативно-технічної документації.

Ці параметри визначаються як діагностичні по величині, яка кількісно характеризує властивості об'єкта або процесу, що проходить у ньому, та

використовується у процесі діагностування. У якості діагностичних параметрів використовуються як прямі (структурні) параметри (напрямую визначають технічний стан), так і не прямі (функціональні) параметри (функціонально залежні від структурних) [3]. Тобто, розрізняють прямі і 39 непрямі діагностичні параметри, які ще називають – первинні і вторинні відповідно. Перші безпосередньо характеризують фізичний стан об'єкта, а другі пов'язані з прямими параметрами функціональною залежністю.

Для забезпечення високої достовірності діагнозу діагностичний параметр повинен відповідати наступним вимогам:

- однозначно змінюватися відповідно до зміни технічного стану двигуна;
- мати досить широкий діапазон зміни при зміні технічного стану (в цьому випадку легше і точніше можна оцінити відносну зміну параметра);
- бути зручним для вимірювання.

Реалізація діагностування з оцінюванням значень діагностичних параметрів виконується за допомогою різноманітних методів. Залежно від технічних засобів і діагностичних параметрів, які використовуються при проведенні діагностування, можна скласти наступний перелік основних методів діагностування:

- органолептичні методи діагностування, які засновані на використанні органів чуття людини (огляд, ослуховування);
- вібраційні методи діагностування, які засновані на аналізі параметрів вібрацій технічних об'єктів;
- акустичні методи діагностування, засновані на аналізі параметрів звукових хвиль, що генеруються технічними об'єктами та їх складовими частинами;
- теплові методи, що засновані на вимірюванні температур та температурних полів;
- специфічні методи, що притаманні окремо для кожної з областей техніки.

Технічне діагностування вивчає та встановлює ознаки несправного стану, методи, принципи і обладнання, за допомогою яких надається заключення щодо

технічного стану колісного транспортного засобу та його систем без розбирання, а також здійснюється прогнозування залишкового ресурсу. Технічне діагностування також є одним з видів технічних дій, що спрямовані на підтримання транспортного засобу у справному стані.

В умовах автотранспортних підприємств перед технічним діагностуванням постає задача відокремити ремонтні роботи від технічного обслуговування та забезпечити при обслуговуванні виконання мінімально необхідної кількості робіт, достатніх для забезпечення нормальної експлуатації колісних транспортних засобів на певний період.

В «Положенні про технічне обслуговування та ремонт рухомого складу автомобільного транспорту» підкреслено, що основним методом виконання контрольних робіт є діагностування, яке призначено для виявлення технічного стану автомобіля, його агрегатів і вузлів без розбирання та є технологічним елементом технічного обслуговування і ремонту [2].

Застосування автотранспортними підприємствами сучасних автоматизованих систем управління виробництвом, визначення оптимальної кількості і номенклатури запасних частин, крім знання характеристик надійності, вимагає також наявність об'єктивної інформації щодо технічного стану транспортних засобів, який постійно змінюється.

Такі дані можуть бути отримані тільки методами технічного діагностування, а застосування комплексних станцій технічного обслуговування можуть забезпечити їх автоматизоване збирання та поповнення. В наш час такі станції діагностування транспортних засобів отримали широке розповсюдження.

Досвід появи та використання таких станцій в автотранспортних підприємствах вказує на великі економічні вигоди, які обумовлені зниженням витрати на технічне обслуговування та ремонт, підвищенням продуктивності транспортних засобів, зменшенням витрати палива і запасних частин [6].

Станції технічного діагностування транспортних засобів вперше були створені у США, а потім отримали широке розповсюдження в країнах Західної Європи. При виконанні комплексного діагностування двигуна використовують

різноманітне контрольовано-вимірювальне обладнання, більшість якого в сучасних умовах – комп'ютеризоване. Діагностування двигунів внутрішнього згорання в експлуатації дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт орієнтовно на 30% [9].

Однак, найбільшій ефективності від застосування діагностування можливо досягти при одночасній розробці об'єкту та системи його діагностування.

З цієї мети на більшість сучасних автомобілів заводи-виробники встановлюють бортові системи діагностування, які за допомогою датчиків слідкують за справністю двигуна та його окремих систем.

Сучасні конструкції автомобілів та їх агрегатів, а також забезпечення експлуатаційних вимог, вимагають розробки інструментальних методів об'єктивного діагностування. При цьому проблема діагностування двигунів являється найбільш важливою, так як це самий складний і дорогий агрегат, від стану якого, в першу чергу залежить ефективність транспортних засобів.

На практиці, в експлуатації двигуни не завжди забезпечують гарантовану потужність та витрату палива. Відхилення потужності та показників паливної економічності складно виявити за зовнішніми ознаками роботи двигуна без застосування спеціального обладнання.

В процесі експлуатації відбувається як природна, так і випадкова зміна технічного стану вузлів, агрегатів і систем двигуна (знос деталей, вузлів, розрегулювання, поломки і т.п.), що погіршує його показники, знижує ресурс роботи і може призвести до аварійного виходу двигуна з ладу. Для підтримки справного стану двигуна і продовження його терміну служби проводяться технічне обслуговування і ремонт.

Заходи з технічного обслуговування (догляду) та ремонту двигуна можуть здійснюватися або в планово-попереджувальному порядку (регулярно, через певний період роботи двигуна і в заданому обсязі), або в залежності від фактичного стану. Проведення технічного обслуговування і ремонту на підставі фактичного технічного стану двигуна є більш доцільним, так як в цьому випадку зменшується можливість випадкових простоїв і підвищується гарантована

безвідмовність роботи двигуна. При цьому, ремонту і догляду підлягають лише ті вузли і деталі, які дійсно цього потребують, і в результаті чого повніше використовується ресурс кожного конкретного вузла і двигуна в цілому.

Визначення фактичного технічного стану двигуна і прогнозуванням ресурсу його безвідмовної роботи за допомогою технічної діагностики, це - процес визначення технічного стану з певною точністю. Базується діагностування на вивченні ознак несправного стану деталей і вузлів двигуна, а також на розробці методів і обладнання, що дозволяють дати висновок про їх стан. Технічне діагностування проводять без повного розбирання двигуна, а на підставі результату оцінки його технічного стану ведеться прогнозування залишкового ресурсу.

У технічній діагностиці використовуються поняття прямого (структурного) і непрямого (функціонально залежного від структурного) діагностичного параметра [3]. Прямий (структурний) параметр - це, як правило, характеристика технічного стану деталі або вузла двигуна (розмір, форма, чистота поверхні, сполучення деталей і т. п.). Діагностичні параметри використовуються для перевірки роботоздатності і пошуку дефектів як двигуна в цілому, так і його складових частин. У двигуні діагностичними параметрами можуть служити параметри, що характеризують характер сполучення основних деталей (зазор між циліндром і поршнем, зазор між шийками колінчастого вала і підшипниками - корінними і шатунними, знос направляючих втулок клапана і т. п.), а також, параметри, що характеризують роботу двигуна (потужність, витрата палива, тиск, температура деталей і газів, рівень шуму і вібрації, склад та колір відпрацьованих газів і т. п.).

Технічне діагностування двигунів може здійснюватися як в процесі його експлуатації при нормальній роботі (функціональне технічне діагностування), так і при відриві від виконання корисної роботи (тестове технічне діагностування). У першому випадку всі операції діагностування проводять безперервно або з будь-якою періодичністю, двигун обладнано вбудованими засобами діагностування (датчиками), а апаратура для прийому і обробки інформації діагностування

розміщена на транспортному засобі, на якому встановлений даний двигун. При цьому система діагностування може бути повністю автоматизована (наприклад – бортова діагностична система).

У іншому випадку діагностування проводиться із заданою періодичністю (за часом роботи двигуна, чи по пробігу транспортного засобу) або за потребою на спеціальних стендах. Стенд обладнаний вимірювальною апаратурою та апаратурою обробки інформації і має комплекс засобів діагностування, що приєднуються до двигуна. На двигуні для цієї мети повинні бути передбачені пристрої сполучення (роз'єми, штуцери, перехідники та ін.). Іноді двигун має певну кількість вбудованих засобів діагностування (датчики тиску, температури, частоти обертання та інш.), які також можуть бути підключеними до вимірювальної апаратури стенду.

При діагностуванні двигунів на стендах використовуються методи, що дозволяють оцінювати як загальний технічний стан двигуна (так зване поверхнєве діагностування), так і методи поелементного (локального) діагностування (поглиблене діагностування).

Технічне діагностування двигуна в цілому (загальне діагностування) полягає в оцінці технічного стану за інформацією: «справний» або «несправний», роботоздатний чи ні. При цьому в практиці діагностування автомобільних двигунів технічний стан оцінюють за такими вихідними параметрами, як максимальна ефективна потужність двигуна, витрата палива, склад і температура випускних газів, витрата моторної оливи на чад тощо. Поглиблене діагностування призначене для пошуку причин та місця виникнення несправностей та відмов. Перелік застосовуваних методів, засобів та вихідних параметрів є значно більшим ніж при поверхневому діагностуванні.

Практика експлуатації та різноманітні дослідження показують, що зниження потужності та економічності дизелів, як правило, обумовлено порушеннями в роботі системи живлення і в першу чергу паливної апаратури [2 - 6, 15]. Наприклад, невірно встановлений кут випередження впорскування та збільшена циклова подача палива призводять до прискорення зносу деталей

циліндро-поршневої групи. Порушення зазорів та регулювань деталей циліндро-поршневої групи, кривошипно-шатунного та газорозподільного механізмів, а також інших механізмів і систем дизеля, призводять до завчасних аварійних поломок, які вимагають значних затрат на відновлення.

Одночасно з перевіркою енергетичних та економічних показників, що характеризують загальний технічний стан дизеля, необхідно розробити методи діагностування його окремих систем і вузлів по різноманітним параметрам. Необхідно також визначити перелік перевірок, що дозволяють виконувати контроль роботоздатності та пошук несправностей в дизелі при мінімальних затратах. Ці питання необхідно вирішувати на основі положень теорії технічного діагностування.

## 1.2 Методи, способи та засоби діагностування

Ефективність експлуатації колісних транспортних засобів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація про нього, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів.

Технічний стан двигунів внутрішнього згорання може бути описаний певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, в конкретних числових значеннях [1, 2, 6]. Методи діагностування базуються на вимірюванні та аналізі таких параметрів, зміни яких в найбільшій мірі характеризують стан двигуна. Визначення переліку параметрів, що дозволяють здійснювати комплексне діагностування двигунів, та вивчення їх взаємозв'язку з технічним станом вузлів і систем двигуна, а також розробка способів та засобів діагностування складають одну з основних задач діагностування двигунів.

Основи технічного діагностування двигунів внутрішнього згорання були закладені ще за радянських часів роботами та дослідженнями що провадилися у таких науково-дослідних установах як: Харківський національний автомобільно-

дорожний університет, Національний транспортний університет, Державний автотранспортний науководослідний і проектний інститут та інші організації.

Розробкою методів діагностування двигунів в нашій країні також займалися і виробники транспортних засобів та їх двигунів. Розробками теоретичних засад діагностування двигунів внутрішнього згорання та їх практичного застосування займалися такі науковці, як Я.І. Несвітський, Н.Я. Говорущенко, Н.С. Ждановський, Ю.Ф. Гутаревич, В.Є. Канарчук, О.Д. Климпуш, Б.В. Левинсон, В.А. Рубцов та інші.

В попередніх дослідженнях та розробках запропоновано ряд методик, які дозволяють виконати діагностування двигунів внутрішнього згорання без розбирання [2 - 7, 9]. Багато з них реалізовано у спеціальних приладах, що досі широко використовуються в практиці діагностування та ремонту двигунів.

Ряд авторів присвячують свої роботи окремим методам діагностування дизелів [7, 14, 15], їх систем живлення [6, 7]. Порівняно багато робіт щодо діагностування дизелів та їх паливної апаратури виконано за кордоном [7, 26].

Але, дуже часто пропонуються застаріли методи, способи та засоби діагностування, які недостатньо ефективно відображають реальний технічний стан об'єкта, та дублюють один одного.

Наприклад, одним з найбільш розповсюджених діагностичних параметрів двигунів внутрішнього згорання є тиск моторної оливи, який доречі, в якості індикаторного показника внесено до бортової системи контролю автомобіля, та дозволяє опосередковано оцінювати стан підшипників колінчастого та газорозподільного валів, а також самої системи змащування і її моторної оливи. Але, залежність тиску моторної оливи від великої кількості факторів (величина зазорів в підшипниках, температура та в'язкість моторної оливи, технічний стан оливного насосу, клапанів та фільтрів) не завжди дозволяє однозначно визначити технічний стан двигуна за цим показником [10, 11, 12].

У практиці діагностування для визначення стану циліндро-поршневої групи широко використовується показник витрати моторної оливи [3, 5, 14]. Такий показник легко контролюється, але має суттєві недоліки. Витрата оливи залежить

від теплового, швидкісного та навантажувального режимів роботи двигуна, стану сальників та ущільнюючих прокладок, рівня оливи у картері, її густини та в'язкості. Дослідженнями встановлено, що витрата оливи може змінитися у декілька разів [5] від положення замків поршневих кілець, ступеня закоксованості поршневих кілець, а також дефектів ущільнень в механізмі газорозподілу.

Велика кількість факторів, які впливають на витрату оливи, вказують на неоднозначність цього параметру, а значний розбіг показників, що досягає 20 – 25% [12], та порівняно низька чутливість значно знижує переваги цього методу.

Інший дуже розповсюджений параметр для оцінювання стану циліндропоршневої групи – тиск кінця стиснення. Він вимірюється за допомогою компресометра, який в дизелі встановлюється замість форсунки або свічки накаливання. Вимірювання виконується на непрогрітому двигуні, шляхом прокручування колінчастого вала стартером або на мінімальних обертах холостого ходу при роботі двигуна на циліндрах в яких не виконується вимірювання [22].

Тиск кінця стиснення, по мірі зношування циліндропоршневої групи, зменшується незначно, при максимальному зносі лише на 10 – 20 % [22]. Тому лише прискіпливе вимірювання дає змогу визначити зменшення тиску кінця стиснення, а з ним і знос циліндропоршневої групи або інші несправності. Тиск стиснення залежить також від в'язкості моторної оливи, температури двигуна та частоти обертання вала двигуна. Зі зміною в'язкості оливи, температури двигуна та частоти обертання – тиск стиснення змінюється. Крім того при значних порушеннях герметичності в клапанах або циліндрах тиск знижується при збільшенні частоти обертання. Відносно велика трудомісткість, що обумовлена необхідністю часткового розбирання, та неможливість визначення конкретної причини зниження компресії є недоліками цього методу.

Декілька більшої достовірності діагнозу можна досягти визначивши стан циліндропоршневої групи, щільності клапанів механізму газорозподілу та прокладки головки блоку шляхом вимірювання величини утікання стисненого повітря, що вводиться до циліндрів при закритих клапанах. У цього методу

відсутня більшість недоліків попереднього. Він дозволяє визначити конкретне місце несправності, однак потребує часткового розбирання двигуна та почергової перевірки всіх циліндрів, що обумовлює його значну трудомісткість. На результати вимірювання значно впливає температура двигуна, в'язкість моторної оливи, а також положення поршневих кілець по висоті канавки. Перелічені недоліки обмежують використання даного методу на практиці.

Також контролювати стан циліндропоршневої групи можливо за визначенням кількості газів, що проникають до картеру (картерних газів) [18, 19]. Ця перевірка виконується за допомогою газових лічильників та ротаметрів. Кількість газів, що прориваються до картеру, змінюється в широких межах в залежності від режиму роботи двигуна, особливостей конкретного двигуна та не дозволяє оцінювати стан окремих циліндрів. Для однотипних дизелів кількість картерних газів в режимах холостого ходу може коливатися у широких межах від 4 до 25 літрів на хвилину. Але при перевірці під навантаженням розбіг даних зменшується, тому метод визначення кількості картерних газів може успішно використовуватися лише при наявності навантажувального стенду.

Задачу визначення стану циліндропоршневої групи вирішують також шляхом вимірювання тиску картерних газів у картері. Тиск вимірюється моновакууметром (п'єзометром), як правило, через отвір щупа для заміру рівня моторної оливи. Тиск в картері в значній мірі залежить від стану системи вентиляції та герметичності картера. Цьому методу притаманні переваги та недоліки попереднього методу.

Зміна розрідження у впускному трубопроводі також залежить від погіршення технічного стану циліндропоршневої групи, впускної системи, системи живлення паливом, кута випередження впорскування палива тощо [6]. Дослідження можливості застосування цього параметра при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання встановили, що вплив багатьох факторів на величину розрідження та вплив особливостей конструкцій конкретних двигунів значно ускладнюють застосування цього методу.

Окремої уваги заслуговують науково-дослідні роботи, які пов'язані з віброметричним методом діагностування двигунів внутрішнього згорання, що засновано на вимірюванні вібраційних параметрів [7, 12].

По характеру шуму, стуку та місця його виникнення, за допомогою спеціального віброакустичного обладнання можна визначити зазори у шатунних та корінних підшипниках колінчастого вала, в підшипниках газорозподільного вала, зазори між поршнем та циліндром, в клапанах, рівномірність подачі палива та технічний стан паливного насосу високого тиску [7, 12]. Автори цих робіт вважають, що за допомогою віброакустичних методів діагностування можна найбільш повно оцінити технічний стан двигунів, так як вони передбачають кількісну оцінку зміни технічного стану та дають можливість наглядно спостерігати результати контролю. Але, наряду з перевагами, віброакустичний метод має суттєві недоліки, які полягають у необхідності проведення для кожної конкретної моделі двигуна трудомісних дослідницьких робіт по встановленню залежності між структурними параметрами та параметрами шуму і вібрації. Ця методика діагностування складна та потребує використання спеціального дорогого обладнання. Велика складність розподілу та аналізу віброакустичного сигналу є найбільшим недоліком цього методу.

В літературних джерелах також багато уваги приділяється розробці та впровадженню методів діагностування двигунів за аналізом проб картерної оливи. Наглюк І.С., Болдин А.П. зазначають, що стан та наявність домішок в оливі є вагомим фактором, при оцінюванні технічного стану двигуна. В процедуру аналізу картерної оливи входить визначення концентрацій в ньому продуктів зносу, в'язкість, наявність води, палива та домішок. По кількості вмісту металів судять о темпах зношування циліндропоршневої групи, кривошипно-шатунного механізму тощо. Порівнюючи результати аналізу з гранично допустимими концентраціями можна заздалегідь визначити несправність в двигуні, її місце та характер [5, 26].

До недоліків цього методу слід віднести необхідність систематично контролювати кожний двигун, з метою порівняння отриманих даних з попередніми значеннями. Це пояснює обмеженість застосування цих методів.

Велику зацікавленість, з точки зору можливості використання у діагностичних цілях, представляють такі параметри відпрацьованих газів, як склад, димність (колір) та температура. По хімічному складу, кольору та температурі відпрацьованих газів можна визначити несправності, пов'язані з роботою механізмів та систем двигуна.

Значне розповсюдження аналізу відпрацьованих газів при діагностиці двигунів з іскровим запалюванням обумовлено необхідністю контролювання технічного стану двигуна стосовно екологічній безпеки транспортних засобів. Аналіз відпрацьованих газів двигунів з іскровим запалюванням використовується також для регулювання паливної апаратури [6, 10].

При діагностуванні дизелів більш широке використання отримав метод оцінювання технічного стану двигуна за димністю відпрацьованих газів. Димність обумовлена вмістом у відпрацьованих газів сажі, пари води, палива, моторної оливи тощо. За величиною димності та кольором відпрацьованих газів дизеля можна судити щодо технічного стану системи живлення паливом, циліндропоршньової групи, газорозподільного механізму тощо [14, 15]. Визначення в експлуатації димності відпрацьованих газів дизелів регламентовано законодавчо з метою контролювання технічного стану колісних транспортних засобів та його двигуна стосовно екологічної безпеки [9, 12].

Але, на результат контролювання димності значно впливають тепловий режим двигуна, довжина та форма випускного тракту, наявність водяної пари, температура газів, перепад тисків та інерційність вимірювальних приладів.

Окремо необхідно зазначити, що найбільш якісними за показниками точності, стабільності і надійності, є димоміри виробництва таких фірм, як BOSHC, AVL, SUN, HARTRIDGE. Але вартість обладнання зазначених виробників та затрати на його обслуговування і ремонт при експлуатації є дуже високими. Обладнання маловідомих фірм має меншу надійність, точність та

стабільність показів, і тому потребує більш частого та ретельного проведення обслуговування та калібрування.

Згідно з інформацією наведеною у літературних джерелах [7, 9] на показник димності дизеля значною мірою впливають його технічний стан, тепловий стан, якість палива та правильне виконання і дотримання процедури вимірювання (випробування двигуна).

Вплив багатьох факторів на димність відпрацьованих газів ускладнює оцінювання окремих конкретних несправностей, та дозволяє використовувати цей метод тільки для загальної оцінки технічного стану двигуна.

Велику зацікавленість для діагностування двигунів представляє індикаторна діаграма тисків у циліндрах. Зміна індикаторного тиску дає найбільш повне та якісне уявлення щодо характеру робочого процесу в двигуні і достатньо точно показує кількісну сторону параметра. Аналіз зміни індикаторного тиску дизеля дає змогу визначити індикаторну потужність та якість протікання робочого процесу в циліндрах [6, 7]. Погіршення технічного стану циліндропоршневої групи, порушення герметичності циліндра, порушення регулювання системи живлення та газорозподільного механізму відображається на характері зміни тисків індикаторної діаграми та кількісному значенні індикаторного тиску. Виходячи з цього, він може використовуватися як діагностичний параметр, що характеризує зміну технічного стану двигуна.

Але, до цього часу індикаторні діаграми, в цілях діагностування, використовувалися лише в дослідницьких установках. Труднощі, пов'язані з вимірюванням індикаторного тиску в експлуатації, а також труднощі його аналізу, є причинами того, що індикаторний тиск, хоча він і є достатньо інформативним параметром, не застосовується для діагностування двигунів які не мають додаткового доступу до циліндрів.

Крім перелічених параметрів, для діагностування двигунів внутрішнього згорання велике значення мають такі їх характеристики як ефективна потужність, крутний момент на колінчастому валу та питома витрата палива. Ці параметри у сукупності дають вичерпну інформацію, щодо придатності двигуна до

експлуатації, хоча несуть мінімальну інформацію о несправностях окремих його систем, вузлів та деталей.

Для визначення потужності можуть використовуватися гальмівні, безгальмівні, парціальні методи, а також вимірювання потужності по прискоренню колінчастого вала [6].

Перевірка двигуна у навантажувальному режимі дозволяє підвищити діагностичні можливості параметрів, що контролюються, так як при цьому збільшується вплив несправностей на ці параметри. Гальмівний метод дає можливість легко та швидко встановити будь який режим роботи двигуна, але потребує наявності спеціальних гальмівних стендів та спеціальних вимірювальних приладів для визначення величин, які контролюються.

Парціальний та безгальмівний методи не потребують навантажувальних стендів, але потребують більш прискіпливих та тривалих в часі вимірювань, за рахунок почергового відключення частини циліндрів та встановлення додаткових навантажувальних пристроїв.

Оцінювання потужності та паливної економічності в цьому випадку виконується за діаграмами, що є не дуже зручно.

Існує метод визначення зношування двигуна по часу розгону його вала від мінімальних до максимальних обертів, як функція ступеню його зношування. Враховуючи те, що зі зношуванням двигуна потужність знижується незначно, а інші несправності (наприклад, системи живлення) знижують її на 30 – 40%, навряд чи цей метод може надати надійні результати при оцінюванні зношування.

Окрім ефективної потужності, одним з основних параметрів при діагностуванні двигуна є питома витрата палива, яка визначається разом з енергетичними показниками. Однак витратоміри і спеціальне обладнання до них складні та потребують багато часу для монтажу і демонтажу в системі живлення паливом двигуна, тому використовуються виключно при стандартизованих, дослідницьких випробуваннях колісних транспортних засобів та їх двигунів.

Крім того, при діагностуванні недоцільно обмежуватися тільки енергетичними показниками та паливною економічністю, необхідно

контролювати стан всіх основних вузлів і систем двигуна, отримати інформацію щодо характеру та місця знаходження несправності.

Для дизелів особливо важливе значення має діагностування системи живлення паливом, оскільки більшість відмов дизелів пов'язано саме з цією системою. Аналіз літературних джерел [6, 9, 11] показує, що на долю паливної системи припадає близько двох третин всіх несправностей дизелів.

В якості величин, що контролюються при діагностуванні дизельної паливної апаратури приймаються різноманітні характеристики елементів паливної системи. В ряді робіт [4, 6, 14, 30] пропонується контролювати тривалість впорскування, наявність вторинного під'йому голки розпилювача, кут випередження впорскування та циклову подачу, тиск початку впорскування, циклову подачу, кут та довжину факелу розпилювання, які потребують складного діагностичного забезпечення.

Більшість сучасних автомобілів мають вбудовану бортову систему діагностування, які за допомогою датчиків слідкують за справністю двигуна та його окремих систем. В конструкціях таких систем передбачено наявність спеціального діагностичного роз'ємну для під'єднання комп'ютерних діагностичних приладів. Ці прилади дозволяють зробити комплексну функціональну діагностику автомобіля на діагностичній станції. При цьому значно скорочується час діагностування та зростає його достовірність.

Двигуни з електронною системою керування мають функцію діагностування методом самодіагностування. Суть методу полягає у наявності вбудованої в електронну систему керування двигуном функції самодіагностування, яка дозволяє, шляхом опитуванням пам'яті несправностей електронного блоку, швидко визначити несправний конструктивний елемент та зберігати код несправності у пам'яті блока. Перевагами цього методу є можливість визначення несправностей двигуна шляхом зчитування кодів похибок із пам'яті з мінімальними затратами часу та кількістю діагностичних операцій. Застосування цього методу в експлуатації ускладнюється відносно великою вартістю діагностичного обладнання та високими вимогами до кваліфікації

персоналу, який в свою чергу, для правильної постановки діагнозу повинен дуже добре володіти традиційними методами діагностування.

Високі вимоги до кваліфікації персоналу пов'язані з тим, що дуже часто самодіагностування на явно несправних транспортних засобах не виявляє ніяких відмов, або невірно визначає причини несправності, оскільки у пам'ять самодіагностування вносяться дані щодо відхилень значень параметрів тих конструктивних елементів з якими у електронного блоку керування є електричний зв'язок. Виникнення гідродинамічних або механічних несправностей самодіагностування не виявляє, що може призводити до встановлення невірного діагностичного висновку.

### 1.3 Вибір та обґрунтування доцільного методу, способу та засобу діагностування технічного стану дизелів

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує, що ефективність експлуатації колісних транспортних засобів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів. Для активного впливу на технічний стан двигунів необхідна об'єктивна інформація про технічний стан, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів [6, 7].

Умови експлуатації колісних транспортних засобів визначають необхідність вибору та розробки такого методу та засобу діагностування, який би забезпечував із заданою точністю швидке визначення технічного стану двигунів безпосередньо на колісних транспортних засобах при їх звичайному функціонуванні за допомогою автономних, не складних засобів.

Технічний стан двигунів характеризується певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, які виражено певними числовими значеннями. Методи діагностування базуються на вимірюванні та аналізі тих параметрів, зміна яких найбільшим чином характеризує рівень несправності або роботоздатності систем двигуна.

Аналіз існуючих методів діагностування двигунів дозволив розділити методи діагностування двигунів за основними системами, механізмами та агрегатами (рис. 1.1) і показує їх велику розмаїтість і складність при реалізації в умовах експлуатації. Наприклад, особливу складність при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання, зокрема дизелів, представляє система живлення паливом, технічний стан якої визначає їх економічні та екологічні показники, і відмовлення якої можуть досягати двох третин усіх відмовлень двигуна. Існуючі методи діагностування систем живлення відрізняє складність і дорожнеча застосовуваного устаткування, а також необхідність часткового розбирання двигунів внутрішнього згорання і використання спеціальних навантажувальних стендів.

Усі ці недоліки відсутні при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання по температурі відпрацьованих газів, що є найбільш чутливим, стабільним і інформативним параметром, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Реєструючи температуру відпрацьованих газів кожного циліндра, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи. Побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

Підтвердженням цьому є дослідження проведені в ДП «ДержавтотрансНДІпроект» та представлені в дисертаційній роботі Климпуша О.Д.. Вимірюючи температуру відпрацьованих газів у випускному колекторі на виході з кожного циліндра дизеля за допомогою термопар було підтверджено та визначено вплив несправностей систем живлення паливом, циліндро-поршневої групи, газорозподільного механізму та інш. на температуру відпрацьованих газів як під навантаженням, так і в режимах холостого ходу (рис. 1.2 та 1.3).

У дисертаційній роботі Попелиша І.І. та інших дослідженнях також доведено зв'язок несправностей систем живлення двигунів внутрішнього згорання з тепловим випромінюванням випускного колектора та розроблено спосіб експрес-діагностування двигунів інфрачервоним радіометром.

Дослідження миттєвої температури відпрацьованих газів у дизельному двигуні за допомогою швидкодіючого трьохдротового термометра опору, підтверджують можливість діагностування двигунів внутрішнього згорання окремо по циліндрах за температурними імпульсами відпрацьованих газів у випускній системі (рис. 1.4). Частота температурних імпульсів прямо пропорційно пов'язана з частотою обертання колінчастого вала двигуна (рис. 1.5), а амплітуда - з ефективним тиском у циліндрі, тобто з навантаженням на вал двигуна (рис. 1.6). Схематизована осцилограма миттєвих температур відпрацьованих газів у випускному трубопроводі (рис. 1.7) наглядно доводить можливість діагностування двигуна за цим параметром окремо по циліндрам.

У публікації Роберта Н. Хамбрита та Х.С. Бенсона (Південно-Західний науково-дослідний інститут, США) під назвою «Діагностика дизельних двигунів за димністю та температурою у системі випуску» (Diagnostics of Diesel Engines Using Exhaust Smoke and Temperature) також доводиться можливість діагностуванні двигунів внутрішнього згорання за миттєвими значеннями температури відпрацьованих газів, а саме: «Струмінь відпрацьованих газів на виході вихлопної труби складається з дискретних імпульсів відпрацьованих газів, що створюються окремими циліндрами. Це проявляється також для двигунів з турбонаддувом, це послаблює імпульс до певного ступеню і не змінює характер його протікання. Вимірювання характеристики кожного окремого імпульсу газу дає інформацію о стані кожного циліндру двигуна, таким чином забезпечується можливість усунення несправностей в роботі кожного циліндра» [7]. Характеристика зміни миттєвої температури відпрацьованих газів по довжині випускної труби (рис. 1.8) доводить, що температурні імпульси зберігають свою форму та характеру протікання вздовж системи випуску, послаблюються тільки амплітуда імпульсу та середнє значення температури відпрацьованих газів.

Наявні недоліки зазначених способів реалізації методу діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурою відпрацьованих газів наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Діагностування дизелів за температурою відпрацьованих газів

Спосіб вимірювання температури	Недоліки
1	2
Термопарами на виході окремо з кожного циліндра	<ul style="list-style-type: none"> <li>– велика інерційність (мають постійну часу більше 1 с);</li> <li>– необхідність внесення змін у будову системи випуску відпрацьованих газів двигуна (свердлення отворів, встановлення фітингів або штуцерів для кріплення термометрів тощо);</li> <li>– значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна</li> </ul>
З використанням безінерційних термопар або термометрів опору з дротів малих діаметрів (5...10 мк)	<ul style="list-style-type: none"> <li>– значна похибка визначення миттєвих значень температури відпрацьованих газів, що обумовлена наявністю певної інерційності засобів вимірювання температури;</li> <li>– складність розрахунків поправок на інерційність;</li> <li>– незначний ресурс термометрів з дротами малих діаметрів;</li> <li>– необхідність внесення змін у будову системи випуску відпрацьованих газів;</li> <li>– значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна</li> </ul>
За допомогою інфрачервоних термометрів та тепловізорів	<ul style="list-style-type: none"> <li>– значна похибка визначення фактичної температури відпрацьованих газів, що обумовлена необхідністю і складністю визначення впливу конфігурації випускного колектора на рух і розсіювання теплової енергії відпрацьованих газів та інерційністю розігрівання випускного колектору;</li> <li>– складність проведення розрахунків (які необхідно виконувати окремо для кожного типу двигуна)</li> </ul>
Акустичними датчиками температури	<ul style="list-style-type: none"> <li>– недосконалість конструкцій наявних акустичних датчиків ускладнює процес налаштування датчика, потребує значних витрат часу на аналіз сигналу (фільтрація від завад);</li> <li>– слабкий сигнал та наявність завад призводять до низької швидкодії та точності вимірювання</li> </ul>

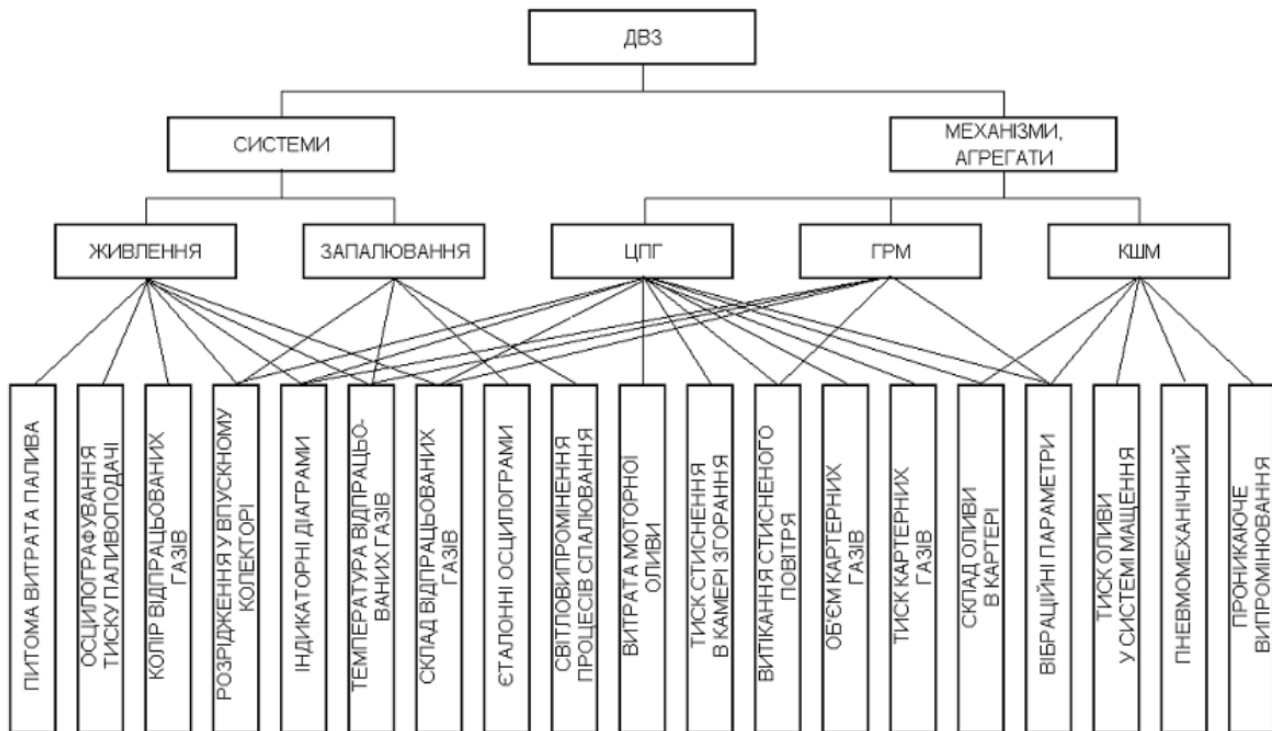
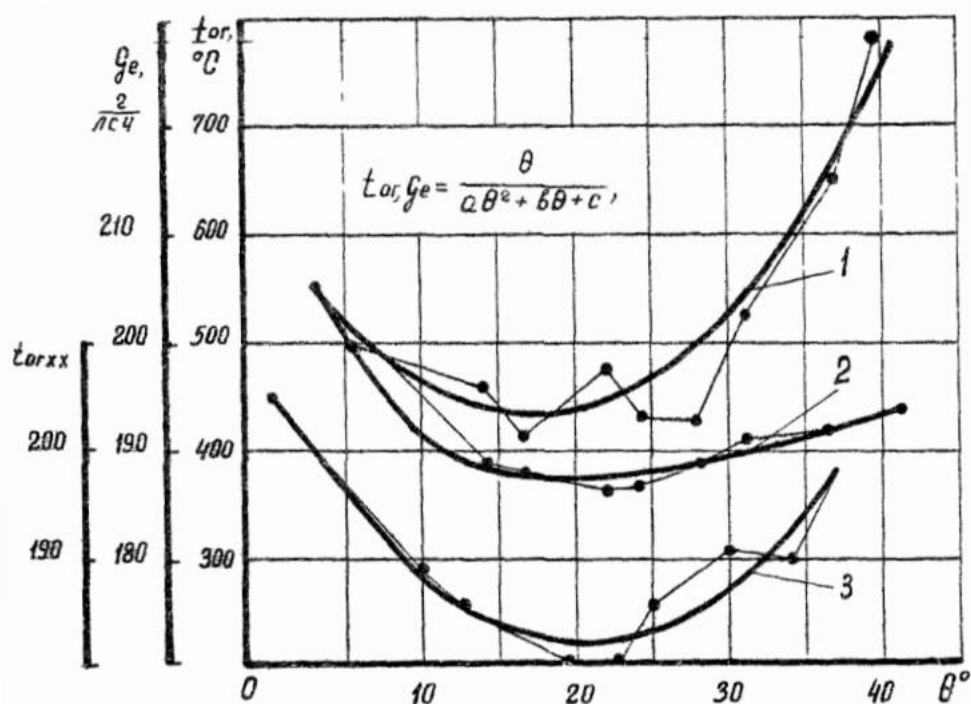
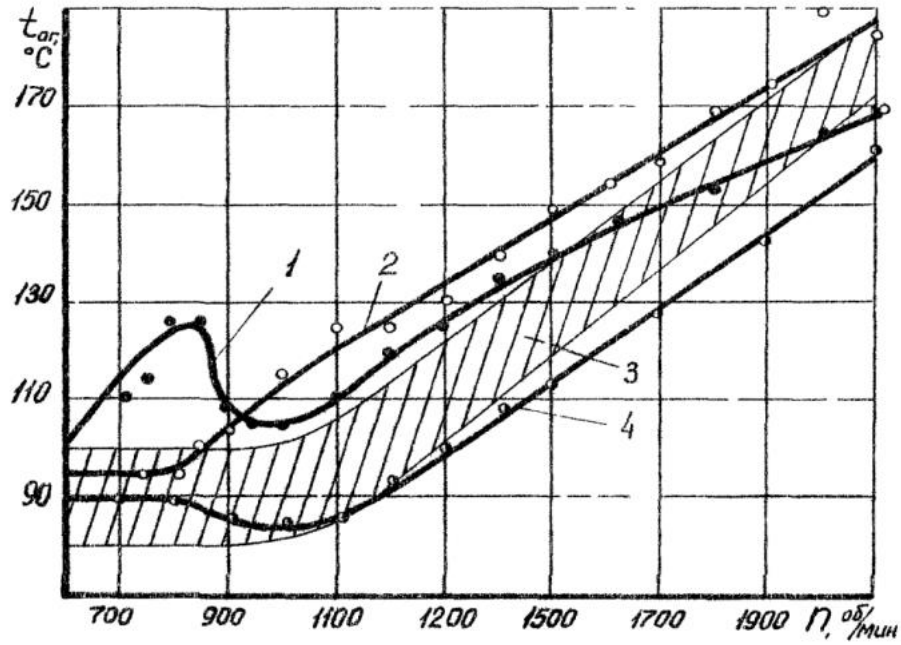


Рисунок 1.1 - Класифікація методів діагностування двигунів внутрішнього згорання



1 – питома витрата палива; 2 – температура відпрацьованих газів під навантаженням; 3 – температура відпрацьованих газів на холостому ході

Рисунок 1.2 - Залежність питомої витрати палива та температури відпрацьованих газів від кута випередження впорскування палива [7]



1 - несправна форсунка; 2 – збільшений зазор «клапан-коромисло»; 3 – справний стан; 4 – нещільність випускного клапана

Рисунок 1.3 - Зміна температури відпрацьованих газів дизеля при різних відмовах

[7]

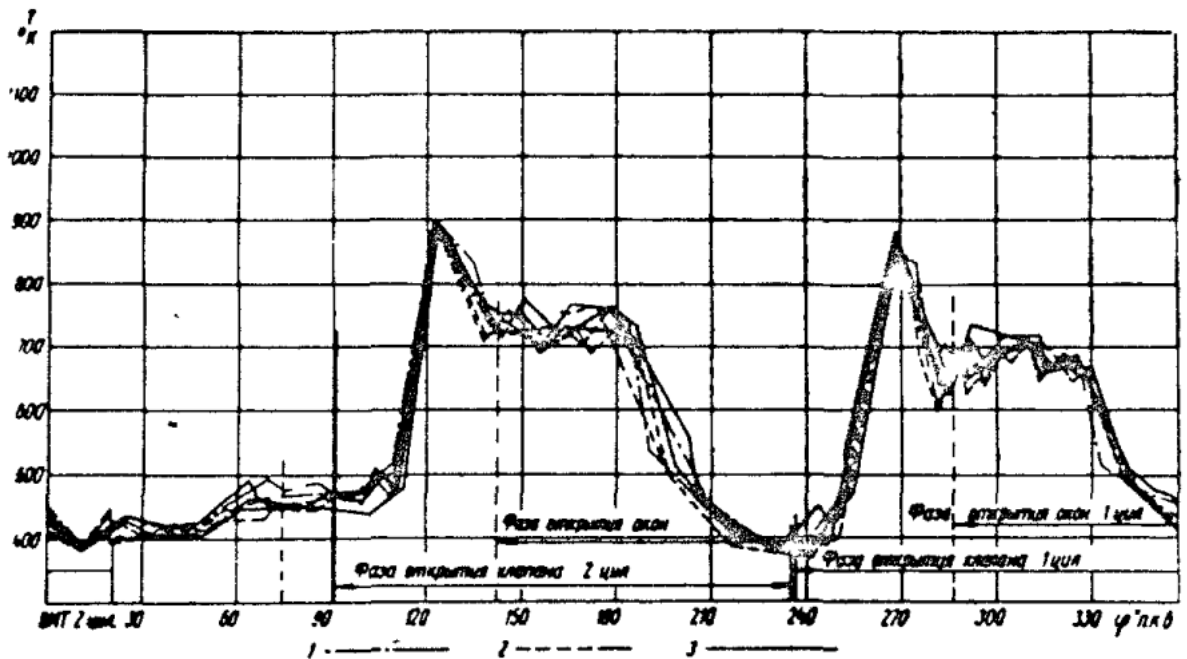


Рисунок 1.4 – Зміна температури відпрацьованих газів дизельного двигуна 5ДКРН

50/110 від кута повороту колінчастого вала [9]

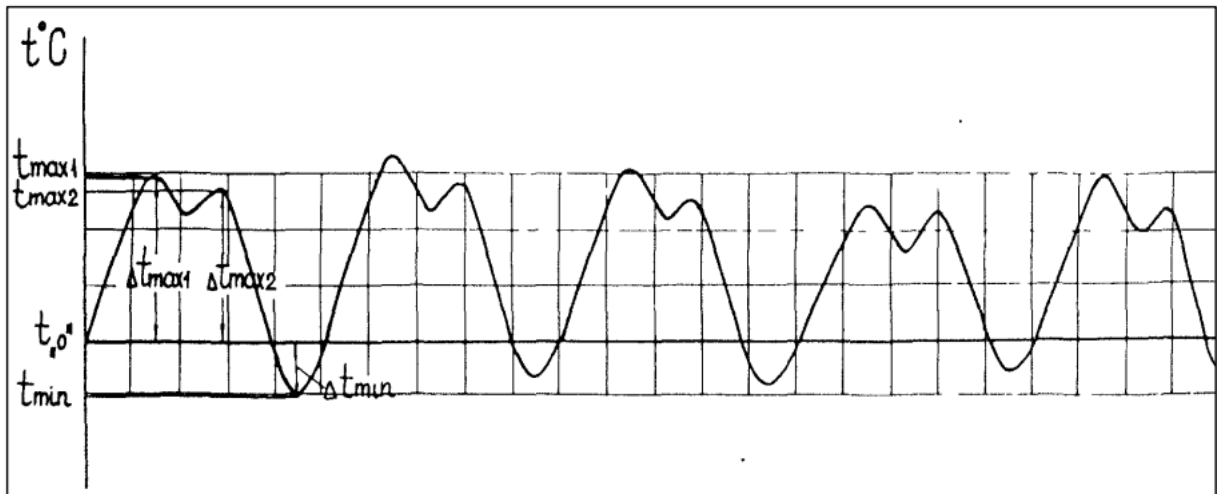


Рисунок 1.5 - Схематизована осцилограма миттєвих температур відпрацьованих газів у випускному трубопроводі [12]

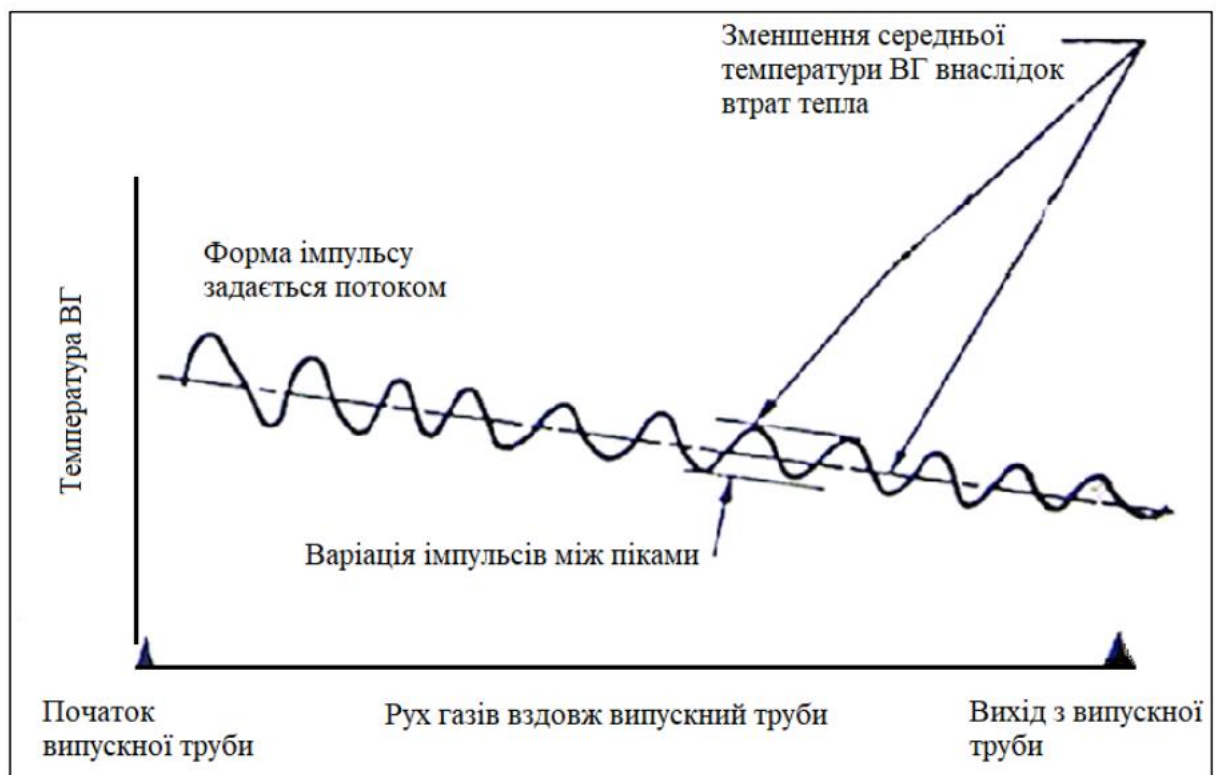


Рисунок 1.6 - Характеристика зміни миттєвої температури відпрацьованих газів по довжині випускної труби [15]

Аналіз існуючих методів і засобів виміру температури газів (рис. 1.9) показав, що застосовувані для промислових цілей технічні засоби малонадійні і мають постійну часу більш 1 с, що ускладнює їх використання, та обмежує інформативність при застосуванні, як діагностичний параметр. Для діагностування двигунів внутрішнього згорання необхідний засіб, що дозволяє реєструвати температуру відпрацьованих газів на вихідному зрізі вихлопної труби з частотою не нижче періоду повного циклу роботи двигуна:

$$T_{ц} = \frac{30 \cdot z}{n \cdot i} \quad (1.1)$$

де  $z$  - тактність двигуна;

$i$  - число циліндрів;

$n$  - частота обертання вала двигуна.

Така швидкодія вимірювального засобу забезпечить реєстрацію температурного імпульсу відпрацьованих газів роздільно по циліндрах.

Поставлене завдання вирішується шляхом застосування акустичного датчика температури, який, за рахунок високої швидкодії (швидкість спрацьовування  $>3 \cdot 10^3$  °C/с), дозволяє забезпечити вимірювання миттєвих значень температурних імпульсів відпрацьованих газів окремо кожного циліндра, що, в свою чергу, дає змогу удосконалити спосіб діагностування транспортних дизелів в умовах експлуатації без застосування навантажувальних стендів в режимах холостого ходу [12].

Відомо, що струмінь відпрацьованих газів складається з дискретних імпульсів, які утворюються окремими циліндрами. Температурні імпульси зберігають свою форму та характер протікання вздовж системи випуску, послаблюються тільки амплітуда імпульсу та середнє значення температури відпрацьованих газів [15]. Таким чином, діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурними імпульсами відпрацьованих газів можливо здійснювати шляхом встановлення акустичного датчика температури на виході вихлопної труби. Вимірювання температури кожного окремого імпульсу

струменя газів дає інформацію о стані кожного циліндру двигуна, що забезпечує можливість виявлення та усунення несправностей в роботі кожного циліндра.

Принцип дії акустичного датчика засновано на зв'язку швидкості поширення звуку в газі з його температурою.

Зв'язок швидкості поширення звуку в газі з температурою визначається наступним рівнянням:

$$c = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T}, \quad (1.2)$$

де  $c$  - швидкість поширення звуку в газі;

$k$  - показник адіабати;

$g$  - прискорення сили ваги;

$R$  - універсальна газова стала;

$T$  - температура газу.

Оскільки  $k$ ,  $g$  і  $R$  є постійними для даного складу газів, то швидкість звуку пов'язана лише з температурою, а наявність квадратного кореня в рівнянні свідчить про не лінійність залежності швидкості поширення звуку в газі від його температури.

Однак, як показують результати досліджень, у необхідному для цілей діагностування температурному діапазоні, ця нелінійність мінімальна і похибка виміру не перевищує 1% [16].

Експериментальними дослідженнями також підтверджений незначний вплив коливання складу відпрацьованих газів і наявності часток сажі у вихлопній трубі на швидкість поширення звуку (до  $\pm 1,7\%$  при зміні коефіцієнта надлишку повітря ( $\alpha$ ) від 1 до  $\infty$ , і менш 0,001% при зміні концентрації часток сажі від 0 до  $1,8 \text{ г/м}^3$ ) [17]. Усі ці результати вказують на можливість використання акустичного датчика для виміру температури відпрацьованих газів [7, 15, 17].

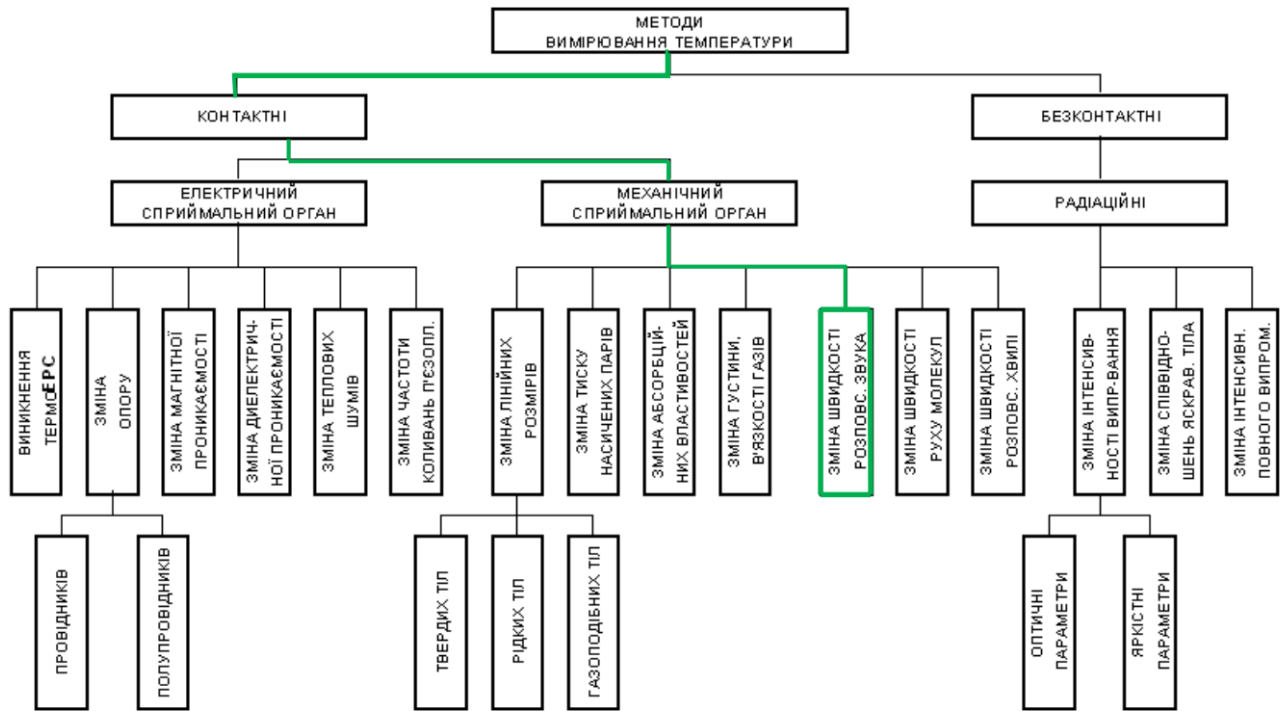


Рисунок 1.7 - Класифікація методів вимірювання температури

Як сигнал, що реєструє температуру газового потоку можуть використовуватися різні параметри акустичного сигналу, що змінюються в залежності від температури газового потоку (рис. 1.8). Це і час проходження імпульсного акустичного сигналу, і зміна частоти акустичного сигналу, і зрушення фаз при проходженні акустичного сигналу через струмінь газу.

Аналізуючи переваги та недоліки акустичних датчиків (рис. 1.8), слід зазначити, що найбільше відповідає цілям реєстрації швидкозмінюємої температури відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згоряння по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу - фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань [16, 19, 20].



Рисунок 1.8 - Класифікація акустичних термометрів

Забезпечення вільного потоку газів дозволяє зменшити сталу часу датчика та вплив інших температурних імпульсів. Вибір оптимальних конструктивних і газодінамичних параметрів резонатора значно збільшує сигнал, що реєструється. А дифузорний вхід і конфузорний вихід відпрацьованих газів зменшує шкідливі шуми при розширенні газів.

Для реалізації й підтвердження ефективності способу експрес-діагностування транспортних дизелів з використанням запропонованого фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань [21] розроблено макет та проведено його теоретичні і експериментальні дослідження.

#### 1.4 Запропонований датчик для вимірювання температури відпрацьованих газів

Акустичні датчики температури по методу вимірювання можна поділити на частотні та фазові (рис. 1.8). В частотноакустичних датчиках температури запропоновано принцип виміру зміни частоти коливання акустичного сигналу від зміни температури газу [17]. Переваги таких датчиків полягає у достатній швидкодії та значної точності вимірювання. Але складність реєстрації та вплив на точність виміру і роботоздатність цих датчиків з п'єзоакустичними перетворювачами вібрації та температури навколишнього середовища не дозволяє використовувати їх при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання. Недоліками струменевоакустичних датчиків температури газу є залежність сигналу від перепаду тиску у проточній камері гальмування та на соплі струменевого генератора, який для точного вимірювання температури повинен бути наближеним до критичного, вузький діапазон вимірюваних температур та висока чутливість до пульсуючої зміни тиску газів, які не дозволяють їх використовувати для вимірювання миттєвої температури пульсуючих потоків відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. Найбільш близьким до застосування в якості діагностичного обладнання для діагностування дизелів є акустичний датчик з резонатором коливань, який призначений для використання в системах автоматичного регулювання температури газів на виході камери згорання газотурбінних двигунів [28]. Недоліком зазначеного резонатора коливань акустичного термометра є висока чутливість на пульсуючу зміну тиску газів у резонуючій камері та її вплив на стабільність, точність і працездатність термометра в умовах вимірювання температури пульсуючих потоків відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. Метою винаходу в роботі є нове застосування акустичного датчика у якості діагностичного приладу для двигунів внутрішнього згорання та поліпшення стабільності, точності і працездатності шляхом виключення впливу пульсуючої зміни тиску газів на його роботу [21]. Поставлене завдання вирішено тим, що акустичний датчик (рис. 1.9)

оснащено компенсуючим каналом (трубопроводом), який призначений для вирівнювання тиску перед та за діафрагмою випромінювача звукових коливань, та який з'єднує камеру резонатора з тильною порожниною діафрагми, і складається із металевого резонатора акустичних коливань 1, який для зменшення завад внаслідок різкого розширення газів має дифузор на вході та конфузор на виході, випромінювача акустичних коливань 2, з'єданого за допомогою випромінюючого звуковода 3 з камерою резонатора 1, приймача 4 акустичних коливань, з'єданого за допомогою приймаючих звуководів 5 з камерою резонатора 1, та компенсуючого трубопроводу 6, який з'єднує камеру резонатора 1 з тильною порожниною діафрагми випромінювача 2.

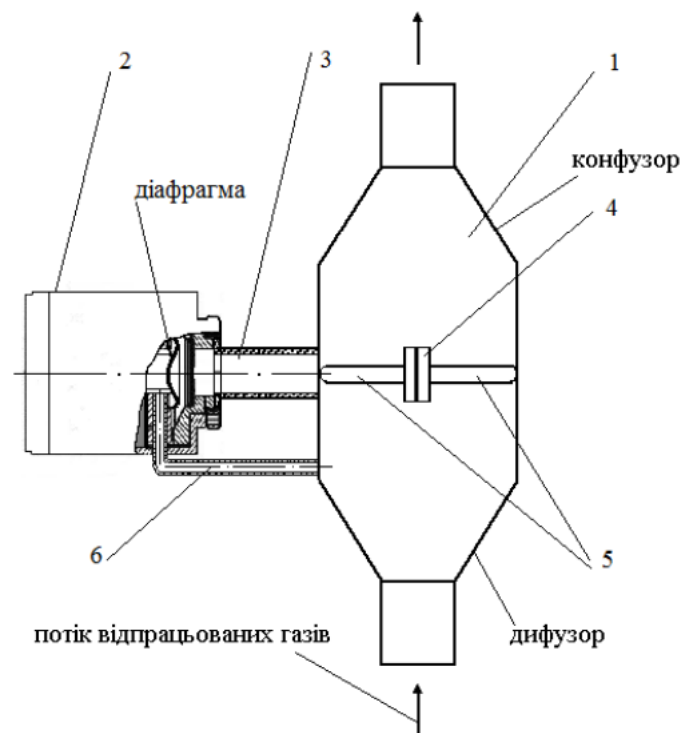


Рисунок 1.9 – Принципова схема фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань

Перешкоди, що виникають в наслідок впливу пульсуючої зміни тиску газів через випромінюючий звуковод 3 на діафрагму випромінювача 2, зменшуються за рахунок підводу у протифазі пульсуючого тиску газів з камери резонатора 1 до тильної порожнини діафрагми випромінювача 2 через компенсуючий трубопровід 6. В результаті чого виключається дія надлишкового пульсуючого тиску газів на

діафрагму випромінювача акустичних коливань та поліпшується стабільність, точність і працездатність акустичного датчика, що надає можливість для нового застосування датчика у якості вимірювального обладнання для вимірювання миттєвої температури пульсуючого потоку відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання.

Принцип вимірювання температури імпульсів відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання за допомогою фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань, блок-схема якого наведена на рис. 1.10, полягає у тому, що генератор електричних коливань 1 виробляє збуджуючі електричні коливання з частотою  $f_{зб}$ , які, через підсилювач коливань 2, подаються до фазоакустичного датчика температури 3 та фазового дискримінатора 5.

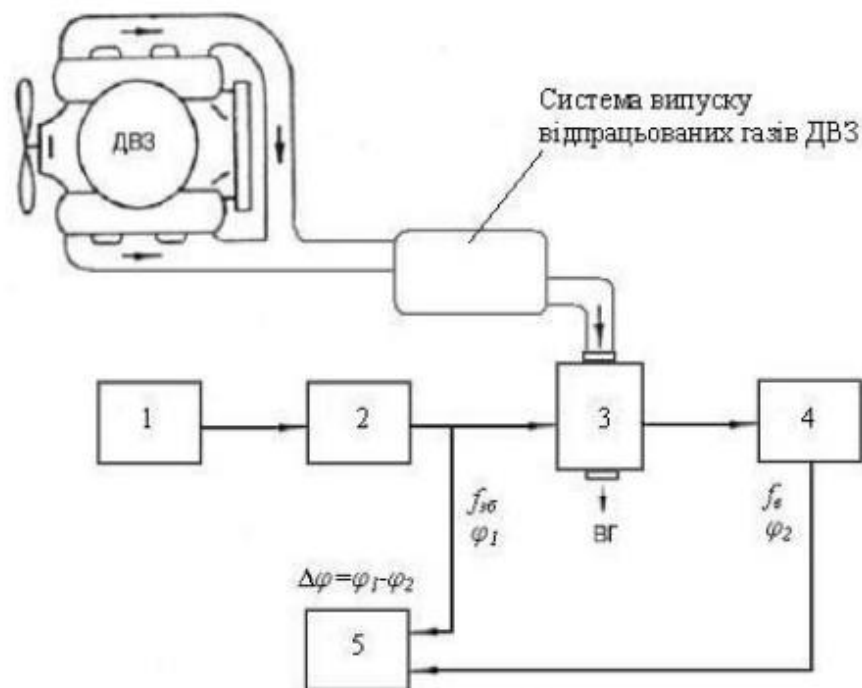


Рисунок 1.10 – Блок-схема вимірювання температури імпульсів відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання за допомогою фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань

У фазоакустичному датчику температури збуджуючі електричні коливання перетворюються в акустичні коливання, проходять через потік  $l_{зб}=\lambda/4$   $LR=\lambda/2$   $\lambda/4$  відпрацьованих газів та потрапляють до приймача акустичних коливань (на рис. 1.12 не показано) фазоакустичного 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  $fв$  ( $\varphi_2$ ) 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 відпрацьованих газів, що ґрунтується на залежності частоти  $f_0$  власних коливань відпрацьованих газів у фазо-акустичному датчику від температури цих газів.

При цьому, від співвідношення частот власних ( $f_0$ ) та збуджуючих ( $f_{зб}$ ) коливань змінюється зсув фаз ( $\varphi$ ) між вимушеними  $fв(\varphi_2)$  та збуджуючими  $f_{зб}$  ( $\varphi_1$ ) коливаннями.

Таким чином, за зміною частоти збуджуючих акустичних коливань  $f_{зб}$ , при якій у фазоакустичному датчику утворюється резонанс, та зсувом фаз  $\Delta\varphi$  між вимушеними  $fв(\varphi_2)$  та збуджуючими  $f_{зб}$  ( $\varphi_1$ ) коливаннями можна визначити миттєві значення температури відпрацьованих газів кожного циліндра.

## 1.5 Висновки до розділу 1

1. Встановлено, що ефективність експлуатації вантажних автомобілів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів, для активного впливу на який необхідна об'єктивна інформація, яка забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних методів та технічних засобів.

2. Умови експлуатації колісних транспортних засобів визначають необхідність вибору та розробки такого методу та засобу діагностування, який би забезпечував із заданою точністю швидке визначення технічного стану двигунів внутрішнього згорання безпосередньо на колісному транспортному засобі при

звичайному функціонуванні за допомогою не складних засобів технічного діагностування.

3. За результатами аналізу літературних джерел виявлено, що існуючі методи діагностування двигунів внутрішнього згорання мають велику розмаїтість і складність при реалізації в умовах експлуатації. Особливу складність при діагностуванні двигунів внутрішнього згорання, зокрема дизелів, представляє система живлення паливом, технічний стан якої визначає їх економічні та екологічні показники, відмови якої можуть досягати двох третин відмов двигуна.

4. Існуючі методи діагностування систем живлення двигунів внутрішнього згорання характеризуються складністю і дорожнечою застосовуваного устаткування, а інколи необхідністю часткового розбирання двигунів внутрішнього згорання і використання спеціальних навантажувальних стендів.

5. Встановлено, що одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних діагностичних параметрів, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів, є температура відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання. Реєструючи температуру відпрацьованих газів кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

6. Удосконалення способу діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурою відпрацьованих газів, з метою експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації, потребує створення засобу діагностування, який здатен із необхідною швидкістю та точністю визначати температуру відпрацьованих газів за окремими циліндрами.

7. Визначено, що для цілей експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації найбільш відповідають акустичні датчики температури, а саме фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань.

## 1.6 Мета і задачі дослідження

Відповідно до висновків по першому розділу, метою роботи є підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів удосконаленням способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за миттєвою температурою відпрацьованих газів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- виконати аналіз і вибір діагностичних параметрів, методів, способів та засобів діагностування;
- розробити та побудувати доцільну модель діагностування двигунів внутрішнього згоряння;
- розробити схему експрес-діагностування;
- провести дослідження впливу відмов двигунів внутрішнього згоряння на його енергетичні, екологічні, економічні показники, а також, на температуру відпрацьованих газів;
- виконати аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень;
- розробити технологічний процес діагностування двигунів внутрішнього згоряння на основі оптимізованого алгоритму діагностування;
- розробити рекомендації щодо впровадження в експлуатацію розробленого технологічного процесу.

## 2 РОЗРОБКА ДОЦІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ

### 2.1 Визначення двигуна як об'єкта діагностування

У практиці експлуатації та ремонту двигунів внутрішнього згоряння технічне діагностування допомагає вирішити два основних завдання – перевірку роботоздатності й пошук дефектів (відмов), який може охоплювати операції з регулювання окремих механізмів і систем.

Основними поняттями теорії технічного діагностування є: об'єкт, система, стан об'єкта, функціонування, роботоздатність, нероботоздатність, справність, несправність, відмова, перевірка, програма пошуку, тест, діагностичний параметр та інше.

Розрізняють прямі та непрямі діагностичні параметри. Прямі безпосередньо характеризують технічний стан об'єкта, а непрямі пов'язані з прямими параметрами функціональною залежністю. У даному дослідженні було використано діагностичні параметри та термінологію згідно з ГОСТ 20911-89 «Технічна діагностика. Терmini та визнаення».

Для розробки оптимізованого алгоритму експрес-діагностування при контролі роботоздатності двигунів внутрішнього згоряння було виконано:

- а) вивчення двигуна, як об'єкта діагностування;
- б) побудовано його діагностичну модель;
- в) здійснено аналіз моделі діагностування та обрано необхідну і достатню кількість діагностичних параметрів для контролю роботоздатності двигуна;
- г) на основі обраної сукупності діагностичних параметрів побудовано та оптимізовано алгоритм контролю роботоздатності двигунів внутрішнього згоряння.

Вивчення двигунів внутрішнього згоряння, як об'єкту діагностування охоплює:

- вивчення нормального функціонування двигунів з виділенням елементів і зв'язків між ними, зокрема зворотних;
- виділення їх можливих станів та аналіз технічних можливостей контролю ознак, які характеризують стан;
- збір і обробку статистичних матеріалів, які дають змогу визначити розподіл ймовірностей можливих станів двигунів та закономірності виявлення відмов їх окремих елементів;
- розробку та дослідження необхідних способів, засобів та параметрів діагностування;
- збір експериментальних даних про витрати (часу, енергії, вартості), які пов'язані із здійснюванням необхідних перевірок.

Об'єкт діагностування в технічній діагностиці – це такий технічний об'єкт, щодо якого вирішується певна діагностична задача. У загальному випадку діагностична задача – це задача по встановленню ступеня відповідності технічного об'єкта встановленим до нього вимогам.

Прийнято розрізняти дві основні діагностичні задачі: задача контролю технічного стану (пряма задача), і задача пошуку дефектів (зворотна задача). Діагностичні задачі вирішуються за допомогою діагностичних (математичних) моделей.

Стандартизованим визначенням діагностичної моделі є: діагностична модель – це формалізований опис об'єкту діагностування, що необхідний для вирішення задач діагностування. При цьому, опис може бути представлений у аналітичній, табличній, векторній, графічній та іншій формами [3]. Іншими словами, діагностична модель - це будь-яке знання, що використовується в процесі вирішення діагностичної задачі і представлене у певному вигляді чи формі.

Різновид форм діагностичної моделі є широким - від уяви дефектів і їх ознак окремим спеціалістом, що практично виконує роботи по обслуговуванню і ремонту об'єкту діагностування до математичних форм, реалізованих в формальних діагностичних програмах. Формалізований опис (математична

модель) об'єкта діагностування може бути представлено в різноманітних формах [4, 6, 9 - 22]:

- в аналітичній (у вигляді диференціальних або алгебраїчних рівнянь);
- в табличній формі (у вигляді таблиці станів);
- в графічній (у вигляді графів причинно-наслідкових зв'язків);
- у формі логічних співвідношень і т. д.

Моделі можуть бути задані в явному або неявному вигляді.

Явна модель об'єкта діагностування включає в себе сукупність формалізованих описів всіх обговорених нормативною документацією технічних станів, яке підлягають діагностуванню.

Неявна модель об'єкта технічного діагностування містить формалізований опис одного технічного стану та правила отримання описів інших технічних станів на основі заданого. Причому, найчастіше математична (діагностична) модель визначає справний стан. Моделі для інших технічних станів отримують на основі моделі справного стану і правил, що зв'язують конкретну несправність з параметрами технічного стану.

Також, необхідно відзначити, що пряма і зворотна задачі є по суті вираженням в технічній діагностиці двох фундаментальних підходів теорії систем. Задачею контролю технічного стану є вираження функціонального підходу, а задачею пошуку дефектів - вираження структурного підходу. Використовуючи готовий математичний апарат, для вирішення першої задачі застосовують абстрактні моделі (диференційне рівняння заданого порядку, аналітичний вираз логічної функції, абстрактний кінцевий автомат), а для вирішення другої - структурні моделі (структурні, комбінаційні, послідовні схеми). Слід зазначити, що кожна діагностична модель має свої особливості.

При вирішенні задачі пошуку дефектів використовуються різноманітні знання, які з метою їх систематизації можна поділити на три види знань:

- знання про можливі дефекти, про їх причини та щодо їх прямих і непрямих показниках. Окремий дефект не є ізольованим явищем. На безлічі можливих дефектів об'єктивно можуть існувати будь-які відносини. В роботі [22]

досліджуються часові відносини, причинно-наслідкові зв'язки, а в роботі [23] - відношення еквівалентності. Також на безлічі можливих дефектів може бути задана міра можливості, вона досліджується в роботі [24];

- знання про структурну організацію об'єкта діагностування. Для об'єктів з функціональним процесом цей вид знань доповнюється знанням про цей процес. Необхідно розрізняти об'єктивну (фізичну), функціональну і діагностичну структури об'єкта. Дві останні узагальнює термін "логічна структура". Перша визначається складально-розбиральними, кріпильними, монтажними і т.п. відносинами між неподільними частинами об'єкта; вона існує об'єктивно в єдиному варіанті.

Друга може мати кілька різновидів залежно від ступеня деталізації функціональних елементів і визначається динамічними або прагматичними відносинами на безлічі цих елементів. Множина варіантів цієї діагностичної структури обумовлюється в першу чергу заданою ззовні глибиною пошуку дефектів;

- знання щодо можливих діагностичних експериментів. Діагностичний експеримент є процес оцінювання діагностичних показників при заздалегідь визначених умовах з метою локалізації дефектів.

Основними способами оцінки діагностичних показників є: органолептичне оцінювання, вимірювання, контроль, заміна в об'єкті діагностування підозрюваних у несправності елементів на завідомо справні, перевірка підозрюваних у несправності елементів на завідомо справному об'єкті, спостереження за реакцією об'єкту діагностування при подачі стимулюючої дії та інш.

Незважаючи на відмінність в підході до методів діагностування, способам отримання, обробки, уявлення і використання інформації в процесі експлуатації дизелів, всі розробники однаково формулюють основне завдання: система технічного діагностування повинна забезпечити визначення технічного стану дизеля його вузлів і деталей без розбирання безпосередньо в процесі його функціонування, а також прогнозування залишкового ресурсу і визначення

необхідних термінів профілактики і ремонту, виходячи з дійсного технічного стану.

У загальній постановці математична модель об'єкта технічної діагностики характеризується як така, в який технічний стан об'єкта описується внутрішніми параметрами  $X$ , на вхід об'єкта подаються зовнішні збудження  $Z$  (вхідні параметри), а на виході об'єкта спостерігається відгук  $Y$  у вигляді вихідних (діагностичних) параметрів  $Y$  [6, 22, 23]. У найзагальнішому випадку співвідношення між зазначеними параметрами встановлюють вводячи поняття оператор об'єкта діагностування  $A$  (). При цьому математична модель у загальному вигляді матиме такий вигляд:

$$Y = A \cdot (Z, X). \quad (2.1)$$

Вводячи індекси  $i$  для різних станів:  $0$  - справне,  $i$  -  $i$ -тий несправний стан; та індекси  $j$  для різних зовнішніх збуджень рівняння (2.1) можна переписати у вигляді системи рівнянь

$$\begin{cases} y_0^j = A \cdot (Z_0, X_j) \\ y_i^j = A \cdot (Z_i, X_j) \end{cases} \quad (2.2)$$

де  $i = 1 \dots k$ ;

$j = 1 \dots m$ .

Система рівнянь (2.2) складається з  $k+1$  рівнянь і вдає із себе явну математичну модель об'єкта діагностування. Для спрощення запису внутрішні параметри  $X$  (параметри технічного стану) включають в оператор і систему рівнянь (2.2) при будь-якому зовнішньому збудженні  $X$  записують у вигляді

$$\begin{cases} y_0 = A_0 \cdot (X) \\ y_1 = A_1 \cdot (X) \end{cases} \quad (2.3)$$

Такий спосіб завдання математичної моделі є дуже загальним. Вибір конкретної форми оператора і є вибір конкретної математичної моделі об'єкта діагностування. Цей вибір залежить від фізичних властивостей об'єкта, що діагностується, визначається умовами діагностичної задачі і прийнятими методами її вирішення.

При розробці систем технічного діагностування доводиться вирішувати ряд досить складних проблем. З даних проблем необхідно виділити наступні питання, без вирішення яких неможливо створити систему технічного діагностування дизеля [24]:

1. Дослідження дизеля і його складових частин як об'єкта діагностування.
2. Аналіз фізичних процесів, що відбуваються в системах об'єкта, з метою виявлення механізму виникнення і ознак прояви ушкоджень (відмов). Розробка фізичної моделі об'єкта діагностування.
3. Вибір структурних параметрів, що характеризують фізичний і технічний стан об'єкта діагностування.
4. Вибір інформативних параметрів і формування діагностичних, що дозволяють в процесі експлуатації отримати інформацію про технічний стан об'єкта діагностування.
5. Вибір методів діагностування та технічних засобів, з урахуванням необхідної точності вимірювань і можливості автоматизації процесів збору і обробки інформації і результатів діагностування об'єкта.
6. Розробка алгоритмів діагностування та прогнозування об'єкта.
7. Синтез системи технічного діагностування.
8. Дослідна експлуатація розроблених систем технічного діагностування.

Як вже зазначалося, об'єкт діагностування має нескінченну множину технічних станів. Практично діагностичну задачу при нескінченному числі технічних станів вирішити неможливо. Тому в будь-якому випадку необхідно виділити кінцеву безліч технічних станів, які потрібно діагностувати. Таким чином, при практичному вирішенні діагностичної задачі оператор  $A$  для

неперервних об'єктів замінюється гібридним, які реалізують на виході кінцеве безліч значень діагностичних ознак.

Для переходу від нескінченної безлічі технічних станів, які є реальними у житті, до дискретної безлічі технічних станів, які можна діагностувати, вводиться поняття елементарна перевірка об'єкта [22]. Процес діагностування (діагностичний експеримент), складається з окремих випробувань, які прийнято називати елементарними перевірками. Елементарна перевірка об'єкта - це процедура подачі на об'єкт окремого (робочого або тестового) впливу і зняття з об'єкта відповідної відповіді (реакції), іншими словами – це акт одноразової оцінки певного діагностичного параметра.

Оцінка діагностичного параметра проводиться в заздалегідь фіксованих місцях об'єкту діагностування, які ще прийнято називати контрольними точками. Під час елементарної перевірки на об'єкту діагностування здійснюється певний вплив та спостерігається його реакція на цей вплив. Відомо, що об'єкт діагностування, який знаходиться в різних технічних станах, може видавати різні реакції при одній і тій же елементарній перевірці. Розрізняють три види елементарних перевірок:

- перший вид - фіксується значення вхідного впливу і спостерігається реакція в декількох контрольних точках;
- другий вид - подається певна послідовність вхідних впливів і спостерігається послідовність реакцій в одній контрольній точці;
- третій вид (загальний випадок) - подається послідовність вхідних впливів і спостерігається більше однієї контрольної точки.

Результат діагностичного експерименту завжди випадковий, так як, у разі якщо він заздалегідь зумовлений, то проводити його нема сенсу. Таким чином, будь-який процес діагностування включає послідовності елементарних перевірок при відомих умовах і заданому наборі контрольних точок.

В рамках структурного підходу поняття елементарних перевірок застосовують також до окремих частин об'єкту діагностування або їх сукупностей. В такому випадку передбачається доступність входів і виходів цих

частин. Очевидно, що даний об'єкт діагностування характеризується кінцевою безліччю можливої множини елементарних перевірок.

Формально для об'єкта діагностування, що складається з  $n$  блоків, елементарні перевірки можна позначити  $n$  розрядним двійковим набором по одному розряду для кожного блоку [6, 22, 23]. Кожна елементарна перевірка встановлює справність або несправність групи з  $k$  блоків. Решта  $n-k$  блоків залишаються неперевіреними.

Різні елементарні перевірки можуть мати різну величину  $k$  і різний склад охоплених перевіркою блоків.

Нуль на  $i$ -му місці в довічнім наборі даної елементарної перевірки означає, що  $i$ -й блок об'єкту діагностування охоплений перевіркою і є справним, якщо результат перевірки позитивний.

При негативному результаті формулюється висновок про те, що відмовив щонайменше один з блоків які мають нуль в двоїчному наборі цієї елементарної перевірки.

Одиниця на  $i$ -му місці вказує, що  $i$ -й блок даної елементарної перевірки не охоплений.

При формальному розгляді можна вважати, що існує стільки різних елементарних перевірок даного об'єкта діагностування, скільки може бути різних  $n$ -розрядних двійкових наборів.

Перевірка, що має одиничний набір, не дає корисної інформації, її слід виключити.

Тоді загальне число елементарних перевірок дорівнюватиме  $2^n - 1$ . Слід зауважити, що при дослідженні дійсних об'єктів діагностування не всі перевірки можуть виявитися технічно здійсненними.

Залежно від характеру послідовності елементарних перевірок розрізняють два основні способи пошуку дефектів: комбінаційний і послідовний.

При використанні першого способу технічний стан об'єкта діагностування визначається шляхом виконання завданого числа елементарних перевірок, порядок здійснення яких байдужий. Виявлення дефектних блоків проводиться

після проведення всіх заданих елементарних перевірок. З цією метою проводиться аналіз результатів проведених перевірок. Для даного способу характерні такі ситуації, коли не всі результати виконаних елементарних перевірок необхідні для визначення стану об'єкта діагностування. При використанні другого способу перевірки, здійснення яких достатньо для розрізнення всіх заздалегідь заданих технічних станів об'єкта діагностування, виконуються в деякому порядку. Результат кожної елементарної перевірки аналізується безпосередньо після його отримання, і якщо технічний стан об'єкта діагностування ще не визначено, то виконується наступна перевірка.

Порядок виконання елементарних перевірок може бути строго фіксованим, або ж залежати від результатів попередніх перевірок. Тому алгоритми, що реалізують другий спосіб, можна розділити на умовні, в яких кожна наступна елементарна перевірка призначається в залежності від результату попередньої, і безумовні, в яких елементарні перевірки повинні виконуватися в деякому заздалегідь фіксованому порядку.

## 2.2 Побудова функціональної та функціонально-логічної моделей двигуна

Функціональна діагностична модель може бути використана при діагностуванні розгалужених ланцюгів зв'язків функціональних елементів двигунів внутрішнього згорання при структурному підході до аналізу топології діагностичної моделі.

Функціональні діагностичні моделі відображають сукупність операцій, які виконуються двигуном і його окремими частинами при функціонуванні. У якості функціональної діагностичної моделі можуть розглядатися схеми зв'язків між окремими елементами, діаграми проходження сигналів або алгоритми функціонування.

Для побудови функціональної моделі об'єкта діагностування задаються безліччю попарно різних станів  $S: S = \{S_i\}$ , де  $i = 1 \dots n$ , безліччю попарно різних перевірок  $P = \{p_j\}$ ,  $j = 1 \dots m$  і множиною результатів перевірок  $A = \{a_{ij}\}$ .

З функціональною моделлю подібна логічна модель. Вона є більш простою і зручною моделлю, використовуваної для діагностування об'єктів безперервного дії. Ця модель використовується для об'єктів, що мають чітко виражені функціональні блоки.

При побудові логічної моделі кожен з параметрів вхідного і вихідного сигналів окремого блоку видається окремим входом. Внаслідок цього деякі зв'язки структури що діагностується виявляться «розділеними», кожен блок функціональної схеми заміниться декількома блоками, які мають по одному входу і кілька істотних для даного входу виходів.

В окремому випадку логічна модель може збігатися з функціональною. Для побудови функціональної та логічної моделей доцільно розглядати їх функціональну схему, коли кожен функціональний елемент є елементом функціональної або декількома елементами логічної залежності від кількості виходів.

При побудові функціональної діагностичної моделі приймаються наступні припущення [6, 22, 23]:

1. Всі функціональні елементи досліджуваного об'єкта діагностування представляються в моделі сукупністю функціонально пов'язаних між собою логічних блоків.

2. У кожного логічного блоку може бути тільки один вихід і необмежену кількість входів.

3. Кожен функціональний елемент може перебувати в одному з двох несумісних станів: роботоздатний чи не роботоздатний. Реакція роботоздатного елемента вважається допустимою. Передбачається також, що допустима реакція будь-якого елемента має місце тільки в тому випадку, якщо всі вхідні впливи, прикладені до цього елемента, є допустимими.

4. Кожному стану об'єкта діагностування відповідає відмова тільки одного елемента (або відмови відсутні).

Кожен можливий стан об'єкта діагностування, що складається з  $N$ -елементів, можна визначити  $N$ -мірним вектором станів  $S$ ,  $v$ -я компонента якого дорівнює

одиниці, якщо сигнал на виході  $\nu$ -го елемента задовольняє вимогам ( $\nu$ -й елемент роботоздатний, вплив, прикладена до  $\nu$ -му елементу, є допустимим), і дорівнює нулю в протилежному випадку.

Для діагностики системи задаються також всі можливі перевірки, які будуть виконуватися для визначення того чи іншого стану системи. Кожна перевірка може мати два результати: позитивний, що позначається одиницею, якщо реакція контрольованого елемента допустима, і негативний, що позначається нулем, якщо реакція цього елемента є неприпустимою. Всі перевірки вважаються рівноцінними.

Для діагностування реальної системи в кожному конкретному випадку задається безліч перевірок  $\Pi = \{\pi_i\}; i = 1, \dots, m$ . Кожна перевірка дозволяє встановити, якому результату цієї перевірки (позитивному чи негативному) належить підмножина станів, що складається з  $k$ -елементів.

На основі логічного аналізу функціональної моделі будується таблиця станів, в якій число стовпців відповідає числу основних діагностичних ознак (числу перевірок). Кожен рядок таблиці - це результати перевірок певного стану.

Аналіз літературних джерел [12, 13] показує, що таблиці станів, одержувані в результаті аналізу функціональної моделі системи, мають ряд властивостей:

1. При наявності в системі зворотних зв'язків в таблиці з'являються тотожні рядки і стовпці, які свідчать про порушення однозначності відповідності між станами об'єкта діагностування сукупності різних чисельних значень системи перевірок. Такі стани називають невиразними, а перевірки еквівалентними.

Перевірку, яка в таблиці станів представлена одними одиницями або одними нулями, називають нерозрізненою перевіркою і виключають з розгляду. Для виключення нерозрізнених станів необхідно ввести в таблицю додаткові перевірки або змінити структуру об'єкта діагностування, обірвавши зворотні зв'язки системи. Тоді заданий безліч перевірок дозволить однозначно визначити будь-який стан об'єкта діагностування.

2. Якщо в об'єкті діагностування передбачається наявність відмови одного і тільки одного елемента системи, то об'єкт діагностування можна представити у

вигляді орієнтованого графа. У цьому випадку безліч можливих станів об'єкта діагностування буде еквівалентно безлічі його елементів.

Після аналізу моделі та складання таблиці станів вибирається можна вирішити завдання діагностування.

Якщо вибирається завдання визначення роботоздатності, то для її вирішення відбирається своя сукупність перевірок  $S_{np}$ , якщо вибирається завдання пошуку виниклого дефекту, то для її вирішення вибирається теж своя сукупність перевірок  $S_{nd}$ .

Для вибору сукупності оцінюваних прямих діагностичних параметрів, при вирішенні задачі визначення роботоздатності попарно порівнюють результати перевірок (рядки таблиці станів). Перший рядок (вектор перевірок, відповідний роботоздатному стану об'єкта діагностування) порівнюється з подальшими рядками. Результати порівняння заносять в таблицю, в якій в кожному рядку стоїть одиниця або нуль. Нуль - якщо перевірка дала однакові результати, і одиниця - якщо перевірка дала різні результати.

Виконуючи аналіз отриманої таблиці, виключають рядки нерозпізнаних станів і складають алгоритм перевірки роботоздатності, т. е. визначають скільки і які перевірки необхідно виконати, щоб визначити роботоздатність об'єкта діагностування. Для цього відбирають з усіх перевірок тільки ті, які дозволяють встановити, що об'єкт знаходиться в роботоздатному стані.

Для вирішення завдань пошуку дефекту визначають сукупність  $S_{pd}$ , для цього попарно порівнюють результати перевірок всіх станів і складають таблиці. Після видалення рядків нерозпізнаних станів визначають мінімальну кількість перевірок, однозначно ідентифікують дефект. Для цього вибирають 82 таку кількість перевірок, щоб в кожному рядку була хоча б одна одиниця (тоді відібрані перевірки будуть розрізняти все поєднання станів).

Розглянуті види моделей застосовуються при реалізації допускових методів технічного діагностування. Застосування допускових методів не завжди ефективно, так як необхідно узгодити допуски на вихідні сигнали одних

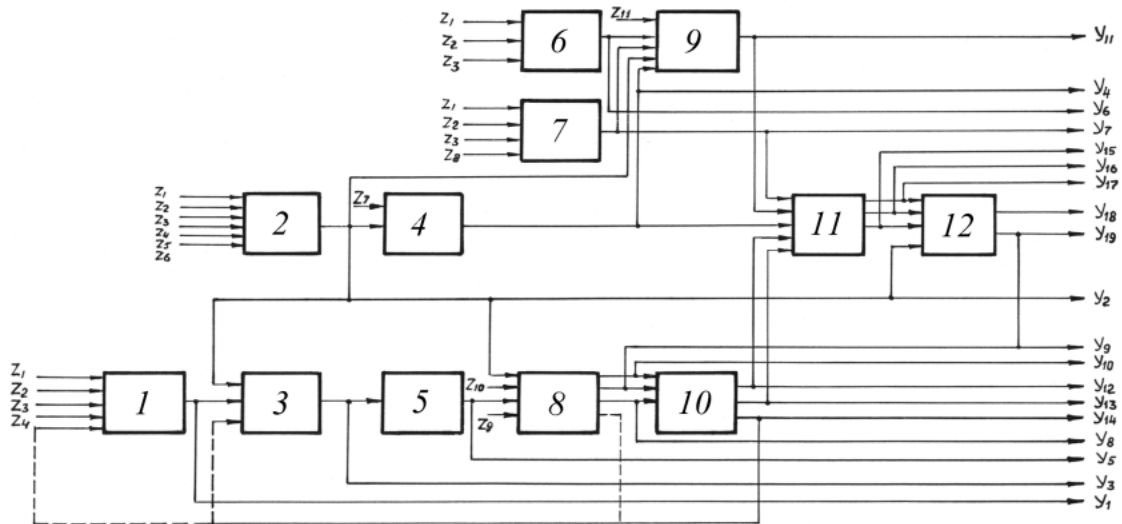
складових частин з системою допусків на вхідні сигнали інших складових частин, безпосередньо пов'язаних з першими.

Крім того, використання функціональних і логічних моделей не дозволяє розрізняти дефекти блоків, охоплених зворотним зв'язком, так як поява неприпустимої реакції на виході будь-якого блоку контуру зворотного зв'язку призводить до появи неприпустимих реакцій на виходах всіх інших блоків, що входять в цей контур. Тому реакції всіх блоків, охоплених зворотним зв'язком, завжди мають одне і те ж значення.

Ця обставина призводить до необхідності розривати зворотні зв'язки в об'єкті діагностування, що не завжди є можливим. Рішення такого роду задач вимагає залучення більш складних математичних моделей, що описують об'єкт більш точно, ніж моделі логічного типу. Тому, для вирішення завдання пошуку дефекту, як правило, спочатку розглядається діагностична модель логічного типу, а потім, при необхідності, залучаються складніші аналітичні моделі для окремих частин і блоків.

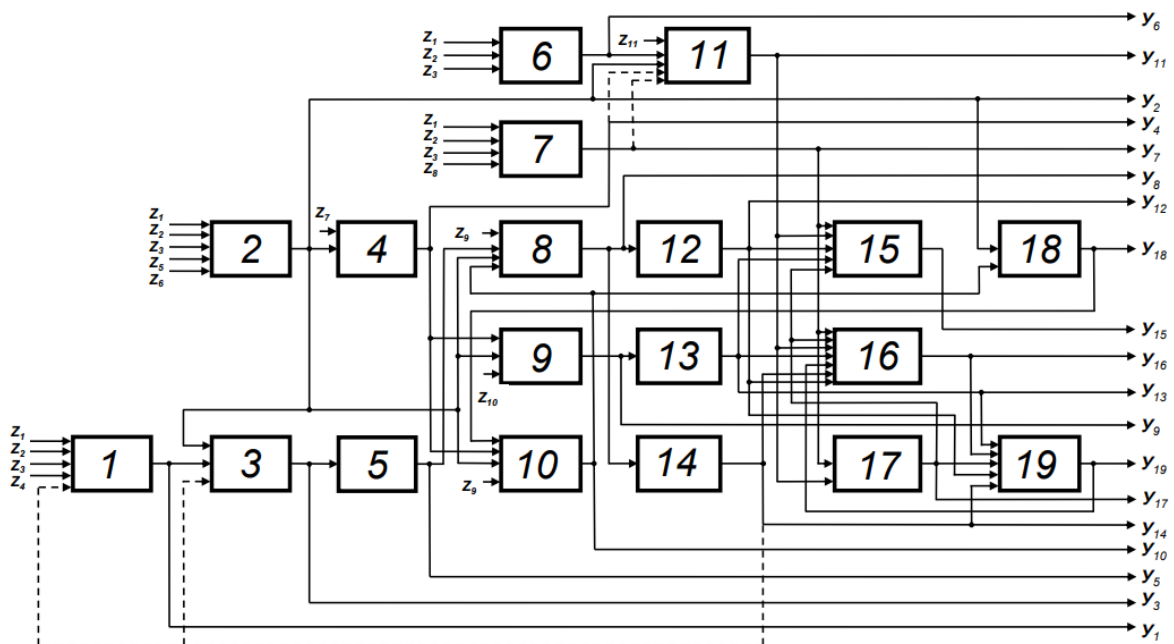
Для визначення, у якому з безлічі можливих помітних станів знаходиться дизель, необхідно знати загальну кількість можливих станів його функціональних елементів. Аналіз конструкції та функціонування дизеля як складного аналогового об'єкта дав змогу представити його спочатку у вигляді функціональної моделі (рис. 2.1), а потім - у вигляді схеми (рис. 2.2) функціонально-логічної моделі (ФЛМ) шляхом розбивки його систем і механізмів на функціональні блоки та функціональні елементи, із зазначенням характеру зв'язків між ними. Так на схемі функціонально-логічної моделі знаком Z - позначені зовнішні впливи, а знаком У - вихідні сигнали.

Враховуючи ординарність потоку відмовлень у дизелів колісних транспортних засобів, можна припустити, що кожен функціональний елемент може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - роботоздатному та не роботоздатному.



1 – паливний бак; 2 – пусковий пристрій; 3 - паливопідкачувальний насос; 4 – система мащення; 5 – паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 – система охолодження; 8 – паливний насос високого тиску; 9 – газораспределительний механізм; 10 - форсунки; 11, 12 циліндропоршневої групи та кривошипношатунного механізму

Рисунок 2.1 – Функціональна 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 - функціональних елементів паливного насосу високого тиску; 11 – механізм газорозподілу; 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 механізму газорозподілу

Рисунок 2.2 – Функціонально-логічна модель дизеля

А вихідні сигнали кожного функціонального елемента являють собою можливу кількість перевірок (діагностичних параметрів).

У дизеля можна виділити елементи, кожний з яких характеризується розпізнавальними станами. Щоб визначитись, у якому з безлічі можливих помітних станів перебуває дизель, необхідно знати загальну кількість можливих станів його функціональних елементів.

У технічній діагностиці реально використовуються тільки два стани – зазначені вище роботоздатний та відмова.

У такому випадку можлива кількість станів двигуна, який складається з  $N$  елементів, буде дорівнювати  $2^N$ , із яких розпізнають один роботоздатний стан –  $S_o$  та  $2^N - 1$  зі станів відмов –  $S_s$ . Однак розпізнати таку кількість станів під час діагностування двигунів практично неможливо.

### 2.3 Аналіз статистичних даних відмов елементів двигуна та їх ймовірностей

Для того, щоб модель найбільш повно відповідала реальному стану дизеля в експлуатації крім функціональних і логічних зв'язків враховувались ймовірності станів його систем та механізмів. Також, для зменшення кількості розпізнавальних станів за результатами статистичних даних підконтрольної експлуатації дизельних двигунів, встановлених на автомобілях КрАЗ, здійснено дослідження їх систем та механізмів з аналізом розподілу ймовірностей можливих станів і закономірності виявлених відмов [10].

Значення ймовірностей безвідмовної роботи ( $P_i$ ), представлені в табл. 2.1, показують, що протягом усієї підконтрольної експлуатації надійність кривошипношатунного механізму і системи живлення паливом безупинно знижується, а надійність циліндропоршневої групи підтримується практично на одному рівні, причому інтенсивність відмовлень залишається практично постійною протягом усього терміну експлуатації.

Таблиця 2.1 - Імовірності безвідмовної роботи ( $P_i$ ) і параметри потоку відмовлень ( $\Omega$ ) механізмів і систем дизельних двигунів

Інтервал пробігу, тис. км	Найменування механізмів і систем дизелів							
	КШМ		ЦПГ		МГР		Система живлення	
	$P_i$	$\Omega \cdot 10^{-5}$	$P_i$	$\Omega \cdot 10^{-5}$	$P_i$	$\Omega \cdot 10^{-5}$	$P_i$	$\Omega \cdot 10^{-5}$
0...8	0,999	0,000	0,973	0,003	0,972	0,003	0,999	0,400
8...16	0,999	0,000	0,880	0,015	0,987	0,002	0,996	0,460
16...24	0,999	0,000	0,875	0,016	0,889	0,014	0,994	0,460
24...32	0,999	0,000	0,875	0,016	0,972	0,003	0,991	0,690
32...40	0,959	0,005	0,931	0,009	0,931	0,009	0,909	0,781
40...48	0,999	0,000	0,805	0,024	0,875	0,016	0,759	1,631
48...56	0,917	0,010	0,834	0,020	0,945	0,007	0,650	0,819
56...64	0,973	0,003	0,889	0,014	0,945	0,007	0,588	1,434
64...72	0,862	0,017	0,847	0,019	0,972	0,003	0,558	0,615
72...80	0,945	0,007	0,931	0,009	0,959	0,005	0,552	0,515
80...88	0,785	0,025	0,880	0,015	0,972	0,003	0,491	0,945
88...96	0,917	0,010	0,889	0,014	0,987	0,002	0,410	0,785
96...104	0,787	0,010	0,834	0,020	0,999	0,000	0,389	0,917

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

Найменування функціональних елементів, їхні вихідні сигнали ( $Y$ ) та ймовірності безвідмовної роботи ( $P_i$ ), отримані в результаті обробки статистичної інформації, представлені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Найменування функціональних елементів дизеля, їхніх вихідних сигналів і ймовірності безвідмовної роботи

№	Найменування функціональних елементів	Вихідні сигнали ( $Y$ )	Імовірність безвідмовної роботи ( $P_i$ )
1	Паливний бак	Розрідження на вході в паливопідкачувальний насос	0,87
2	Пусковий пристрій	Пускова частота обертання	0,96
3	Паливопідкачувальний насос	Тиск палива за паливопідкачувальним насосом	0,97
4	Система мащення	Тиск оливи в головній масляній магістралі	0,96
5	Фільтр очищення палива	Тиск палива після фільтра тонкого очищення	0,97
6	Повітряний фільтр	Тиск повітря на вході в дизель	0,87
7	Система охолодження	Температура охолодної рідини	0,96
8	Паливний насос високого тиску	Циклова подача палива	0,98
9	Паливний насос високого тиску	Кут випередження впорскування палива	0,94
10	Регулятор частоти обертання	Регульована частота обертання регулятором	0,92
11	Газорозподільний механізм	Кути фаз газорозподілу	0,92
12	Форсунки	Тиск упорскування палива	0,96
13	Форсунки	Кут розпилювання палива при упорскуванні	0,95
14	Форсунки	Величина витоків палива з форсунки в лінію зливу	0,97
15	Циліндро-поршнева група	Димність відпрацьованих газів	0,92
16	Циліндро-поршнева група	Температура відпрацьованих газів	0,92
17	Циліндро-поршнева група	Тиск повітря наприкінці такту стиску	0,93
18	Кривошипно-шатунний механізм	Частота обертання колінчатого вала дизеля	0,93
19	Кривошипно-шатунний механізм	Ефективна потужність дизеля	0,89

## 2.4 Побудова логіко-імовірностної діагностичної моделі у вигляді матриці станів

Вихідні сигнали функціональних елементів та імовірності безвідмовної роботи є основою складання логіко-імовірнісної математичної моделі дизеля у вигляді матриці станів, що встановлює зв'язок між безліччю станів функціональних елементів ( $S$ ) з урахуванням їхніх ймовірностей, безліччю можливих перевірок (діагностичних параметрів) ( $Y$ ) та безліччю наслідків цих перевірок. Матриця станів слугує вихідною інформацією при побудові мінімального діагностичного тесту для контролю роботоздатності об'єкта діагностування [27].

Побудована матриця (табл. 2.3) містить 19 рядків (рівних числу функціональних елементів), 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 функціональних елементів.

А останній стовпець містить обчислені ймовірності  $i$ -го стану моделі і  $P(s_i)$ :

$$P(s_i) = [1 - P(s_0)] \cdot (1 - P_i) / \sum_{j=1}^n (1 - P_j), \quad (2.1)$$

де  $P(s_0)$  – імовірність безвідмовної роботи об'єкта діагностики,

$$P(s_0) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2.2)$$

$P_i$  - імовірність безвідмовної роботи функціональних елементів; причому

$$\sum_{i=0}^n P(s_i) = 1, \quad (2.3)$$

Таблиця 2.3 - Матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями

$S_i \backslash Y_j$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$Y_5$	$Y_6$	$Y_7$	$Y_8$	$Y_9$	$Y_{10}$	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{13}$	$Y_{14}$	$Y_{15}$	$Y_{16}$	$Y_{17}$	$Y_{18}$	$Y_{19}$	$P(S_i)$
$S_0$	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

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

Виконаний таким чином аналіз матриці станів дизеля дозволив встановити мінімальну (необхідну та достатню) сукупність перевірок, яка складається з контролю всього двох сукупностей трьох діагностичних параметрів:  $U_{19}$  та  $U_{15}$ , тобто перевірки потужності та димності відпрацьованих газів або  $U_{19}$  та  $U_{16}$  (перевірки потужності та температури відпрацьованих газів).

Перша сукупність дає загальну оцінку працездатності дизеля, друга - може бути основою алгоритму діагностування не тільки під час контролю працездатності, а й пошуку відмов окремо по циліндрах дизелів.

Контроль потужності двигуна потребує використання складних навантажувальних стендів, що призводить до збільшення вартості та часу діагностування. Відомо, що температура відпрацьованих газів прямо пропорційна потужності [9], то мінімальна необхідна та достатня обґрунтована кількість перевірок може складатися з двох діагностичних параметрів: димності ( $U_{15}$ ) та температури ( $U_{16}$ ) відпрацьованих газів.

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

Це підтверджує необхідність контролю димності відпрацьованих газів у режимі вільного прискорення за діючим ДСТУ 4276:2004 та температури відпрацьованих газів. У разі застосування швидкодіючого пристрою для вимірювання температури відпрацьованих газів додатково з'являється можливість виконувати діагностування окремих циліндрів дизеля.

Обрана у такий спосіб сукупність діагностичних параметрів є основою алгоритму діагностування при контролі роботоздатності дизелів [23].

2.5 Аналіз матриці станів та побудова оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов двигунів внутрішнього згоряння

Оптимізація алгоритму діагностування полягає в організації раціонального процесу (послідовності) перевірки роботоздатності дизеля з 91 використанням функції переваги ( $W$ ).

Із цією метою матриця станів транспонується в матрицю, стовпці та рядки якої міняються місцями (табл. 2.4).

Останній стовпець цієї матриці містить обчислені функції переваги виходячи з ймовірності станів  $P(S_i)$ :

$$W = \max \sum P(s_i) "0", \quad (2.4)$$

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

За максимальним значенням визначалася перша перевірка  $Y_{16}$  (температура відпрацьованих газів) (табл. 2.4).

Ця перевірка поділяє матрицю на дві частини. У першу частину входять стани, для яких результати перевірки позитивні - "1", у другу частину - стани, для яких результати негативні - "0". Перша частина матриці є вихідною для побудови нової матриці, у яку входять не перевірені стани.

Для нової матриці знову за максимальним значенням функції переваги ( $W$ ) вибирається наступна перевірка, і процедура повторюється доти, доки існує не перевірений параметр.

За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів побудований оптимізований алгоритм діагностування, при контролі роботоздатності дизелів колісних транспортних засобів (рис. 2.3) [24].



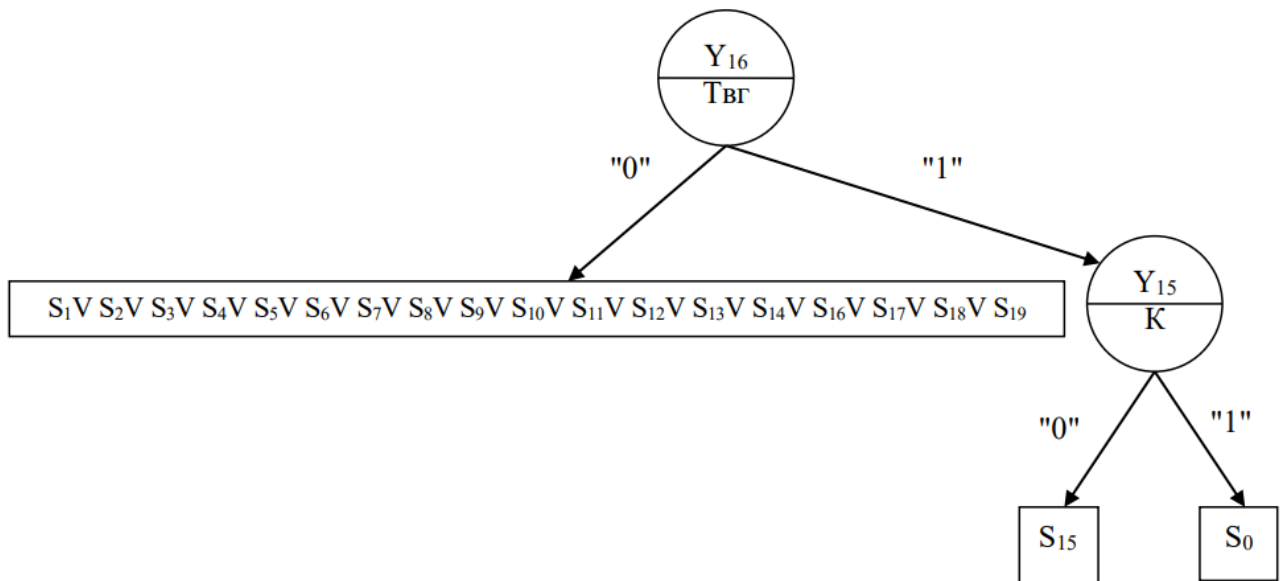


Рисунок 2.3 - Оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизеля

Цей алгоритм вказує, що з 19 параметрів, які визначають технічний стан дизеля, необхідно при перевірці роботоздатності в режимах холостого ходу здійснити контроль лише двох параметрів -  $U_{16}$  (температура відпрацьованих газів ТВГ) і  $U_{15}$  (димність відпрацьованих газів К). Причому, з урахуванням максимального значення функції переваги першим контролюється температура ( $W = 0,669$ ), а потім димність відпрацьованих газів дизеля.

Якщо ці обидва 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.

## 2.6 Висновки до розділу 2

1. Використання діагностичних моделей дозволяє формально описувати об'єкти діагностування та, за характером зв'язків між функціональними елементами, досліджувати вплив різноманітних факторів на їх технічний стан.

2. За результатами аналізу існуючих діагностичних моделей та методів їх побудови встановлено, що для цілей діагностування і пошуку відмов дизеля найбільш доцільною є логіко-імовірнісна діагностична модель.

3. Для побудови оптимізованого алгоритму діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов було розроблено логікоімовірнісну діагностичну модель дизеля на основі функціональної, функціонально-логічної схем та з урахуванням ймовірностей безвідмовної роботи його функціональних елементів.

4. За допомогою розробленої логіко-імовірнісної діагностичної моделі було визначено мінімальну кількість необхідних та достатніх діагностичних параметрів, а також побудовано оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів колісних транспортних засобів.

### 3 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

#### 3.1 Аналіз виконаних теоретичних та експериментальних досліджень

Вивчення питання показало, що температура відпрацьованих газів є одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних параметрів, який для визначення технічного стану дизелів не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Реєструючи температуру відпрацьованих газів кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

З аналізу літературних джерел зроблено припущення, що для цілей експрес-діагностування технічного стану дизелів по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу найбільше відповідає діагностування за миттєвими значеннями температури імпульсів відпрацьованих газів за допомогою фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань.

Результати експериментальних стендових досліджень дизеля підтвердили вплив несправностей системи живлення на його енергетичні, екологічні показники, паливну економічність, та визначено їх зв'язок з температурою відпрацьованих газів. Доведено, що температура відпрацьованих газів в режимах холостого ходу двигуна є стабільним та інформативним показником, який дозволяє діагностувати технічний стан дизеля в цілому, а також визначити (локалізувати) несправність в окремому циліндрі дизеля в режимах холостого ходу за миттєвими значеннями температури імпульсів відпрацьованих газів на виході з випускної труби за допомогою фазо акустичного датчика температури.

Підтверджено достовірність визначеної за допомогою розробленої логіко-імовірнісної діагностичної моделі мінімальної кількості необхідних та достатніх діагностичних параметрів, якими є температура та димність відпрацьованих газів.

Таким чином, підтверджується адекватність побудованого оптимізованого алгоритму діагностування при контролі роботоздатності дизелів колісних транспортних засобів (рис. 2.2), що дає змогу розробити на його основі програмований технологічний процес діагностування двигунів з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів.

### 3.2 Розробка технологічного процесу експрес-діагностування дизелів

За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів дизеля у розділі 2 кваліфікаційної роботи побудували оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів колісних транспортних засобів в режимах холостого ходу (рис. 2.2). Згідно з цим алгоритмом, з 19 параметрів, які визначають технічний стан дизеля, при перевірці роботоздатності необхідно і достатньо здійснити контроль лише двох параметрів -  $U_{16}$  (температура відпрацьованих газів  $T_{62}$ ) і  $U_{15}$  (димність відпрацьованих газів К). Причому, з урахуванням максимального значення функції переваги першим контролюється температура ( $W=0,669$ ), а потім димність відпрацьованих газів дизеля.

Така сукупність параметрів дозволила поєднати два способи контролю роботоздатності дизелів:

– перший – за температурою відпрацьованих газів в режимах холостого ходу двигуна, удосконалений шляхом застосування фазоакустичного датчика температури;

– другий – стандартизований за димністю відпрацьованих газів у режимі вільного прискорення згідно з ДСТУ 4276:2004.

Реалізація цього оптимізованого алгоритму діагностування (експрес діагностування) дизелів при контролі роботоздатності колісних транспортних засобів в умовах експлуатації потребує розробки технологічного процесу діагностування.

Наявність технологічного процесу є важливою умовою для зменшення часу

визначення технічного стану дизеля, пошуку його несправностей, підвищення інформативності діагностування та, як наслідок, зниження втрат від простою транспортних засобів.

Розробка технологічного процесу передбачає побудову та опис програми і методики діагностування, а також побудову технологічної карти операцій діагностування. Діагностування колісних транспортних засобів з дизелями повинно виконуватися за технологічними картами операцій відповідно до програми діагностування.

Програмою експрес-діагностування передбачається: виконання підготовчих робіт; завдання режимів роботи двигуна під час діагностування; виконання операцій з вимірювання; виконання розрахунків за результатами вимірювання; оцінювання результатів та прийняття рішення щодо технічного стану дизеля; проведення заключних робіт після діагностування.

Експрес-діагностування виконується в наступних режимах роботи дизеля:

- мінімальної частоти обертання холостого ходу двигуна, що дозволяє оцінювати нерівномірність подачі палива по циліндрах двигуна;
- максимальної частоти обертання холостого ходу двигуна, що дозволяє оцінювати нерівномірність подачі палива по циліндрах двигуна, ступінь зношення циліндро-поршневої групи тощо;
- вільного прискорення двигуна згідно з ДСТУ 4276:2004 (від мінімальної до максимальної частоти обертання колінчастого вала), що імітує роботу двигуна під навантаженням, яке виникає внаслідок дії моменту інерції від інерційних мас двигуна внутрішнього згорання.

Як вже було зазначено, експрес-діагностування колісного транспортного засобу з дизелями за температурою відпрацьованих газів проводиться в режимах холостого ходу, тому при розробці методики діагностування було прийнято рішення поєднати її з методикою діагностування дизелів за димністю відпрацьованих газів в режимі вільного прискорення згідно з ДСТУ 4276:2005 (рис. 3.1 та табл. 3.1).

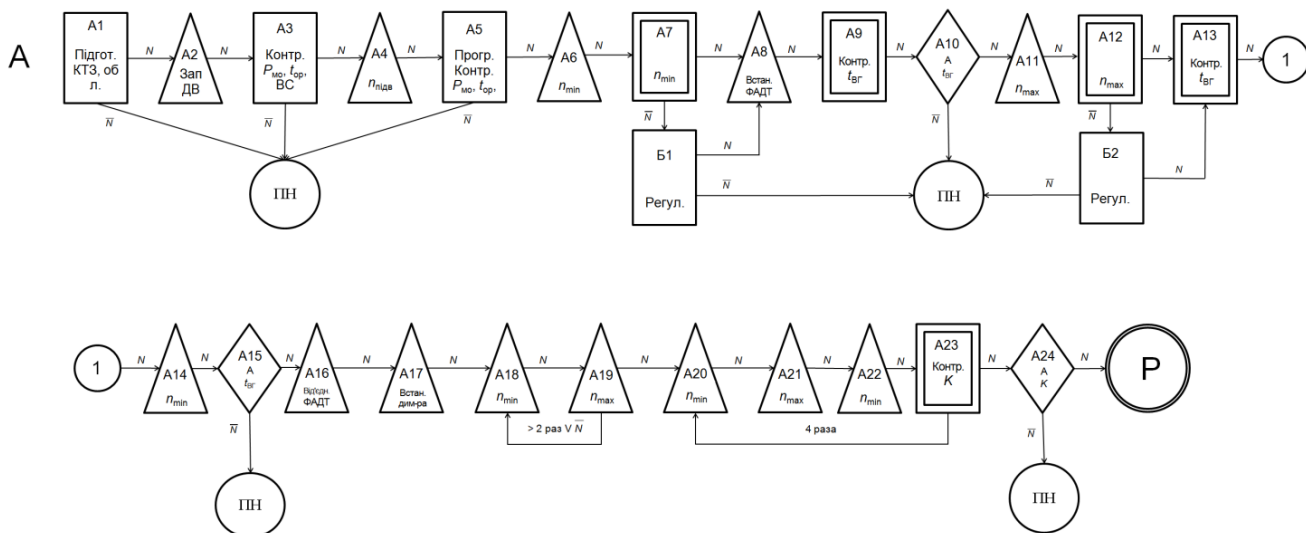


Рисунок 3.1 - Програма діагностування дизеля за температурою та димністю відпрацьованих газів колісних транспортних засобів

Таблиця 3.1 – Умовні позначення у програмі діагностування

	- операції з підготовки контрольно-вимірювального обладнання і перевірки параметрів, що визначають умови перевірки
	- вихідні параметри
	- операції з установки режимів контролю
	- аналіз результатів вимірювання
	- позитивний результат перевірки робоздатності
$N$	- позитивний результат виконання операцій, режимів та результатів вимірювання
$\bar{N}$	- негативний результат виконання операцій, режимів та результатів вимірювання
$K$	- димність в режимі вільного прискорення
A1	- підготовка КТЗ та вимірювального обладнання
A2	- запуск дизеля
A3	- перевірка (контроль) за показами контрольно-вимірювальних приладів (КВП) КТЗ параметрів теплового стану дизеля ( $t_{op}$ ), аварійних параметрів ( $P_{мо}$ ) та стану випускної системи (BC)
A4	- встановлення підвищеної частоти обертання колінчатого вала дизеля ( $n_{підв}$ ) в режимі холостого ходу (хх)
A5	- контроль параметрів теплового стану дизеля ( $t_{op}$ ), аварійних параметрів за показами КВП КТЗ
A6	- встановлення мінімальної частоти обертання колінчатого вала дизеля ( $n_{мін}$ ) в режимі хх

У загальному вигляді запропонованою методикою експрес діагностування передбачається:

- підготовка діагностичного обладнання;
- підготовка транспортного засобу до проведення діагностування;

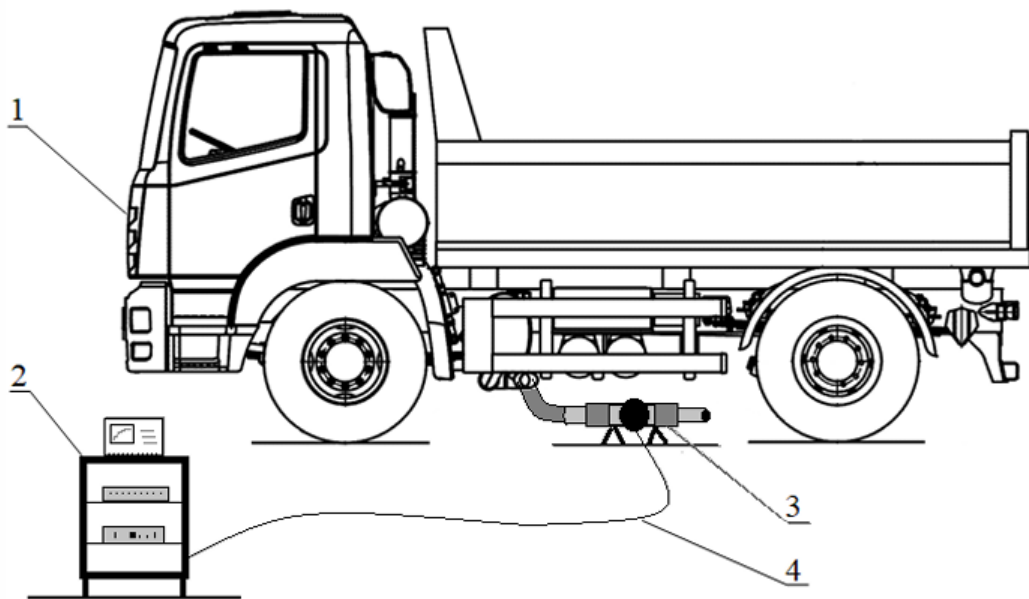
- підключення діагностичного обладнання до колісного транспортного засобу;
- завдання режимів діагностування;
- проведення вимірювання значень діагностичного параметру;
- оброблення та аналізування результатів діагностування об'єкту;
- встановлення висновку щодо технічного стану колісного транспортного засобу.

Діагностування транспортних засобів в умовах транспортних підприємств може бути організовано на спеціально призначених для цього постах, які обладнано відповідним контрольно-вимірювальним обладнанням та площадками для встановлення колісного транспортного засобу (рис. 3.2).

Для експрес-діагностування необхідно застосовувати наступне контрольно-вимірювальне та допоміжне обладнання:

1. фазоакустичний датчик температури відпрацьованих газів з реєструючим пристроєм;
2. димомір для вимірювання димності відпрацьованих газів, який відповідає вимогам ДСТУ 4276:2004;
3. тахометр для вимірювання частоти обертання дизелів;
4. датчик температури моторної оливи для контролю теплового стану двигуна колісного транспортного засобу;
5. датчик опорного сигналу першого циліндра для синхронізації температурних імпульсів відпрацьованих газів, що виходять із випускної труби колісного транспортного засобу, з порядком роботи циліндрів дизеля;
6. термометр для вимірювання температури повітря оточуючого середовища з метою коригування значень температурних імпульсів відпрацьованих газів;
7. комплект перехідних насадок для під'єднання фазоакустичного датчика температури відпрацьованих газів до випускних труб колісних транспортних засобів різного діаметру (у разі необхідності). Якщо на даному діагностичному пості передбачається проведення не тільки експрес-діагностування (рис. 3.2), а й операції з пошуку та локалізації несправностей, а також виконання

регулювальних робіт, то необхідно передбачити наявність відповідного контрольно-діагностичного, допоміжного обладнання та інструменту.



1 – колісний транспортний засіб; 2 – стойка з обладнанням фазоакустичного датчика температури та комп'ютером з програмним забезпеченням; 3 – фазо акустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань; 4 – кабель датчика

Рисунок 3.2 - Схема діагностування АТЗ з дизелем при контролі роботоздатності з використанням фазо-акустичного датчика температури

Підготовка до роботи діагностичного обладнання передбачає:

1. Перевірку комплектності.
2. Перевірку на предмет відсутності пошкоджень.
3. Включення та прогрів обладнання.
4. Перевірку роботоздатності та, за необхідності, проведення юстування або калібрування.

Підготовка транспортного засобу до проведення діагностування передбачає:

1. Перевірку зовнішнім оглядом комплектності, задовільного стану, відсутності прогарів і механічних пробоїн випускної системи транспортного засобу та відсутності нещільностей у з'єднаннях, які призводять до витoku відпрацьованих газів.

2. Перевірку теплового стану дизеля колісного транспортного засобу. Двигун має бути прогрітий таким чином, щоб температура охолодної рідини чи моторної оливи була в межах діапазону робочих температур за рекомендаціями підприємства виробника. Якщо такі дані відсутні, то згідно експериментальними даними наведеними на рисунку 4.52 та/або згідно з вимогами ДСТУ 4276:2004 температура має бути в діапазоні від  $+60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  [36]. Контролювання температурного режиму двигуна здійснюють за показниками штатних приладів колісного транспортного засобу або з використанням додаткових засобів вимірювання.

3. Використання для живлення двигуна під час діагностування дизельного палива і мастильних матеріалів які передбачені документами з експлуатації автомобіля і відповідають вимогам чинних нормативних документів на їх виготовлення.

Підключення діагностичного обладнання до колісного транспортного засобу:

1. Підключення до виходу випускної системи колісного транспортного засобу фазоакустичного датчика температури відпрацьованих газів.

2. Підключення до паливопроводу форсунки першого циліндра датчика опорного сигналу першого циліндра.

3. Підключення тахометра для вимірювання частоти обертання вала двигуна.

4. Підключення датчика температури моторної оливи для контролю теплового стану двигуна.

Завдання режимів діагностування передбачає послідовну роботу дизеля в режимах мінімальної ( $n_{xx \min}$ ) та максимальної ( $n_{xx \max}$ ) частоти обертання холостого ходу вала двигуна. Для реєстрації значень температурних імпульсів відпрацьованих газів за циліндрами двигуна тривалість витримування на кожному з режимів роботи дизеля повинна бути не менше 1 хвилини.

Проведення вимірювання значень діагностичного параметру відбувається після стабілізації частоти обертання вала двигуна та витримування її на кожному

режиму діагностування не менше однієї хвилини.

Для вимірювання температури відпрацьованих газів при діагностуванні двигуна необхідно виконати налаштування фазо-акустичного датчика температури шляхом задавання генератором електричних коливань такої частоти збуджуючих коливань ( $f_{зб}$ ), при якій для усередненого значення температурних імпульсів відпрацьованих газів на даному режимі буде утворюватись резонанс ( $f_0=f_{зб}$ ). Для кожного значення температури відпрацьованих газів відповідає своя певна (резонансна) частота збуджуючих звукових коливань ( $f_{зб}$ ). При роботі двигуна внутрішнього згорання на кожному з режимів діагностування реєструють частоту збуджуючих коливань  $f_{зб}$  та сигнал фазового дискримінатора 5.

Оброблення та аналізування результатів діагностування колісних транспортних засобів.

Миттєві значення температурних імпульсів відпрацьованих газів кожного циліндра визначаються шляхом додавання чи віднімання (в залежності від напрямку зсуву фаз) значень температурних імпульсів, отриманих відповідно до сигналу фазового дискримінатора 5, до (чи від) температури, яка відповідає заданій частоті збуджуючих коливань ( $f_{зб}$ ). Отримані значення температурних імпульсів відпрацьованих газів співставляють з відповідними їм, згідно з порядком роботи, циліндрами за допомогою сигналу датчика опорного сигналу першого циліндра двигуна. Аналізують відхилення отриманих значень температур імпульсів відпрацьованих газів від еталонних, які отримано на технічно справному ДВЗ, величина яких дозволяє визначити технічний стан (роботоздатність) двигуна як в цілому, так і за окремими циліндрами.

Встановлення висновку щодо технічного стану колісних транспортних засобів виконується шляхом порівняння отриманих миттєвих значень температурних імпульсів відпрацьованих газів кожного циліндра з еталонними значеннями. На технічно справному дизелі величина температурних імпульсів відпрацьованих газів повинна рівномірно збільшуватися зі зростанням кількості обертів двигуна та вкладатися у зону температур для циліндрів у справному стані. Для оцінювання стану дизеля зміну температури відпрацьованих газів слід

порівнювати з еталонними кривими.

Під час діагностування дизеля за димністю відпрацьованих газів відповідно до ДСТУ 4276:2004 окрім підготовчих робіт, що було виконано раніше необхідно:

- під'єднати пробовідбиральну магістраль димоміра до випускної системи автомобіля;

- перевірити нульове положення стрілки (цифрового чи іншого пристрою, що реєструє результати вимірювання) димоміра;

- запустити двигун;

- безпосередньо перед вимірюванням у режимі вільного прискорення дизелі мають працювати в режимі холостого ходу з мінімальною частотою обертання колінчастого вала протягом не менше ніж 10 с.

Проведення вимірювання.

1. Під час роботи двигуна з мінімальною частотою обертання холостого ходу швидко (швидше, ніж за одну секунду), але без ривків перемістити педаль керування паливоподачею до упору. Таке положення педалі зберігати, доки не буде досягнуто максимальної частоти обертання холостого ходу, яку обмежує регулятор. За показами димоміра визначити максимальну величину показника димності у режимі вільного прискорення за період розгону двигуна.

2. Педаль керування паливоподачею повернути у положення, що відповідає мінімальній частоті обертання холостого ходу. Таке положення педалі зберігати до моменту стабілізування мінімальної частоти обертання холостого ходу і показів димоміра але не довше ніж 15 с.

3. Дії згідно з п. 1 - 2 (цикл вільного прискорення) треба повторити без перерв шість разів для очищення (продування) випускної системи двигуна і відразу після цього виконати не менше ніж чотири тестові цикли вільного прискорення до стабілізації вимірянних значень показника димності у режимі вільного прискорення.

Оброблення та аналізування результатів діагностування колісних транспортних засобів.

1. Чотири послідовно виміряні значення показника димності вважають

стабілізованими, якщо вони перебувають у межах діапазону шириною не більше ніж  $0,25 \text{ м}^{-1}$  в одиницях натурального показника поглинання й не утворюють послідовність, що спадає.

2. Після закінчення вимірювання треба перевірити нульове положення стрілки (цифрового чи іншого пристрою, що реєструє результати вимірювання) димоміра. Якщо відхил від нульового положення перевищує 1% в одиницях лінійного показника поглинання, вимірювання необхідно повторити.

3. Результатом вимірювання димності вважають середнє арифметичне значення натурального показника поглинання в чотирьох останніх циклах вільного прискорення.

4. Встановлення висновку щодо технічного стану колісних транспортних засобів.

Автомобіль, для якого середнє арифметичне значення натурального показника поглинання не перевищує гранично допустимих значень згідно з п. 4.2 - 4.4 ДСТУ 4276:2004, вважають таким, що пройшов випробування.

### 3.3 Рекомендації щодо впровадження в експлуатації розробленого технологічного процесу

Впровадження у виробничий процес автопідприємства нової технології діагностування потребує, як і для будь якої іншої розробки, вирішення ряду технічних і організаційних задач.

До технічних задач відносяться: вибір та придбання діагностичного обладнання; побудова діагностичної моделі, визначення нормованих значень 200 діагностичного параметру, режимів діагностування та алгоритму пошуку і локалізації несправностей для кожного з колісних транспортних засобів що мають різні типи дизелів тощо.

До організаційних задач може бути віднесено вирішення питань щодо проведення навчання працівників посту діагностування, виділення місця для цього посту, сумісництва та поєднання удосконаленого способу діагностування з

іншими організаційними та технологічними процесами технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, які вже мають усталений характер на підприємстві.

Зазвичай, автовиробники та/або виробники двигунів самі займаються вирішенням питань побудови діагностичних моделей, визначення нормованих значень діагностичних параметрів, методів та режимів діагностування, алгоритмів пошуку і локалізації несправностей двигунів тощо, та надають цю інформацію, як вже було зазначено у п. 3.2 цього розділу роботи, у спрощеному вигляді в інструкціях з експлуатації. У такому випадку, автопідприємствам для впровадження технології діагностування необхідно вибрати і придбати діагностичне обладнання та вирішити ряд організаційних задач зазначених вище.

Під час впровадження автопідприємствами нової технології діагностування, на яку в інструкціях з експлуатації виробника колісного транспортного засобу (двигуна) відсутня інформація щодо методики діагностування, нормованих значень діагностичного параметра та алгоритмів пошуку і локалізації несправностей двигуна, виникає необхідність самостійного вирішення технічних задач.

Для впровадження в експлуатації розробленого технологічного процесу необхідно виконати наступне:

- провести розрахунок виробничої програми та визначити необхідну кількість діагностичних постів;
- придбати засоби діагностування; розробити планування діагностичних постів та провести установку, монтаж і отладку засобів діагностування;
- виконати укомплектування діагностичних постів технічним персоналом та провести їх навчання процесу діагностування і користуванню засобами діагностування;
- підготувати технічну документацію для проведення діагностування та форми облікової та звітної документації за результатами діагностування;
- налагодити процес діагностування колісних транспортних засобів відповідно до запропонованого в кваліфікаційній роботі програмованого

технологічного процесу діагностування дизеля на основі оптимізованого алгоритму діагностування з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів;

- організувати контроль за процесом діагностування, збір, обробку та впорядкування діагностичної інформації з метою отримання статистичних даних щодо технічного стану колісного транспортного засобу та процесу діагностування;

- організувати аналіз отриманої діагностичної інформації з метою корегування (за необхідності) нормованих значень діагностичного параметру, режимів діагностування, технологічного процесу діагностування тощо.

### 3.4 Висновки до розділу 3

1. На підставі результатів розрахунків за допомогою побудованого оптимізованого алгоритму діагностування розроблено програмований технологічний процес діагностування дизелів за допомогою фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів.

2. Розроблено методику діагностування дизелів, що включає операції з підготовки діагностичного обладнання, транспортного засобу, підключення діагностичного обладнання, завдання режимів діагностування і вимірювання значень діагностичного параметру, оброблення та аналізування результатів діагностування та встановлення висновку щодо технічного стану колісного транспортного засобу.

3. Розроблено рекомендації щодо впровадження в експлуатації удосконаленого технологічного процесу, згідно з якими запропоновано підходи та порядок вирішення ряду технічних та організаційних питань.

#### 4 ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ЕКСПРЕС ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ВАНТАЖНИХ АВТОМОБІЛІВ

Як було вже зазначено, метою досліджень є підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів.

Аналіз літературних джерел [29, 30] показує, що в сучасних умовах на транспорті, перш за все, слід приділяти увагу наступним трьом видам ефективності – економічній, соціальній та екологічній.

Економічна ефективність впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування в основному досягається за рахунок зниження витрати палива після виконання необхідних регулювань колісних транспортних засобів, а також зменшенням втрат часу на проведення діагностування, втрат від простою транспорту, збільшенням пропускної здатності поста діагностування тощо. Окрему зацікавленість в оцінюванні економічної ефективності в умовах експлуатації являють підходи, які ґрунтуються на врахуванні паливної економічності колісних транспортних засобів [29, 30].

Соціальною ефективністю від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування є підвищення задоволеності споживачів транспортних послуг внаслідок зменшення кількості відмов колісних транспортних засобів під час надання цих послуг та зменшення їх вартості внаслідок зменшення собівартості перевезень. До соціального впливу також необхідно віднести і негативний вплив на зміну навколишнього середовища, внаслідок його забруднення, негативний вплив на здоров'я людей, зменшення врожайності сільськогосподарських культур тощо.

Окремо слід відзначити екологічну ефективність, яка визначається зменшенням в умовах експлуатації впливу колісних транспортних засобів на екологічну ситуацію у навколишньому середовищі. Також, необхідно зазначити, що екологічна ефективність має певний зв'язок з економічною складовою (фінансові втрати від забруднення навколишнього середовища [1, 29, 31]) та

соціальною (вплив забруднення навколишнього середовища на клімат, стан здоров'я населення тощо).

Відповідно до наведеного, найбільш доцільним в умовах експлуатації є визначення ефективності застосування удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за економічною та екологічною складовими.

#### 4.1 Розрахунок економічного ефекту впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою відпрацьованих газів

В сучасній науковій літературі виділяють багато підходів до оцінки економічної ефективності методів, які спрямовані на поліпшення паливної економічності автомобіля [29, 30]. Різноманітність методів обумовлена необхідністю врахування при проведенні розрахунків, впливу досить великої кількості факторів, насамперед експлуатаційних.

При розробці та впровадженні нових способів діагностування, які спрямовані на зменшення енерговитрат двигунів колісних транспортних засобів, процедура визначення економічної ефективності цих способів складається з трьох етапів.

Перший етап - це визначення необхідних витрат для реалізації запропонованого способу; другий - оцінювання економічного ефекту від застосування удосконаленого способу діагностування; третій - визначення терміну окупності додаткових витрат, що пов'язані з реалізацією запропонованого способу експрес-діагностування дизелів.

Певну складність являє визначення економії кількості палива, завдяки постійному підтриманню двигунів колісних транспортних засобів у технічно справному стані, шляхом застосування удосконаленого способу експрес-діагностування дизелів за температурою відпрацьованих газів з використанням фазоакустичного датчика температури.

Витрати, які пов'язані з виготовленням фазоакустичного датчика температури визначалися шляхом аналізу вартості придбання, згідно з інформацією отриманою в магазинах через мережу Інтернет, та/або виготовлення його складових частин. Таким чином, розрахунок вартості фазоакустичного датчика температури проводили виходячи з вартості виготовлення корпусу резонатора, придбання трансляційного підсилювача, головки динаміка для трансляційного оповіщення, мікрофона ДЕМШ-1А, приладу МТрго (восьмиканальний осцилограф) у складі з датчиком вібрації та щупами для вимірювання, ноутбука, а також вартості роботи зі збирання фазоакустичного датчика температури.

Вартість виготовлення корпусу резонатора, з урахуванням вартості металу та робіт зі зварювання, може становити 800 грн.

Трансляційний підсилювач – 2392 грн.

Головка динаміка (драйвер) для трансляційного оповіщення – 780 грн.

Мікрофона ДЕМШ-1А – 334 грн.

Прилад МТрго (восьмиканальний осцилограф) у складі з датчиком вібрації та щупами для вимірювання – 7840 грн.

Ноутбука – 6000 грн.

Вартість робіт зі збирання фазоакустичного датчика температури може становити – 1000 грн.

Разом загальна вартість виготовлення фазоакустичного датчика температури може скласти близько 19150 грн.

Постійна необхідність у раціональному використанні паливно енергетичних ресурсів в експлуатації змушує підтримувати автомобільний транспорт у технічно-справному стані. Для оцінки ефективності впровадження нового технологічного процесу діагностування дизелів колісних транспортних засобів визначили економічний ефект та термін окупності витрат, які пов'язані з виготовленням фазоакустичного датчика температури.

Відповідно до «Методики визначення економічної ефективності використання в народному господарстві нової техніки, винаходів і

раціоналізаторських пропозицій», під економічним ефектом розуміється різниця між додатковим доходом, який може бути отриманий завдяки зменшенню витрат, перш за все на придбання палива, внаслідок постійного підтримання колісних транспортних засобів у технічно-справному стані, і витратами пов'язаними з виготовленням фазоакустичного датчика температури, який необхідний для реалізації удосконаленого способу діагностування.

Метою оцінювання економічної ефективності застосування удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів, як технічного заходу, який спрямований на поліпшення паливної економічності та екологічних показників колісних транспортних засобів в умовах експлуатації, є визначення доцільності його впровадження, а також оцінка економічного доходу (зменшення витрат), який може буде отриманий в результаті його реалізації.

Критерієм для оцінювання економічної ефективності використовували термін окупності витрат, що пов'язані з виготовленням фазоакустичного датчика температури.

Термін окупності витрат – це прогнозний період часу, який необхідний для того, щоб доходи, які отримані від економії палива шляхом підтримання колісних транспортних засобів у технічно справному стані, повністю покрили витрати на виготовлення фазоакустичного датчика температури.

У [31] запропоновано до використання для розрахунку прогнозованого терміну окупності спрощену математичну залежність:

$$T = K_d \cdot \Delta\Pi_t \quad (4.1)$$

де  $T$  – термін окупності;

$K_d$  – додаткові капітальні вкладення в нове обладнання (загальна вартість виготовлення фазоакустичного датчика температури), грн;

$\Delta\Pi_t$  – середньорічний дохід (за рахунок зниження витрат на паливо), який отримують від економії палива за рахунок підтримання двигуна автомобіля у справному стані, грн/рік.

Середньорічний дохід ( $\Delta\Pi_t$ ), який отримують від економії палива, розраховується за наступною формулою [58]:

$$\Delta\Pi_t = (C_{\text{пал1}} - C_{\text{пал2}}) \cdot L, \quad (4.2)$$

де  $C_{\text{пал1}}$  – затрати на паливо до впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування, грн/1000 км;

$C_{\text{пал2}}$  – затрати на паливо після впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування, грн/1000 км;

$L$  – середньорічний пробіг парку автомобілів (визначається як добуток кількості автомобілів на середньорічний пробіг одного автомобіля), тис. км.

Оскільки, режими тринадцяти ступеневого випробувального циклу Правил ООН № 49-02 умовно представляють собою середньозважені режими роботи дизеля в експлуатації (представляють характерні режими його роботи), в роботі було запропоновано визначати економію палива за питомими витратами палива, які усереднено за випробувальний цикл, та отримано у справному стані дизеля та у несправному.

Для спрощення розрахунку терміну окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури, прийняли умову, що в розрахунках зменшення витрати палива визначається за відносною різницею питомих витрат палива (розрахунок коефіцієнта відносної зміни питомої витрати палива), розрахованих за випробувальний цикл Правил ООН № 49-02 та отриманих при різних несправностях (відмовах) дизеля. Таким чином, середньорічний дохід ( $\Delta\Pi_t$ ), який отримують від економії палива, визначали шляхом добутку базової лінійної норми витрати палива колісних транспортних засобів на коефіцієнт відносної зміни питомої витрати палива та на середньорічний пробіг парку колісних транспортних засобів цього типу:

$$\Delta\Pi_t = g \cdot \bar{\delta}_{g_e} \cdot L \quad (4.3)$$

де  $g$  – базова лінійна норма витрати палива колісних транспортних засобів, л/100 км;

$\bar{\delta}_{g_e}$  – коефіцієнт відносної зміни питомої витрати палива, %.

У зв'язку з тим, що поява несправностей має випадковий характер, в роботі було запропоновано враховувати при розрахунках зміни витрати палива не тільки вплив відмов дизеля на витрату палива, а і ймовірності появ цих відмов. Значення ймовірностей появи несправного стану ( $W_i$ ), за параметрами (вихідними сигналами) що змінювалися ( $Y_8, Y_9$  та  $Y_{12}$ ), взято з таблиці 2.4, п. 2.5, розділу 2.

Враховуючи ці умови, для розрахунку середньорічного доходу та прогнозованого терміну окупності, коефіцієнт відносної зміни питомої витрати палива від впливу несправностей двигуна розраховували за наступною математичною залежністю:

$$\delta_{g_e} = \frac{\bar{g}_{\text{еспр}} \cdot (1 - \sum W_{i\text{неспр}}) + \sum \bar{g}_{ei\text{неспр}} \cdot W_{i\text{неспр}}}{\bar{\delta}_{g_{\text{еспр}}}} \cdot 100, \quad (4.4)$$

де  $\bar{g}_{\text{еспр}}$  – сумарна питома витрата палива дизеля за випробувальний цикл у технічно справному стані, г/кВт·год;

$\bar{g}_{ei\text{неспр}}$  – сумарна питома витрата палива дизеля за випробувальний цикл у технічному стані, що має  $i$ -ту несправність, г/кВт·год;

$W_{i\text{неспр}}$  – імовірність появи  $i$ -тої несправності дизеля.

Розрахунок питомих витрат палива та їх усереднення за випробувальний цикл виконували за рівнянням:

$$\bar{g}_e = \frac{\sum g_{ei} \cdot W F_i}{\sum N_{ei} \cdot W F_i}, \quad (4.5)$$

де  $\bar{g}_e$  – сумарна питома витрата палива за випробувальний цикл, г/кВт·год;

$N_{ei}$  – корисна потужність двигуна на  $i$ -му режимі, кВт;

$W F_i$  – коефіцієнт вагомості  $i$ -го режиму.

Значення розрахованих сумарних питомих витрат палива за випробувальний цикл та коефіцієнта відносної зміни питомої витрати палива, відповідно до несправностей двигуна, наведено у таблиці 4.1.

Виходячи з вищевикладеного та при певних припущеннях, для подальших розрахунків прийняли: розрахунок провести на прикладі вантажного автомобіля ГАЗ-3309; витрата палива, згідно з даними наведеними у «Нормах витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті» [31], становить – 17,0 л/100 км; середньорічний пробіг одного колісних транспортних засобів прийняли 50000 км; кількість колісних транспортних засобів в автопарку становить 20; середня вартість дизельного палива на автозаправних станціях становила 27,20 грн.

Таблиця 4.1 – Розраховані значення сумарної питомої витрати палива за випробувальний цикл та коефіцієнта відносної зміни питомої витрати палива відповідно до несправностей двигуна

№	Параметр, що змінювався		$\bar{g}_e$ , г/кВт·год	$\delta_{\bar{g}_e}$ , %
1	Кут випередження впорскування палива $\theta$ , ° ПКВ до ВМТ	9	410,61	2,79
		13	373,62	1,52
		15	356,20	0,92
		18	329,44	0,00
		22	339,13	0,33
		25	349,22	0,68
2	Тиск впорскування палива, МПа	9,5	351,49	0,16
		11,5	329,44	0,00
		14,0	341,31	0,09
3	Подача палива (збільшення відносно справного стану), %	2,5	362,29	1,01
		8,4	369,86	1,25

Отримані значення розміру середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів колісних

транспортних засобів при різних ступенях технічних несправностей наведені у табл. 4.2.

У разі одночасного впливу декількох несправностей на технічний стан дизеля колісних транспортних засобів значення середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури змінюються в залежності від ступеня несправності та ймовірності її появи.

Таблиця 4.2 – Значення розміру середньорічного доходу та терміну окупності витрат

№	Параметр, що змінювався		$\Delta Pt$ , тис. грн/рік	T, міс.
1	Кут випередження впорскування палива $\theta$ , ° ПКВ до ВМТ	9	129,20	1,8
		13	70,32	3,3
		15	42,59	5,4
		18	0,00	0,0
		22	15,42	14,9
		25	31,48	7,3
2	Тиск впорскування палива, МПа	9,5	7,40	31,1
		11,5	0,00	0,0
		14,0	3,98	57,7
3	Подача палива (збільшення відносно справного стану), %	2,5	46,80	4,9
		8,4	57,58	4,0

Приймаючи до уваги те, що при постійному плановому діагностуванні та обслуговуванні колісних транспортних засобів відхилення параметрів роботи паливної системи не повинні значно відхилятися від нормативних, для розрахунку середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів колісних транспортних засобів, прийняли мінімальні значення відхилень параметрів, а саме: кут випередження впорскування палива ( $\theta$ ) - 22° повороту колінчастого валу до верх неї мертвої тоці; тиск впорскування палива – 9,5 МПа; відносне збільшення подачі палива –

2,5 %. Таким чином, для одного автомобіля розрахунковий середньорічний дохід та термін окупності витрат становить:

- для одного автомобіля – 3,48 тис. грн. та 66 місяців відповідно;
- для автопарку кількістю колісних транспортних засобів 20 одиниць – 69,62 тис грн. та 3,3 місяці відповідно.

Аналіз математичних залежностей 4.3 та 4.4, а також результатів розрахунків наведених у табл. 4.1 та 4.2, показує, що на розрахунковий середньорічний дохід та термін окупності витрат якісно впливають тільки ймовірності появи та ступені несправностей, а кількісно впливають ще й середньорічний пробіг парку автомобілів, який залежить від кількості автомобілів, та базова лінійна норма витрати палива колісних транспортних засобів, причому останні мають прямо пропорційний вплив.

Окрім ефективності пов'язаної із зменшенням витрат від експлуатації несправних транспортних засобів, виконано оцінювання витрат часу на діагностування технічного стану колісних транспортних засобів з дизелем за розробленим технологічним процесом удосконаленого способу експрес-діагностування транспортних дизелів з використанням фазоакустичного датчика температури та проведено їх порівняльний аналіз з витратами часу на діагностування колісних транспортних засобів з дизелем за типовим технологічним процесом.

Результати порівняльного аналізу трудомісткості робіт (витрат часу) на діагностування, які наведено у таблиці 4.3, свідчать, що витрати часу на діагностування колісних транспортних засобів з дизелем за технологічним процесом удосконаленого способу експрес-діагностування становлять 50,1 люд.хв., і є меншими на 41,3% у порівнянні з витратами часу за типовим технологічним процесом з використанням тягового роликового стенду (85,4 люд.хв.). Також, слід зауважити, що, на відміну від типового технологічного процесу, впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування дозволяє зменшити витрати електроенергії, за рахунок виключення із процесу застосування навантажувального роликового стенду, та зменшити витрати часу на відновлення

справного стану двигуна завдяки можливості визначення несправностей за циліндрами дизеля.

Таблиця 4.3 – Результати порівняльного аналізу трудомісткості робіт (витрат часу) на діагностування колісних транспортних засобів з дизелем

№	Найменування робіт (операцій)	Трудомісткість робіт, люд.хв.	
		Типовий технологічний процес діагностування	Технологічний процес удосконаленого способу експрес-діагностування
1.	Підготовка КТЗ та обладнання	60,8	18,5
2.	Запуск двигуна	0,7	0,7
3.	Перевірка стану системи випуску	2,2	2,2
4.	Прогрівання двигуна	6,4	6,4
5.	Перевірка $n_{\min}$ xx	0,4	0,4
6.	Підготовка та під'єднання ФАДТ до випускної системи КТЗ	-	3,0
7.	Визначення $t_{62}$	-	5,0
8.	Обробка та аналіз результатів вимірювання температури імпульсів ВГ	-	4,0
9.	Підготовка та під'єднання димоміра	4,5	4,5
10.	Визначення димності ВГ	3,4	3,4
11.	Визначення зусилля на колесі	1,9	-
12.	Визначення часу розгону та вибігу КТЗ	1,0	-
13.	Охолодження і зупинка дизеля КТЗ	3,1	1,0
14.	Аналіз результатів діагностування та постановка діагнозу	1,0	1,0
Разом:		<b>85,4</b>	<b>50,1</b>

Також, необхідно зазначити, що при оцінюванні ефективності від впровадження в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів колісних транспортних засобів необхідно враховувати не тільки економічні результати від впровадження, але і його позитивний вплив на екологічність автомобіля, ступінь забезпечення його надійності і обслуговування.

## 4.2 Висновки до розділу 4

1. Розраховано прогнозний термін окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів колісних транспортних засобів.

2. Розрахований прогнозний термін окупності витрат на виготовлення фазоакустичного датчика температури при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів, на прикладі вантажного автомобіля, складає: у розрахунку на один автомобіль – 66 місяців, а для автопарку кількістю колісних транспортних засобів 20 одиниць – 3,3 місяці.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі одержано нові рішення актуальної проблеми експрес-діагностування двигунів транспортних засобів, зокрема дизелів.

1. Актуальною є необхідність вибору, розробки і запровадження такого методу, способу та засобу діагностування, який би забезпечував із завданою точністю швидке визначення технічного стану ДВЗ безпосередньо на АТЗ 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 колісних транспортних засобів. Встановлено, що необхідно та достатньо при перевірці роботоздатності здійснити контроль лише двох параметрів - температури і димності (К) відпрацьованих газів.

3. За результатами аналізу існуючих засобів вимірювання температури, для цілей експрес-діагностування дизелів обґрунтовано вибір фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань.

4. Розроблено технологічний процес та методику експрес-діагностування, а також проведено випробування автомобіля з дизельним двигуном, результати якого підтвердили можливість визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля в цілому за допомогою фазо акустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань в режимах холостого ходу.

5. Запропоновано враховувати ймовірності появ відмов дизелів колісних транспортних засобів при розрахунках економічної ефективності від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Назаров О.І., Яценко К.С. Вдосконалення способу експрес-діагностування технічного стану дизелів транспортних засобів: Міжнародна науково-практична конференція до Дня автомобіліста та дорожника “Сучасне автомобілебудування, транспорт і дорожня інфраструктура ‘2025” (МАІТРИ 2025) ХНАДУ 30-31 жовтня 2025 року (онлайн).

2. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту. Офіц. вид. – К.: М-во транспорту України, 1998. – (Нормативний документ Міністерство транспорту України). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0268-98>.

3. ДСТУ 2389-94 «Технічне діагностування та контроль технічного стану. Терміни та визначення»

4. ДСТУ 3649-10 Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролю.

5. Наглюк І. С. Концепція оцінки властивостей моторної та трансмісійної оливи транспортних машин за енергетичними параметрами [Текст] : автореферат дис. д-ра техн. наук : 05.22.20 / І. С. Наглюк ; Харк. нац. автомоб.-дорож. ун-т. - Харків, 2013. - 40 с.

6. Колобов К.С. Вибір діагностичних параметрів для експресдіагностування 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.

7. Hambright Robert. Diagnostics of diesel engines using exhaust smoke / SAE Prepr. – 1976. - № 760833.- 8p.

8. ДСТУ 4276:2004 Система стандартів у галузі охорони навколишнього середовища та раціонального використання ресурсів. Атмосфера. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями.

9. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2004. – 476 с. 227

10. Абрамчук Ф.І. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 6. Надійність ДВЗ / Ф.І. Абрамчук, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Х.: Видавництво ХНАДУ, 2004. – 324 с.

11. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. Т. 3. Комп'ютерні системи керування ДВЗ / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов. – Х.: Прапор, 2004. – 344 с.

12. Гутаревич Ю.Ф. Двигуни автомобільні (основні терміни та визначення з відповідниками англійською та російською мовами): [навчальний посібник] / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, В.І. Дмитренко, А.О. Корпач, А.А. Лісовал. - К.: НТУ, 2016. – 65 с.

13. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови: [навч. посіб.] / Ю.Ф. Гутаревич, Л.П. Мержиєвська, О.В. Сирота, Д.М. Трифонов. - К.: НТУ, 2015. – 244 с.

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

15. 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.

16. Патент №117911 Україна, МПК G01M 15/04 (2006.01), G01M 15/10 (2006.01), «Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згорання 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. 229

17. 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.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Жерновий А.С. Основи розробки системи технічного діагностування автомобільного двигуна / А.С. Жерновий // Автошляховик України: - №1, - 2004. - С. 16. 230

23. 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.

24. 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.

25. Колобов К.С. Розробка методу експрес діагностування двигунів внутрішнього згорання. // 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.

26. <http://science.logistics-gr.com>

27. Двигуни внутрішнього згорання: Серія підручників у 6 томах. / [А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А.Ф. ШЕХОВЦОВ]. – Х.: Прапор, 2004. Т. 5. Екологізація ДВЗ. – 360 с.

28. Авторське свідоцтво №688997 СРСР, МПК Н04R 1/38, «Резонатор колебаний акустического термометра» / В.А. Секистов, А.А. Березнев, И.Ф. Савенко / (СРСР); Заявник і патентовласник: В.А. Секистов, А.А. Березнев, И.Ф. Савенко, заявл. 12.04.1977; опубл. 30.09.1979. Бюл. №36.

29. Назаренко М.Б. Покращення екологічних показників КТЗ переобладнанням дизелів в газодизелі в умовах експлуатації: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20. – експлуатація та ремонт засобів транспорту / М.Б. Назаренко - К., - 2009. – 230 с.

30. Трифонов Д.М. Поліпшення паливної економічності і екологічних показників автомобіля використанням теплових акумуляторів фазового переходу для прогріву двигуна: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.20. – експлуатація та ремонт засобів транспорту / Д.М. Трифонов - К., - 2018. – 236 с.

31. Кушнір О.К. Оцінювання інтегрованих економічних збитків довкіллю внаслідок негативного впливу шкідливих викидів автотранспорту / О.К. Кушнір. // Науковий збірник «Моделювання та інформаційні системи в економіці» КНЕУ, №85. - 2011. – С.239 – 256.

32. Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Третя редакція. Доповнена та перероблена / ДП «Державтотранс-НДІпроект. – К.: НВЦ “ІнформАвтоДор”, 2012 – 120 с.

## ДОДАТОК А

Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи магістра

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Автомобільний факультет  
Кафедра інжинірингу систем автомобільного транспорту  
ім. Говоруценка М.Я.

ІЛЮСТРАТИВНІ МАТЕРІАЛИ  
до кваліфікаційної роботи  
магістра

Вдосконалення методики експрес діагностування технічного стану  
двигунів вантажних автомобілів

Завідувач кафедри, проф., д.т.н.



Володимир ВОЛКОВ

Нормоконтролер, доц., к.т.н.



Ігор МАРМУТ

Керівник, доц., к.т.н.



Олександр НАЗАРОВ

Студент гр. А-62-24



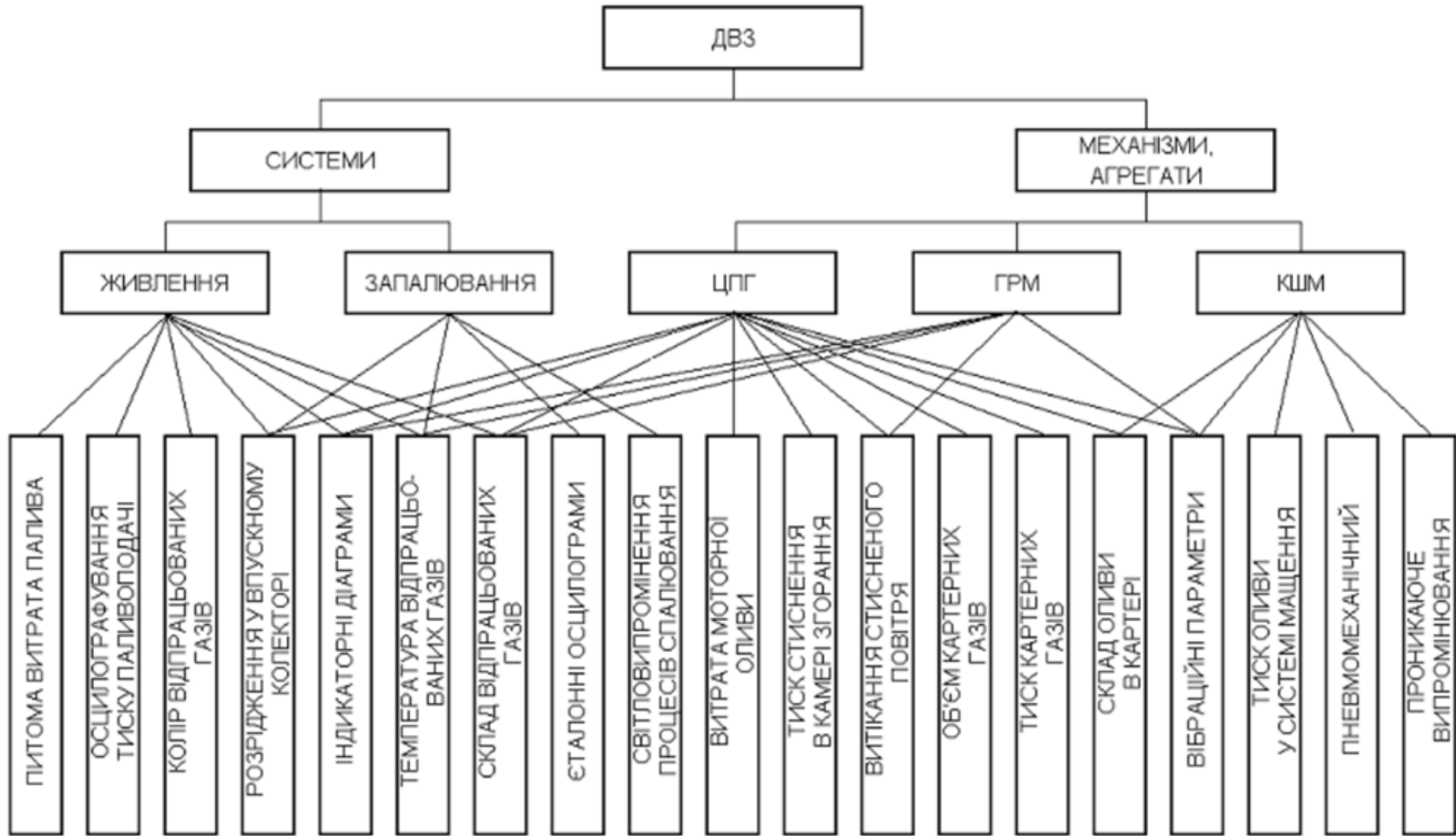
Костянтин ЯЦЕНКО

Харків, 2025

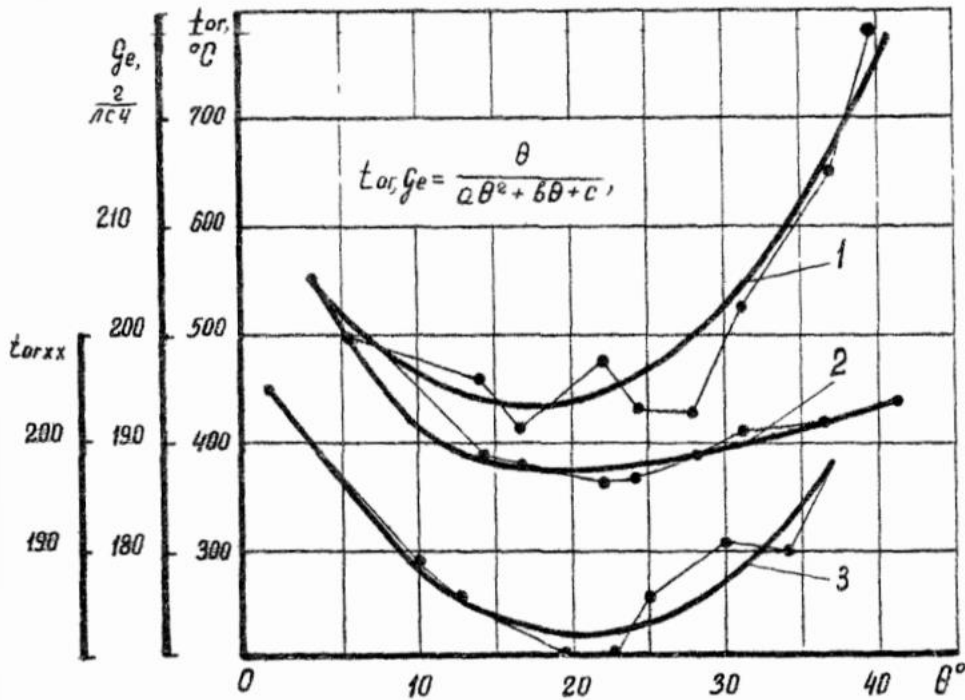
## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єкт дослідження	процес діагностування технічного стану дизелів
Предмет дослідження	встановлення взаємозв'язку між технічним станом дизеля та енергетичними показниками
Мета дослідження	удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів
Задачі дослідження	<ul style="list-style-type: none"><li>– проаналізувати вплив енергетичних показників на технічний стан дизеля;</li><li>– розробка моделі діагностування технічного стану дизелів;</li><li>– удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів;</li><li>– економічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.</li></ul>
Методи дослідження	В кваліфікаційній роботі використовувалися методи математичного моделювання та теоретичного аналізу.

# АНАЛІЗ СПОСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМ І МЕХАНІЗМІВ АВТОМОБІЛІВ

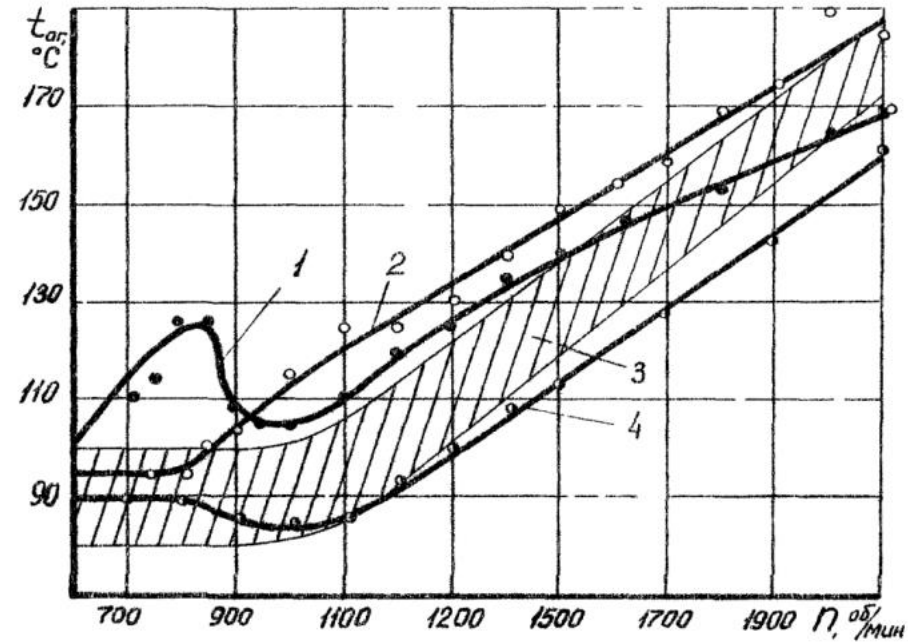


# ВПЛИВ НЕСПРАВНОСТЕЙ, РЕЖИМІВ ТА НАЛАШТУВАНЬ ДИЗЕЛЯ НА ТЕМПЕРАТУРУ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ



1 – питома витрата палива; 2 – температура ВГ під навантаженням; 3 – температура ВГ на холостому ході

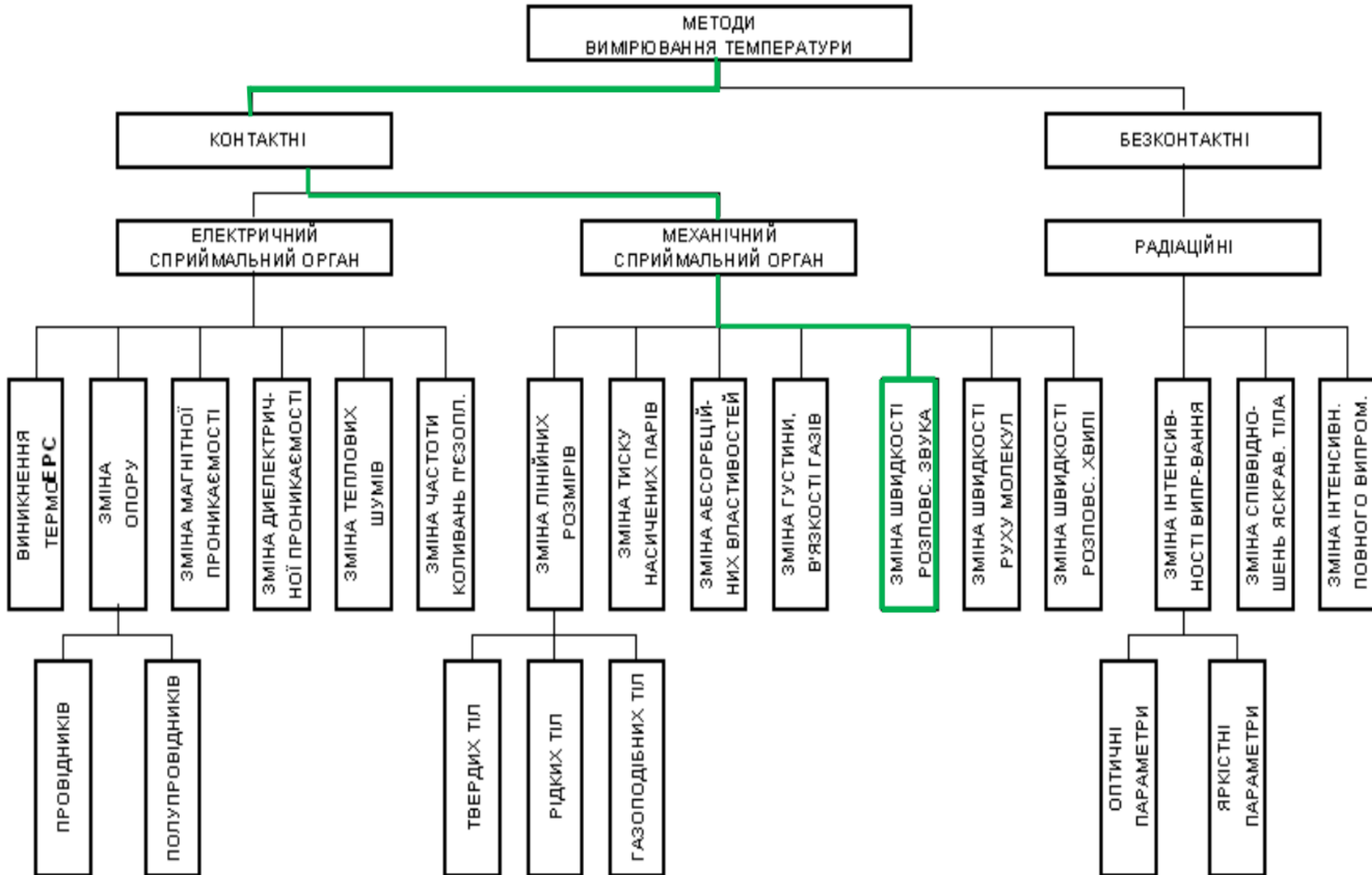
Рисунок 1.2 - Залежність питомої витрати палива та температури ВГ від кута випередження впорскування палива [7]



1 - несправна форсунка; 2 – збільшений зазор «клапан-коромисло»; 3 – справний стан; 4 – нещільність випускного клапана

Рисунок 1.3 - Зміна температури ВГ дизеля при різних відмовах [7]

# КЛАСИФІКАЦІЯ МЕТОДІВ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

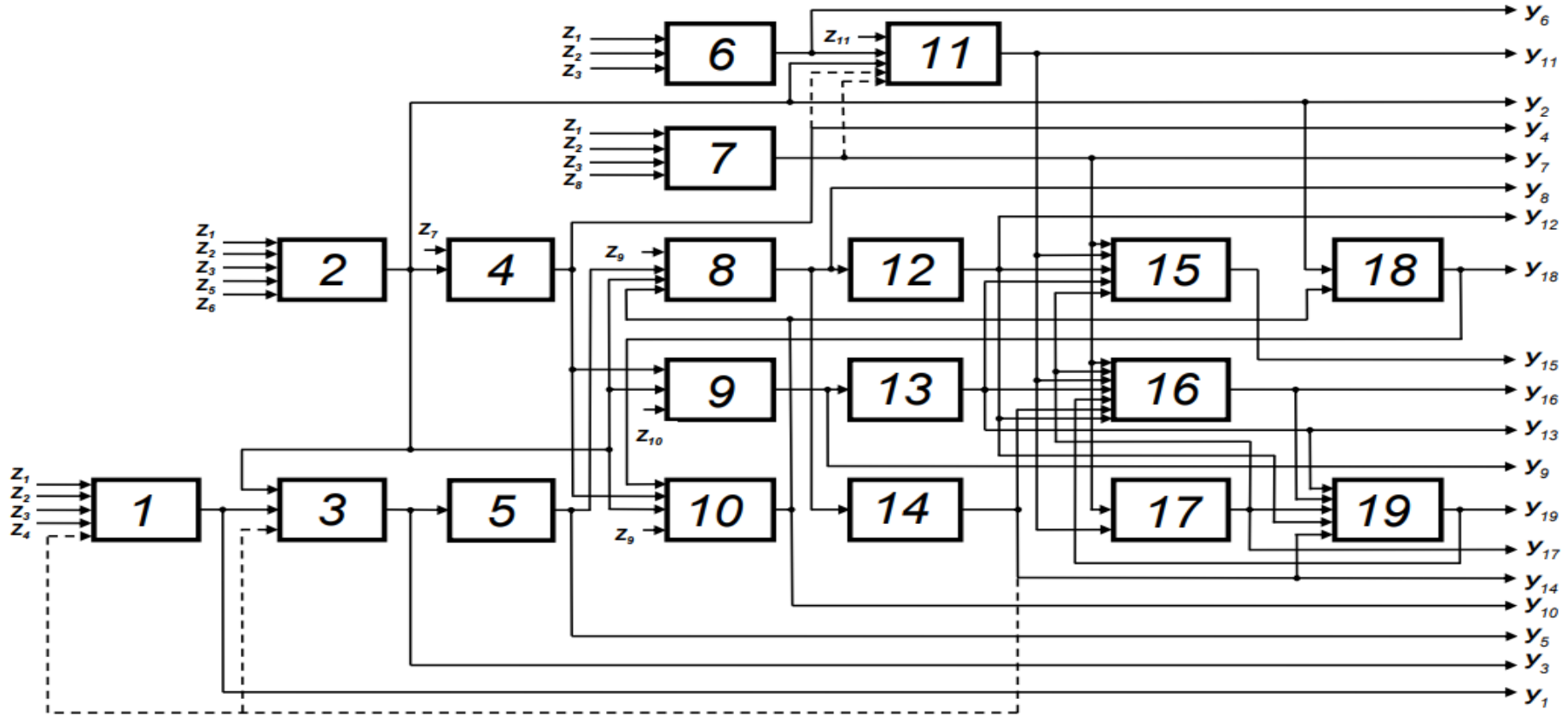


# ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛІВ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ

5

Спосіб вимірювання температури	ХАРАКТЕРИСТИКА
<b>Термопарами на виході окремо з кожного циліндра</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– велика інерційність (мають постійну часу більше 1 с);</li><li>– необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ двигуна (свердлення отворів, штуцерів для кріплення термометрів тощо);</li><li>– значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна</li></ul>
<b>З використанням безінерційних термопар або термометрів</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– значна похибка визначення миттєвих значень температури ВГ, що обумовлено наявністю інерційності засобів вимірювання температури;</li><li>– складність розрахунків поправок на інерційність;</li><li>– незначний ресурс термометрів з дротами малих діаметрів;</li><li>– необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ;</li><li>– значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна</li></ul>
<b>За допомогою інфрачервоних термометрів та тепловізорів</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– значна похибка визначення фактичної температури ВГ, що обумовлена необхідністю і складністю визначення впливу конфігурації випускного колектора на рух і розсіювання теплової енергії ВГ та інерційністю розігрівання випускного колектору;</li><li>– складність проведення розрахунків (які необхідно виконувати окремо для кожного типу двигуна)</li></ul>
<b>Акустичними датчиками температури</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>– недосконалість конструкцій наявних акустичних датчиків ускладнює процес налаштування датчика, потребує значних витрат часу на аналіз сигналу (фільтрація від завад);</li><li>– слабкий сигнал та наявність завад призводять до низької швидкодії та точності вимірювання</li></ul>

# 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

# ОБЧИСЛЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ БЕЗВІДМОВНОЇ РОБОТИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ДИЗЕЛЯ

7

№	Найменування функціональних елементів	Вихідні сигнали ( $Y$ )	Імовірність безвідмовної роботи ( $P_i$ )
1	Паливний бак	Розрідження на вході в паливопідкачувальний насос	0,87
2	Пусковий пристрій	Пускова частота обертання	0,96
3	Паливопідкачувальний насос	Тиск палива за паливопідкачувальним насосом	0,97
4	Система мащення	Тиск оливи в головній масляній магістралі	0,96
5	Фільтр очищення палива	Тиск палива після фільтра тонкого очищення	0,97
6	Повітряний фільтр	Тиск повітря на вході в дизель	0,87
7	Система охолодження	Температура охолодної рідини	0,96
8	Паливний насос високого тиску	Циклова подача палива	0,98
9	Паливний насос високого тиску	Кут випередження впорскування палива	0,94
10	Регулятор частоти обертання	Регульована регулятором частота обертання	0,92
11	Газорозподільний механізм	Кути фаз газорозподілу	0,92
12	Форсунки	Тиск упорскування палива	0,96
13	Форсунки	Кут розпилювання палива при упорскуванні	0,95
14	Форсунки	Величина витоків палива з форсунки в лінію зливу	0,97
15	Циліндро-поршнева група	Димність відпрацьованих газів	0,92
16	Циліндро-поршнева група	Температура відпрацьованих газів	0,92
17	Циліндро-поршнева група	Тиск повітря наприкінці такту стиску	0,93
18	Кривошипно-шатунний механізм	Частота обертання колінчатого вала дизеля	0,93
19	Кривошипно-шатунний механізм	Ефективна потужність дизеля	0,89

Обчислення ймовірності  $i$ -го стану моделі  $P(s_i)$ :

$$P(s_i) = [1 - P(s_0)] \cdot (1 - P_i) / \sum_{j=1}^n (1 - P_j), \quad (2.1)$$

де  $P(s_0)$  – імовірність безвідмовної роботи об'єкта діагностики,

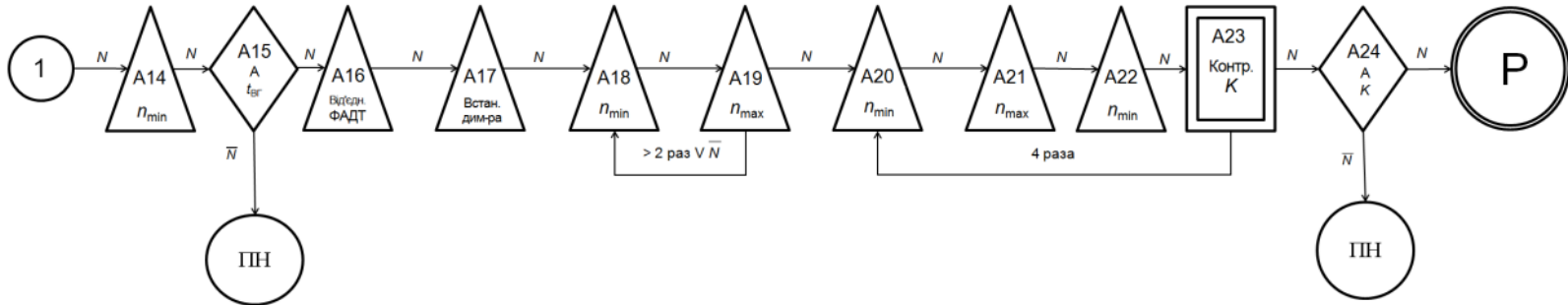
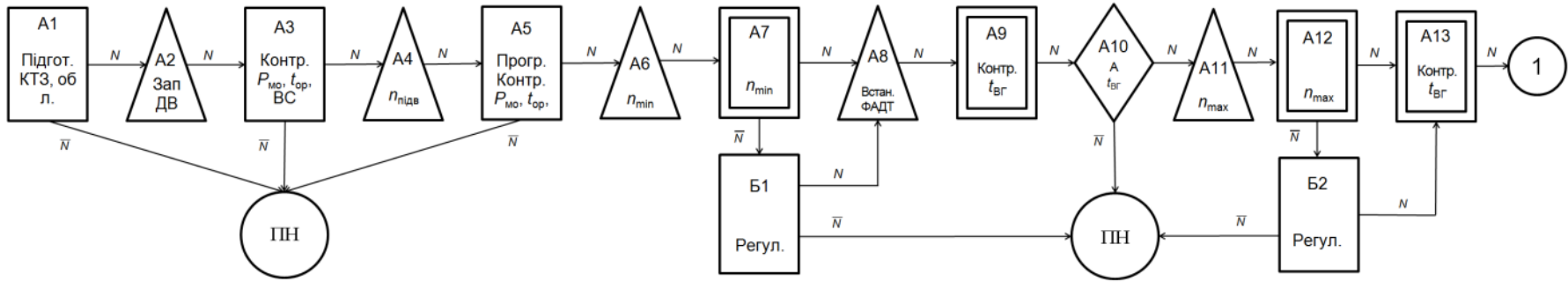
$$P(s_0) = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2.2)$$

$P_i$  - імовірність безвідмовної роботи ФЕ; причому

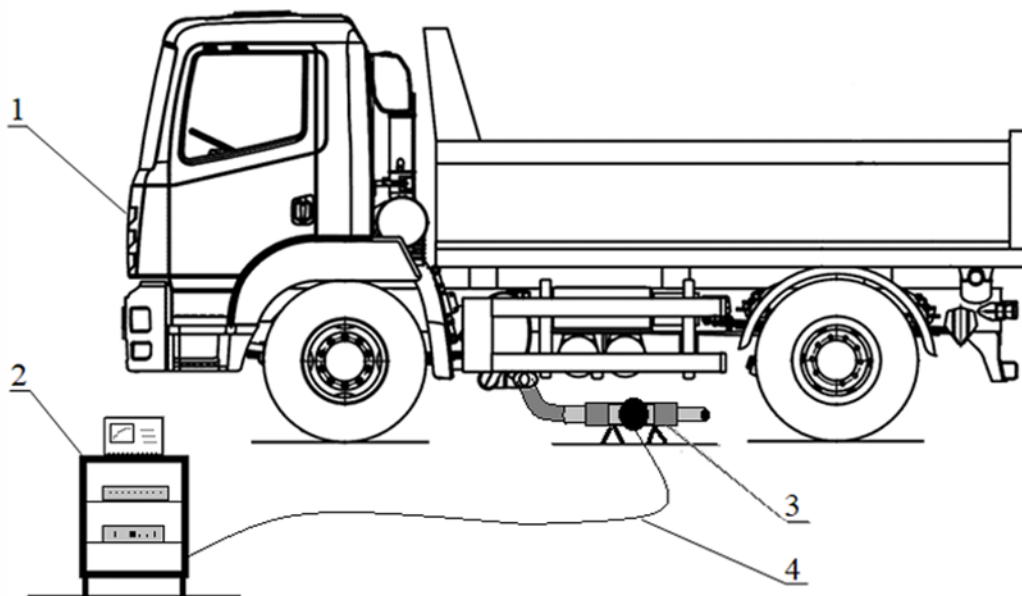
$$\sum_{i=0}^n P(s_i) = 1, \quad (2.3)$$

# ПРОГРАМА ДІАГНОСТУВАННЯ ДИЗЕЛЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ТА ДИМНІСТЮ ВИПУСКНИХ ГАЗІВ

A



## ОБЛАДНАННЯ ПОСТА З ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ КОНТРОЛЬНО-ВІМІРЮВАЛЬНИМИ ПРИЛАДАМИ



1 – КТЗ; 2 – стойка з обладнанням ФАДТ та комп'ютером з програмним забезпеченням; 3 – ФАДТ з ПАРК; 4 – кабель датчика

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі одержано нові рішення актуальної проблеми експрес-діагностування двигунів транспортних засобів, зокрема дизелів.

1. Актуальною є необхідність вибору, розробки і запровадження такого методу, способу та засобу діагностування, який би забезпечував із завданою точністю швидке визначення технічного стану ДВЗ безпосередньо на АТЗ 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 АТЗ. Встановлено, що необхідно та достатньо при перевірці роботоздатності здійснити контроль лише двох параметрів - температури і димності відпрацьованих газів.
3. За результатами аналізу існуючих засобів вимірювання температури, для цілей експрес-діагностування дизелів обґрунтовано вибір фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань.
4. Розроблено технологічний процес та методику експрес-діагностування автомобіля з дизелем, результати якого підтвердили можливість визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля в цілому.
5. Запропоновано враховувати ймовірності появ відмов дизелів АТЗ при розрахунках економічної ефективності від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування.