

Державне підприємство
Державний автотранспортний науково–дослідний і проектний інститут
Міністерство інфраструктури України

Національний транспортний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОЛОБОВ КОСТЯНТИН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 629.331:669.018

ДИСЕРТАЦІЯ

УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ

Спеціальність: 05.22.20 — «Експлуатація та ремонт засобів транспорту»

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших
авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ К.С. Колобов

Науковий керівник –
Жерновий Анатолій Сергійович,
кандидат технічних наук, доцент

Ідентичність усіх примірників дисертації засвідчую
Вчений секретар спеціалізованої вченої ради
Д26.059.03

_____ С.В. Ковбасенко

Київ – 2019

АНОТАЦІЯ

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

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

Забезпечення ефективної експлуатації колісних транспортних засобів в умовах експлуатації, що відповідає сучасним вимогам до паливної економічності та екологічної безпеки, неможливе без урахування їх технічного стану. Діагностування технічного стану та прогнозування остаточного ресурсу колісних транспортних засобів є однією з найважливіших умов підвищення ефективності, економічності та надійності їх використання. Ефективність експлуатації транспортних засобів у значній мірі визначається технічним станом їх двигунів внутрішнього згорання, для впливу на який необхідна об'єктивна інформація про нього, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів.

Технічний стан двигунів внутрішнього згорання описується певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, що мають певні числові значення, а методи діагностування базуються на вимірюванні та аналізі тих параметрів, зміни яких в найбільшій мірі характеризують стан двигуна.

Аналіз досліджень впливу відмов та несправностей транспортних дизелів на їх показники показав, що з точки зору можливості використання у діагностичних цілях, велику зацікавленість представляють такі параметри відпрацьованих газів, як склад, димність (колір) та температура. За хімічним складом, кольором та температурою відпрацьованих газів можна визначити несправності, пов'язані з роботою механізмів та систем двигуна.

Показником, який найбільш повно відповідає вимогам до діагностичних параметрів та відображає всі основні несправності системи живлення дизеля, є температура відпрацьованих газів.

За результатами аналізу статистичних даних відмов та несправностей транспортних дизелів встановили, що для дизелів особливо важливе значення має діагностування системи живлення паливом, оскільки на долю паливної системи може припадати до двох третин всіх несправностей двигуна.

Визначення технічного стану як двигуна в цілому, так і окремих його систем та механізмів, потребує проведення значної кількості діагностичних операцій, що призводить до значних втрат часу, та є неприпустимим з точки зору ефективності діагностування. Тому, в розробленій діагностичній моделі дизеля, запропонували обирати мінімальну, необхідну та достатню кількість діагностичних параметрів двигуна на основі логіко-імовірнісної моделі з використанням функції переваги. За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів побудували оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів колісних транспортних засобів. Цей алгоритм вказує, що при перевірці роботоздатності дизеля необхідно здійснити контроль лише двох параметрів - температури і димності відпрацьованих газів. Причому, з урахуванням максимального значення функції переваги першим контролюється температура, а потім димність відпрацьованих газів дизеля.

Аналіз існуючих методів і засобів вимірювання температури газів показав, що застосовувані для промислових цілей технічні засоби малонадійні і мають постійну часу більш 1 с, що ускладнює їхнє використання та обмежує інформативність діагностування при застосуванні температури відпрацьованих газів як діагностичного параметру.

Визначили, що найбільш перспективним для використання при діагностуванні в умовах експлуатації колісних транспортних засобів є метод, заснований на залежності швидкості звуку від температури газів. Така залежність носить миттєвий характер, а для її визначення найбільш підходять

акустичні датчики температури, які дозволяють реєструвати миттєві значення температури ВГ на вихідному зрізі вихлопної труби.

За результатами аналізу переваг та недоліків акустичних датчиків температури обрали у якості засобу вимірювання температурних імпульсів відпрацьованих газів на виході з випускної системи колісних транспортних засобів фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань, який найбільше відповідає цілям реєстрації швидкозмінюємої температури відпрацьованих газів за швидкодією та точністю реєстрації температурного імпульсу. За обраним типом датчика температури склали блок-схему вимірювання миттєвої температури відпрацьованих газів та виготовили макетний зразок акустичного датчика.

Експериментальними дослідженнями визначили похибку вимірювання температури газів та підтвердили можливість використання запропонованого фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань для реєстрації швидко змінюємої температури газового потоку на вихідному зрізі вихлопної труби роздільно по циліндрах дизеля.

Аналіз літературних джерел показав, що у попередніх дослідженнях оцінювання впливу технічного стану двигунів на їх показники (насамперед екологічні) здійснювали переважно за окремими режимами зовнішньої швидкісної та навантажувальних характеристик двигунів, без їх комплексного оцінювання за питомими викидами. Таким чином, з метою більш повного аналізу впливу несправностей дизелів на їх показники, провели оцінювання впливу найбільш характерних відмов та несправностей двигуна на енергетичні і екологічні показники за стандартизованими процедурами Правил ООН №24 та Правил ООН №49. Під час досліджень, також визначили зв'язок цих відмов та несправностей двигуна з температурою відпрацьованих газів, що дало можливість отримати необхідні данні для розробки методу діагностування дизелів за температурою відпрацьованих газів.

За попереднім аналізом було визначено що більшість відмов дизеля припадає на систему живлення двигуна паливом, тому дослідження проводилося з імітуванням відмов саме цієї системи. Досліджувався вплив зміни (розрегулювання) статичного кута випередження впорскування палива, зміни тиску впорскування палива форсунками та циклової подачі палива. Зазначені відмови дизеля створювалися штучно, шляхом внесення змін до їх регулювання.

Оцінювання впливу відмов на енергетичні, екологічні показники та температуру відпрацьованих газів здійснювалося в режимах максимальної потужності, максимального крутного моменту та в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу двигуна. Загальна оцінка впливу відмов дизеля на його екологічні показники здійснювалася шляхом визначення питомих викидів шкідливих речовин при випробовуванні згідно з Правил ООН №49-02.

Стендові моторні випробування проводили у лабораторії дослідження використання палив та екології ДП «ДержавтотрансНДІпроект» на чотирициліндровому атмосферному дизельному двигуні моделі OM 615 виробництва фірми Mercedes-Benz. Експериментальні дослідження щодо підтвердження можливості діагностування в умовах експлуатації провели на вантажному автомобілі ГАЗ-3309 виробництва ОАО «ГАЗ» з дизельним двигуном моделі Д-245.7Е2 виробництва Мінського моторного заводу (ММЗ).

За результатами випробувань визначили вплив характерних несправностей системи живлення дизеля паливом на його енергетичні і екологічні показники, визначили їх зв'язок з температурою відпрацьованих газів. Оцінили вплив цих несправностей на відповідність дизеля нормованим значенням питомих викидів шкідливих речовин, у тому числі за твердими частинками, згідно зі стандартизованою процедурою Правил ООН №49-02. Встановили, що відхилення налаштувань систем та механізмів системи живлення двигуна паливом від штатних призводить до значного підвищення питомих викидів шкідливих речовин дизелем.

На основі експериментальних досліджень визначили режими діагностування дизеля та граничні значення діагностичного параметру. Для діагностування технічного стану дизеля за температурою відпрацьованих газів розроблено методику, програмований технологічний процес діагностування та рекомендації щодо впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування в експлуатації.

В дисертаційній роботі використали фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань виготовленим за розрахунками відповідно до параметрів дизеля Mercedes-Benz OM 615.

Для оцінювання економічної ефективності використання в експлуатації удосконаленого способу експрес-діагностування транспортних дизелів розраховували термін окупності витрат, які пов'язані з виготовленням фазоакустичного датчика температури, а також, оцінили економічний ефект від зменшення розміру екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря.

За результатами дисертаційної роботи встановлено наступне.

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

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

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

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

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

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

7. Для визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля КТЗ за допомогою удосконаленого способу експрес-діагностування розроблено програмований технологічний процес та методику експрес-діагностування, а також проведено випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2, результати якого підтвердили можливість визначення в умовах експлуатації

технічного стану як дизеля в цілому, так і окремих його циліндрів за допомогою ФАДТ з ПАРК в режимах холостого ходу.

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

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

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

Наукова новизна одержаних результатів.

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

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

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

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

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

Практичне значення одержаних результатів.

1. Методика побудови оптимізованого алгоритму експрес-

діагностування дизеля на основі логіко-імовірнісної діагностичної моделі двигуна з використанням функції переваг.

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

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

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

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

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

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

Ключові слова.

Технічний стан, діагностичний параметр, діагностична модель, дизель, температура, фазоакустичний датчик температури, експрес-діагностування.

Список публікацій здобувача.

Публікації в наукових фахових виданнях

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

10. Колобов К.С. Вплив технічного стану дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів / К.С. Колобов //

Systemy i środki transportu samochodowego. Monografia nr 13. Seria: Transport. Rzeszów 2018. S.23-30.

Публікації апробаційного характеру

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

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

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

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

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

16. Колобов К.С. Розробка методики експрес-діагностування дизеля. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених

структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2017. – 595с., С.51.

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

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

Патенти на корисну модель

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

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

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

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

ANNOTATION

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

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

Providing efficient operation of motor vehicles in operation that meets modern requirements for fuel efficiency and environmental safety is impossible without taking into account their technical condition. Diagnosing the technical condition and forecasting the final resource of wheeled vehicles is one of the most important conditions for increasing the efficiency, fuel efficiency and reliability of their use. The efficiency of the operation of vehicles is largely determined by the technical condition of their internal combustion engines, for the impact on which objective information about it is required, which is provided by technical diagnosis on the basis of various technical means.

The technical state of internal combustion engines is described by a certain complex of output and structural parameters of parts, units and systems having certain numerical values, and diagnostic methods are based on measurement and analysis of those parameters, the changes of which most strongly characterize the state of the engine.

An analysis of the research on the effects of failures and malfunctions of transport diesels on their performance has shown that from the point of view of the possibility of use for diagnostic purposes, the following parameters of exhaust gases, such as composition, smoke (color) and temperature, are of great interest. By chemical composition, color and temperature of the exhaust gases it is possible to determine the malfunctions associated with the work of mechanisms and engine systems. The indicator that most fully meets the requirements for diagnostic

parameters and displays all the main malfunctions of the diesel power system is the temperature of the exhaust gases.

According to the results of the analysis of the statistics of failures and malfunctions of transport diesels, it has been found that for diesel engines the diagnostics of fuel supply system is especially important, since up to two-thirds of all engine failures can account for the fuel system's share.

The determination of the technical state of the engine as a whole, as well as of its separate systems and mechanisms, requires a large number of diagnostic operations, which results in significant time losses and is inadmissible from the point of view of the effectiveness of the diagnosis. Therefore, in the developed diagnostic model of the diesel engine, it was suggested to choose the minimum and sufficient number of diagnostic parameters of the engine based on the logical-probabilistic model using the advantage function. Based on the results of the choice of a rational sequence of parameters control, an optimized algorithm for diagnosing the performance of diesel vehicles of the wheeled vehicles was constructed. This algorithm indicates that in checking the efficiency of the diesel, it is necessary to control only two parameters - temperature and smoke exhaust gases. Moreover, in the first place it is necessary to controlled temperature taking into account the maximum value of the function of the advantage, and then the smoke exhaust gases of diesel.

The analysis of existing methods and means of measuring the temperature of gases showed that the technical means used for industrial purposes are not reliable and have a constant time of more than 1 s, which complicates their use and limits informative diagnostics when using the temperature of exhaust gases as a diagnostic parameter.

It was determined that the most promising for use in diagnosing under the conditions of operation of wheeled vehicles is a method based on the dependence of the speed of sound on the temperature of the gases. This dependence is instantaneous, and for its determination, the most suitable acoustic temperature sensors, which allow recording the instantaneous values of the temperature of EG on the outlet of the exhaust pipe.

As a result of the analysis of the advantages and disadvantages of acoustic temperature sensors, they have been selected as a means of measuring the temperature impulses of the exhaust gases at the outlet of the vehicle's exhaust system, a phase-acoustic temperature sensor with a flowing acoustic resonator of oscillation, which most closely corresponds to the purpose of recording the rapidly changing temperature of the exhaust gases in terms of speed and accuracy registering the temperature pulse. According the selected type of temperature sensor it was developed a flowchart for measuring the instantaneous temperature of the exhaust gases and a prototype acoustic sensor was made.

The experimental studies determined the error of measurement of the temperature of the gases and confirmed the possibility of using the proposed phase-acoustic temperature sensor with a flow acoustic resonator oscillations to record the rapidly changing temperature of the gas stream at the outlet of the exhaust pipe separately in cylinders of the diesel engine.

An analysis of literary sources has shown that in previous studies, the assessment of the impact of the technical state of engines on their performance (primarily environmental) was carried out mainly on individual modes of external high-speed and loading characteristics of engines, without their complex assessment of specific emissions. Thus, in order to more fully analyze the impact of diesels on their performance, they evaluated the impact of the most characteristic bounces and engine malfunctions on the energy and environmental performance of the standardized procedures of UN Regulation No. 24 and UN Regulation No. 49. During studies, the connection between these failures and engine faults with the temperature of the exhaust gases was also identified, which gave the opportunity to obtain the necessary data for the development of a method for diagnosing diesel engines at the temperature of the exhaust gases.

According to the previous analysis, it was determined that most of the failures of the diesel engine are due to the fuel supply system of the engine, therefore the study was conducted with the simulation of failures of this particular system. The effect of the change (disregard) of the static angle of fuel injection

prevention, the change in the injection pressure of the fuel by the nozzles and the cyclic fuel supply was studied. These diesels were created artificially, by making changes to their regulation.

The assessment of the impact of failures on energy, environmental performance and temperature of the exhaust gases was carried out in modes of maximum power, maximum torque and in the mode of minimum engine speed rotational speed. A general assessment of the impact of diesel fires on its environmental performance was carried out by determining the specific emissions of harmful substances during testing in accordance with UN Regulation No. 49-02.

The bench motor tests were carried out at the Laboratory of Fuel Use and Ecology of the State Enterprise " State Road Transport Research Institute" on the four-cylinder atmospheric diesel engine model OM-615 manufactured by Mercedes-Benz. Experimental studies to confirm the possibility of diagnosing in the conditions of operation were carried out on a GAZ-3309 GAZ truck with a diesel engine model D-245.7E2 manufactured by the Minsk Motor Plant (MMZ).

According to the results of the tests, the influence of typical malfunctions of the diesel fuel supply system on its energy and environmental parameters, its connection with the temperature of the exhaust gases was determined. Evaluated the effect of these malfunctions on the conformity of diesel with the normed values of specific emissions of harmful substances, including solid particles, in accordance with the standardized procedure of UN Regulation No. 49-02. It has been established that the deviation of the settings of systems and mechanisms of the engine power system by fuel from the staff leads to a significant increase in the specific emissions of harmful substances by diesel.

On the basis of experimental studies, the diagnostic regimes of the diesel engine and the limit values of the diagnostic parameter were determined. To diagnose the technical state of the diesel engine at the temperature of the exhaust gases, a methodology, a programmed technological process of diagnosis and recommendations for the introduction of an advanced method of express diagnosis in operation have been developed.

In the dissertation work the phase-acoustic temperature sensor from the flowmeter using an acoustic resonator of oscillations was used in accordance with the parameters of the diesel Mercedes-Benz OM 615.

In order to evaluate the economic efficiency of the use in operation of the improved method of express diagnosis of transport diesels, they calculated the payback period of costs associated with the manufacture of a phase-acoustic temperature sensor, and also estimated the economic effect of reducing the size of environmental damage for excessive emissions of pollutants into the atmosphere.

The results of the dissertation work are as follows.

1. There is an urgent need to select, develop and implement such a method, method and means of diagnosis, which would provide in the conditions of operation with the given accuracy rapid determination of the technical state of the engine directly at the vehicle during normal operation with the help of an autonomous and not complicated means of technical diagnosis without the use of loading equipment.

2. The analysis of the developed diagnostic model of the diesel engine made it possible to determine the minimal, necessary and sufficient set of diagnostic parameters, to choose a rational sequence of control of these parameters and to build an optimized algorithm of diagnostics in controlling the efficiency of the diesel engines of the vehicle. It is established that out of 19 parameters, which determine the technical condition of the diesel engine, it is necessary and sufficient to check the operability of only two parameters - the temperature (T_{EG}) and the smoke (K) of the exhaust gases.

3. The results of bench tests of diesel Mercedes-Benz revealed that deviation of its technical condition from the nominal values of operational parameters leads to a change in the temperature of the EG and other main performance indicators, as well as the influence of the deviations of the settings of the mechanisms and systems of the diesel on the specific emissions of harmful substances from the EG for standardized test procedure of UN Regulations No. 49-02.

4. According to the results of the analysis of existing temperature measuring instruments, the choice and calculation of the phase acoustic temperature sensor (FATS) with a flow acoustic resonator oscillator (FARO) for the purposes of express diagnostics of diesels in operating conditions is grounded.

5. It is established that during express diagnostics with FATS, it is necessary to correct the value (temperature pulses) of the diesel engine EG, depending on the ambient air temperature. For the first time, a method for calculating the coefficient of correction of values of temperature pulses of EG during diagnosis is proposed.

6. The simplified calculation of the FATS acoustic flow resonator oscillator proposed in the work allows to calculate its design parameters depending on the exhaust gas temperature at the outlet of the exhaust pipe, changes in the exhaust gas parameters as it passes through the exhaust path, the diameter of the exhaust pipe of the diesels and the like. According to the results of the FATS calibration, it is found that the absolute value of the standard deviation of the mean value of the measurements σ_t does not exceed 1°C , and the extended uncertainty U_p does not exceed 3.3°C .

7. To determine the conditions of operation of the technical condition of the diesel engines of the vehicle with the help of an advanced method of rapid diagnostics programmable technological process and method of rapid diagnostics were developed, as well as tests of the GAZ-3309 car with the D-245.7E2 diesel were carried out, the results of which confirmed the possibility of determination under the conditions operation of the technical condition of both the diesel engine as a whole and its individual cylinders by means of FATS with FARO in idle modes.

8. It is suggested to take into account the probability of occurrence of failures of diesel vehicles in calculations of economic and environmental efficiency from the implementation of an improved method of rapid diagnostics.

The estimated estimated payback period for the production of FATS is for vehicles fleet in the amount of 20 units - 3.3 months.

9. The results of experimental tests and calculations are accepted for use in Private Company "AutoKrAZ" and "Chernihiv Autoplant" Ltd.

Scientific novelty of the obtained results.

1. It is proposed to take full account of the actual state of the engine as the object of diagnostics in the operation, in addition to the functional and logical connections between the functional elements of the diesel engine, to take into account the probabilities of the states of its systems and mechanisms.

2. It is proposed to determine the operative of diesels during rapid diagnosis of the instantaneous values of temperature impulses of each cylinder at the outlet from the exhaust pipe (Ukrainian Patent for utility model No. 117911).

3. For the first time a new application of a phase-acoustic temperature sensor with a flowing acoustic resonator of oscillations as a diagnostic tool for diesel engine (patent of Ukraine for utility model No. 117912) was proposed.

4. The necessity to adjust the obtained values of temperature pulses of EG during the rapid diagnosis according to the ambient air temperature is established.

5. The calculations of economic and ecological efficiency from the introduction of the advanced method of express diagnosis are considered, taking into account the probability of the occurrence of failures of diesel engine.

The practical value of the results.

1. Method of constructing an optimized algorithm for express diagnosis of diesel based on the logic-probabilistic diagnostic engine model using the advantage function.

2. Experimental data on the influence of failures of mechanisms and the diesel system on its energy, economic performance, emissions of hazardous substances and temperature of exhaust gases.

3. Recommendations on the development of a programmable technological process and the method of express diagnosis of diesel engines at the temperature of exhaust gases using FATS.

4. Method of calculating the coefficient of correction values of temperature pulses EG, depending on the temperature of the ambient air.

5. Acoustic sensor of instantaneous temperature of pulsed fluxes of gases (Ukrainian patent on utility model No. 117912).

6. Methods of calculation of economic and ecological efficiency at introduction in operation of the advanced method of express diagnosis of diesels wheeled vehicles.

9. Results of researches were introduced at Private Company "AutoKrAZ" and "Chernihiv Autoplant" Ltd.

Keywords

Technical condition, diagnostic parameter, diagnostic model, diesel, temperature, phase-acoustic temperature sensor, rapid diagnosis.

List of publisher publications

Publications in scientific journals

1. Zhernovyi A.S. Analysis and selection of diagnostic tool for internal combustion engines / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Separate issue - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2004. - p. 147 - 149.

2. Zhernovyi A.S. Development and research of the method of diagnostics of internal combustion engines / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Separate issue - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2005. - P. 56 - 59.

3. Zhernovyi A.S. New methods and tools for diagnosing internal combustion engines / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Issue 3 - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2006. - P. 14-16.

4. Zhernovyi A.S. Development of optimized algorithm of diagnostics at the control of performance of a diesel engine WV / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Issue 4 - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2008. - P. 6 - 9.

5. Zhernovyi A.S. Development of a means for recording the instantaneous temperature of exhaust gases for express diagnosis of diesels / A.S. Zhernovyi,

K.S. Kolobov // Bulletin of the National Transport University. Part 2. Scientific and technical collection. Issue 21 - K.: NTU, 2010. - C. 37 - 39.

6. Zhernovyi A.S. The choice of means of express diagnosis of diesel engines / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Issue 4 - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2011. - P. 10 - 12.

7. Kolobov K.S. Investigation of structural and gas dynamic parameters of phase acoustic temperature sensor of exhaust gases of transport engines / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov // Roadster of Ukraine. Issue 5 - K.: State Enterprise "State Automobile Research and Development Project", 2011. - P. 20 - 24.

8. Kolobov K.S. Selection of diagnostic parameters for express diagnostics of diesel engines. / A.S. Zhernovyi, O.D. Klimpush, K.S. Kolobov // Bulletin of the National Transport University. Scientific and technical collection. Issue 25 - K.: NTU, 2012. - C. 175 - 178.

9. Kolobov K.S. Investigation of the influence of malfunctions of systems and mechanisms of diesel on its ecological, energy indices and temperature of exhaust gases / K.S. Kolobov // Scientific Papers of the Taurida National University named after VI Vernadsky Series: Technical Sciences », Volume 29 (68). Part 3 Issue 1 - K.: TNU, 2018. - P. 103-108.

Publications in scientific periodicals of foreign states

10. Kolobov K.S. Influence of the technical condition of the diesel engine on its ecological, energy indices and temperature of exhaust gases / K.S. Kolobov // Systemy i środki transportu samochodowego. Monograph No. 13. Seria: Transport. Rzeszów 2018. S.23-30.

Publications of approbatory character

11. Kolobov K.S. Development of the method of express diagnosis of internal combustion engines. // Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / 63 scientific and practical conference of scientific and pedagogical workers, post-graduate students, students and structural units of the University. - K: NTU, 2007 – 440 s. P.52.

12. Kolobov K.S. Development of optimized diagnostic algorithm for diesel engine performance control on the basis of logical-probabilistic model. //

Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / LXIV scientific-practical conference of scientific and pedagogical workers, post-graduate students, students and structural subdivisions of the University. - K: NTU, 2008. – 464 s. P.59.

13. Kolobov K.S. Development of means for express diagnosing of engines of wheeled vehicles. // Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / LXV scientific conference of professors, graduate students, students and employees of separate structural units of the university. - K: NTU, 2009 -440 s., P.57.

14. Kolobov K.S. Creation of experimental installation and development of program and methods of experimental study of phase acoustic temperature sensor. // Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / LXVI scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. - K: NTU, 2010 -446 s., P. 70.

15. Kolobov K.S. Development of the method of express diagnosis of diesel engines. // Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / LXVIII scientific conference of faculty, post-graduate students, students and employees of separate structural units of the university. - K: NTU, 2012. -504 s., P.28.

16. Kolobov K.S. Development of the method of express diagnosis of diesel. // Zhernovyi A.S., Kolobov K.S. / LXXIII scientific conference of faculty, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. - K.: NTU, 2017. - 595 s., P. 51.

17. Kolobov K.S. Programmed process of rapid diagnosis of diesel engines // Kolobov K.S. / LXXIV scientific conference of faculty members, graduate students, students and employees of separate structural subdivisions of the University. - K.: NTU, 2018 – 564 s., P.47.

18. Kolobov K.S. Express diagnostics of a diesel engine by temperature impulses in the exhaust system. // K.S. Kolobov / Science - Education, Production, Economics: Materials of the 16th International Scientific and Technical Conference. - Minsk: BNTU, 2018. P. 78.

Patents for utility model

19. Patent №117911 Ukraine, IPC G01M 15/04 (2006.01), G01M 15/10 (2006.01), "Method for diagnosing internal combustion engines at the temperature of exhaust gases" / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov / (Ukraine); Applicant and patent holder: A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov, State number u2017 01386; statements. 02-14-2017; published Jul 10, 2017, Bul. No. 13

20. Patent №117912 Ukraine, МПК G01K 11/22 (2006.01), G01K 11/24 (2006.01), "Acoustic sensor of instantaneous temperature of pulsed fluxes of gases" / A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov / (Ukraine); Applicant and patent holder: A.S. Zhernovyi, K.S. Kolobov, State number u2017 01387; statements. 02-14-2017; published Jul 10, 2017, Bul. No. 13

Certificate of registration of copyright to work

21. Article "Research of the influence of malfunctions of systems and mechanisms of diesel on its ecological, energy parameters and temperature of exhaust gases" / K.S. Kolobov // Certificate of registration of copyright for work No. 83350 dated November 30, 2018.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	27
ВСТУП.....	28
РОЗДІЛ 1 ДО ВИБОРУ СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ.....	34
1.1 Роль діагностування в сучасних умовах експлуатації КТЗ...	34
1.2 Методи, способи та засоби діагностування	44
1.3 Вибір та обґрунтування доцільного методу, способу та засобу діагностування технічного стану дизелів	54
1.4 Висновки до розділу 1.....	67
1.5 Мета і задачі дослідження.....	68
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА ТА ПОБУДОВА ДІАГНОСТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ.....	70
2.1 Визначення двигуна як об'єкта діагностування.....	70
2.2 Побудова функціональної та функціонально-логічної моделей двигуна.....	78
2.3 Аналіз статистичних даних відмов елементів двигуна та їх ймовірностей.....	85
2.4 Побудова логіко-імовірнісної діагностичної моделі у вигляді матриці станів.....	88
2.5 Аналіз матриці станів та побудова оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов ДВЗ.....	90
2.6 Висновки до розділу 2.....	93
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ФАЗОАКУСТИЧНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ....	94
3.1 Обґрунтування застосування акустичного датчика температури відпрацьованих газів.....	94

3.2	Розробка схеми та макетного зразка фазоакустичного датчика температури відпрацьованих газів, розрахунок та оптимізація його технічних параметрів.....	96
3.3	Вибір конструктивних параметрів звуководів фазоакустичного датчика температури.....	109
3.4	Оцінювання метрологічних характеристик фазоакустичного датчика температури.....	115
3.5	Висновки до розділу 3.....	121
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДМОВ ДИЗЕЛЯ НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ І ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ТЕМПЕРАТУРУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ		
4.1	Мета і задачі експериментальних досліджень.....	122
4.2	Програма та методика експериментальних досліджень	123
4.3	Планування експерименту, визначення режимів та параметрів діагностування, моделювання відмов систем та механізмів ДВЗ, підбір обладнання, ВО та ЗВТ.....	125
4.4	Розробка експериментальної установки.....	128
4.4.1	Об'єкти експериментальних досліджень.....	128
4.4.2	Розробка схеми експериментальної установки.....	134
4.5	Вплив конструктивних параметрів випускної системи дизеля та температури повітря оточуючого середовища на значення діагностичного параметру температура ВГ.....	144
4.6	Експериментальне визначення впливу відмов систем та механізмів дизеля на екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів.....	148
4.7	Математична обробка та аналіз результатів експерименту.....	170
4.8	Випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 в умовах експлуатації.....	179
4.9	Висновки до розділу 4.....	185

РОЗДІЛ 5	РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ.....	187
5.1	Аналіз виконаних теоретичних та експериментальних досліджень з метою побудови технологічного процесу експрес-діагностування ДВЗ.....	187
5.2	Розробка програмованого технологічного процесу експрес-діагностування дизелів на основі оптимізованого алгоритму діагностування з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів.....	188
5.3	Рекомендації щодо впровадження в експлуатацію розробленого технологічного процесу.....	199
5.4	Економічна та екологічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів.....	201
5.4.1	Розрахунок економічного ефекту впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою відпрацьованих газів.....	202
5.4.2	Розрахунок екологічного ефекту впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою відпрацьованих газів.....	211
5.5	Висновки до розділу 5.....	219
	ВИСНОВКИ.....	221
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ.....	223
	ДОДАТОК А.....	238
	ДОДАТОК Б.....	243
	ДОДАТОК В.....	245
	ДОДАТОК Г.....	249
	ДОДАТОК Д.....	254
	ДОДАТОК Е.....	258

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

НТУ	- Національний транспортний університет
ФАДТ	- фазоакустичний датчик температури
ПАРК	- проточний акустичний резонатор коливань
КТЗ	- колісний транспортний засіб
ДВЗ	- двигун внутрішнього згорання
ВГ	- відпрацьовані газі
ШР	- шкідливі речовини
ШВ	- шкідливі викиди
ООН	- Європейська економічна комісія Організації Об'єднаних Націй
СО	- оксид вуглецю
СО ₂	- двооксид вуглецю
СН	- вуглеводні
NO _x	- оксиди азоту

ВСТУП

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

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

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

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

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

Мета дослідження. Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів для підвищення ефективності експлуатації транспортних засобів.

Задачі дослідження.

1. Аналіз методів, способів і засобів діагностування дизелів.
2. Побудова моделі діагностування технічного стану дизелів.
3. Аналіз відомих способів реєстрації параметрів акустичного сигналу, конструкцій акустичних датчиків температури ВГ, придатних для цілей експрес-діагностування технічного стану дизелів, та розробка макетного зразка датчика.
4. Проведення стендових випробувань дизеля з оцінювання впливу технічного стану двигуна на температуру відпрацьованих газів, енергетичні, екологічні показники та паливну економічність.
5. Розроблення методики та програмованого технологічного процесу експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ з використанням акустичного датчика.
6. Визначення в умовах експлуатації технічного стану дизеля КТЗ за допомогою удосконаленого способу експрес-діагностування з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури ВГ та оцінювання ефективності від його впровадження.

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

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

Методи дослідження.

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

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

Наукова новизна одержаних результатів.

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

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

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

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

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

Практичне значення одержаних результатів.

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

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

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

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

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

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

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

Особистий внесок здобувача.

Основні результати, які викладені в дисертації і подані до захисту, отримано здобувачем самостійно. Роботи (Додаток А) [9, 10, 17, 18, 21] опубліковані без співавторів. У роботах (Додаток А), опублікованих у співавторстві, автору належать: аналіз методів, способів та засобів

діагностування двигунів внутрішнього згорання колісних транспортних засобів та обґрунтування вибору способу експрес-діагностування транспортних дизелів за температурою ВГ [2, 3, 11, 19], побудова та аналіз доцільної діагностичної моделі дизеля, вибір раціональної послідовності контролю діагностичних параметрів та побудова оптимізованого алгоритму діагностування при контролі роботоздатності дизелів КТЗ [4, 8, 12, 15], аналіз існуючих конструкцій акустичних датчиків температури, розробка і виготовлення макетного зразка ФАДТ з ПАРК та визначення його роботоздатності [1, 5, 6, 7, 13, 20], постановка задачі, та проведення експериментальних досліджень впливу відмов механізмів і систем дизеля на його енергетичні, економічні показники, викиди шкідливих речовин та температуру відпрацьованих газів [9, 10, 14], розробка методики та побудова технологічного процесу експрес-діагностування дизелів за температурою ВГ в умовах експлуатації [16, 17, 18].

Апробація результатів дисертації.

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

Публікації. Матеріали дисертаційної роботи опубліковано (Додаток А) у 21 наукових працях, з яких 9 статей опубліковано у фахових виданнях України, 1 стаття в іноземних періодичних виданнях та 8-ми тезах науково-технічних конференцій. П'ять наукових праць видано одноосібно. Отримано

два патенти України на корисну модель (у співавторстві) і свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір (Додаток Б, В).

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

РОЗДІЛ 1

ДО ВИБОРУ СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

1.1 Роль діагностування в сучасних умовах експлуатації КТЗ

Найбільш поширеним і доступним видом транспорту в Україні є автомобільний транспорт, який широко використовується для міських, приміських, міжміських, внутрирайонних, внутриобластних, міжобласних та міжнародних перевезень вантажів і пасажирів. За обсягом перевезень вантажів та пасажирів протягом багатьох років він обіймає перше місце. В Україні, станом на 2015 рік, питома вага автомобільного транспорту в перевезенні вантажів складала 69 %, а у перевезенні пасажирів: за міжміським сполученням – 72,5 %; внутрішньоміським – 39,7 % та приміським сполученням – 56,7 % [1]. Таку позицію автомобільний транспорт має завдяки високій мобільності та великій розмаїтності транспортних засобів за вантажопід'ємністю, призначеністю, конструктивними й техніко-економічними характеристиками. Завдяки цьому він може забезпечити перевезення вантажів різних за виглядом, характером, обсягом і величиною партії, забезпечуючи високу якість їхньої доставки безпосередньо від постачальника до замовника.

Якість роботи автомобільного транспорту значною мірою впливає на безперебійність торгівлі, собівартість продукції, розмір товарних запасів і рентабельність підприємств, задоволення попиту населення в пасажироперевезеннях, а споживачів у товарах.

Для покращання роботи автомобільного транспорту розвивається матеріально технічна база, за рахунок оновлення автопарку збільшується в експлуатації частка сучасних колісних транспортних засобів з поліпшеними технічними і експлуатаційними характеристиками, надійністю та довговічністю. Завдяки кращим показникам паливної економічності збільшується і частка КТЗ з дизелями.

Вимоги ринкової економіки призводять до необхідності посиленої боротьби автотранспортних підприємств за споживачів транспортних послуг, що, своєю чергою, має позитивний вплив на підвищення якості надання послуг і розширенні їх асортименту.

З іншого боку, автомобільний транспорт споживає значну кількість паливних ресурсів і чинить серйозний вплив на навколишнє середовище. Викиди автотранспортом складають понад третину усього об'єму викидів забруднюючих речовин в Україні, а в деяких містах більше, ніж половину. Так, у Чернівцях - 75%, Києві та Вінниці - 77%, Львові - 79%, Івано-Франківську і Луцьку - 83%, Полтаві та Хмельницькому - 88%, Ужгороді - 91% від загальної кількості викидів. Понад 40% оксиду вуглецю, 40% вуглеводів і близько 30% оксидів азоту від загальної кількості цих речовин, які потрапляють у повітря належить різним видам транспорту [2]. Таким чином, швидке зростання кількості автотранспортних засобів на дорогах призвело до істотного ускладнення екологічної обстановки, особливо у великих містах. В експлуатації значний вплив на споживання палива та забруднення навколишнього середовища справляє технічний стан транспортних засобів.

Таким чином, основними завданнями автомобільного транспорту є – своєчасне, якісне і повне задоволення потреб країни у перевезеннях, а також, підвищення економічної та екологічної ефективності роботи кожного підприємства і галузі в цілому. Виконання цього завдання неможливе без підтримання автомобільного транспорту у технічно справному стані та високій технічній готовності.

Основним засобом забезпечення постійної високої технічної готовності КТЗ є своєчасне проведення з високою якістю технічного обслуговування або 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

операцій щодо відновлення справності або роботоздатності виробів та відновлення ресурсів виробів чи їх складових частин [3].

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 КТЗ.

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 [3]. 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 [4 - 10]. Основним завданням технічного діагностування КТЗ є скорочення витрат на їх технічне обслуговування і зменшення втрат від простою в результаті відмов окремих агрегатів [11, 12, 13].

Враховуючи масштаби застосування дизелів на автомобільному транспорті, вирішення питань, пов'язаних з їх діагностуванням, має важливе практичне значення. Особливо важливим є визначення технічного стану КТЗ 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.

Згідно з ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» технічна діагностика - область знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єкта [11]. Технічна діагностика містить відомості про методи і засоби оцінки технічного стану машин, механізмів, устаткування, конструкцій та інших технічних об'єктів.

Технічний стан об'єкта – це стан, який характеризується значеннями параметрів, які встановлені технічною документацією на об'єкт [11].

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 [3].

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 (задачи 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 КТЗ, 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 міжконтрольний період [14].

Отже, аналіз літературних джерел [15 - 19] показує, що основними функціями діагностування КТЗ 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 (напрямку визначають технічний стан), так і не прямі (функціональні) параметри (функціонально залежні від структурних) [20]. Тобто, розрізняють прямі і

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.

При проведенні технічного діагностування існують дві основні проблеми, що можуть виникнути:

- похибка першого роду - імовірність «помилкової тривоги», тобто ймовірність помилкового сигналу про наявність несправності;

– похибка другого роду - імовірність пропуску несправності.

Чим вища ймовірність «помилкової тривоги», тим менше ймовірність пропуску несправності, і навпаки. Завдання технічної діагностики полягає в знаходженні певної «рівноваги» між цими двома похибками.

Технічне діагностування вивчає та встановлює ознаки несправного стану, методи, принципи і обладнання, за допомогою яких надається заключення щодо технічного стану КТЗ 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 КТЗ 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 [3].

Застосування автотранспортними підприємствами сучасних автоматизованих систем управління виробництвом, визначення оптимальної кількості і номенклатури запасних частин, крім знання характеристик надійності, вимагає також наявності 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 [7].

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 контрольно-вимірювальне обладнання, більшість якого в сучасних умовах – комп'ютиризоване. Діагностування двигунів внутрішнього згорання в експлуатації дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування та ремонт орієнтовно на 30% [7].

Однак, найбільшої ефективності від застосування діагностування можливо досягти при одночасній розробці об'єкту (КТЗ чи ДВЗ) 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 [11]. 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 поверхневе діагностування), так і методи поелементного (локального) діагностування (поглиблене діагностування).

Технічне діагностування двигуна в цілому (поверхневе 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 [4 - 9, 15, 16, 21, 22, 23]. 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 КТЗ 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 ДВЗ може бути описаний певним комплексом вихідних та структурних параметрів деталей, вузлів та систем, в конкретних числових значеннях [6, 7, 8, 22, 24 - 27]. 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 ДВЗ були закладені ще за радянських часів роботами та дослідженнями що провадилися у таких науково-дослідних установах як: науково-дослідний автомобільний і автомоторний інститут (НАМИ), Державний союзний науково-дослідний технологічний інститут ремонту та експлуатації тракторів і сільськогосподарських машин (ГОСНИТИ), науково-дослідний інститут автомобільного транспорту (НИИАТ), всесоюзний науково-дослідний інститут по нормалізації в машинобудуванні (ВНИИНМАШ), Московське вище технічне училище ім. М. Е. Баумана (МВТУ ім. Н. Э. Баумана), Московський автомобільно-дорожній інститут (МАДИ), Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), Національний транспортний університет (НТУ), Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут (ДП «ДержавтотрансНДІпроект») та інші організації. Розробкою методів діагностування двигунів також займалися і виробники транспортних засобів та їх двигунів (МАЗ, КраЗ, ГАЗ, КамАЗ, ХТЗ, МТЗ, ЛАЗ, ЯМЗ, ММЗ, ЗМЗ, Харківський моторобудівний завод «Серп і молот» та інші.).

Розробками теоретичних засад діагностування ДВЗ 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 ДВЗ без розбирання [4 - 10, 15, 16, 21, 22, 28, 29]. 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 [5, 7, 15, 27, 30, 31], їх систем живлення [10, 21, 24, 30]. Порівняно багато робіт щодо діагностування дизелів та їх паливної апаратури виконано за кордоном [21, 32].

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 ДВЗ є тиск моторної оливи, який доречи, 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 [10, 16].

У практиці діагностування для визначення стану циліндро-поршневої групи широко використовується показник витрати моторної оливи [10, 33, 34]. 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 [15] від положення замків поршневих кілець, ступеня закоксованості поршневих кілець, а також дефектів ущільнень в механізмі газоросподілу.

Велика кількість факторів, які впливають на витрату оливи, вказують на неоднозначність цього параметру, а значний розбіг показників, що досягає 20 – 25% [16], та порівняно низька чутливість значно знижує переваги цього методу.

Інший дуже розповсюджений параметр для оцінювання стану циліндро-поршневої групи (ЦПГ) – 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 [10, 15, 16].

Тиск кінця стиснення, по мірі зношування ЦПГ, зменшується незначно, при максимальному зносі лише на 10 – 20 % [15, 16]. Тому лише прискіпливе вимірювання дає змогу визначити зменшення тиску кінця стиснення, а з ним і знос ЦПГ 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 визначаючи стан ЦПГ, щільності клапанів механізму газорозподілу та прокладки головки блоку шляхом вимірювання величини утікання стисненого повітря, що вводиться до циліндрів при закритих клапанах [15, 25]. 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 ЦПГ можливо за визначенням кількості газів, що проникають до картеру (картерних газів) [16, 25]. 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 [16]. 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 ЦПГ 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 ЦПГ, впускної системи, системи живлення паливом, кута випередження впорскування палива тощо [15, 16]. Дослідження можливості застосування цього параметра при діагностуванні ДВЗ 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 ДВЗ, що засновано на вимірюванні вібраційних параметрів [10, 15].

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 [15]. Автори цих робіт вважають, що за допомогою віброакустичних методів діагностування можна найбільш повно оцінити технічний стан ДВЗ, 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 ДВЗ за аналізом проб картерної оливи. Болдин А.П. зазначає, 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 ЦПГ, кривошипно-шатунного механізму (КШМ) тощо. Порівнюючи результати аналізу з гранично допустимими концентраціями можна заздалегідь визначити несправність в двигуні, її місце та характер [35].

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 [4, 9].

При діагностуванні дизелів більш широке використання отримав метод оцінювання технічного стану двигуна за димністю відпрацьованих газів (ВГ). Димність обумовлена вмістом у ВГ сажі, пари води, палива, моторної оливи тощо. За величиною димності та коліром ВГ дизеля можна судити щодо технічного стану системи живлення паливом, ЦПГ, газорозподільного механізму тощо [10, 21]. Визначення в експлуатації димності ВГ дизелів регламентовано законодавчо з метою контролювання технічного стану КТЗ та його двигуна стосовно екологічної безпеки [13, 36].

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 [5, 7, 21] 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 ВГ ускладнює оцінювання окремих конкретних несправностей, та дозволяє використовувати цей метод тільки для загальної оцінки технічного стану двигуна.

Велику зацікавленість для діагностування ДВЗ представляє індикаторна діаграма тисків у циліндрах. Зміна індикаторного тиску дає найбільш повне та якісне уявлення щодо характеру робочого процесу в ДВЗ і достатньо точно показує кількісну сторону параметра. Аналіз зміни індикаторного тиску дизеля дає змогу визначити індикаторну потужність та якість протікання робочого процесу в циліндрах [25, 26, 37 - 46]. Погіршення технічного стану ЦПГ, 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 ДВЗ.

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 ДВЗ 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 [25, 26, 33, 37 - 42], безгальмівні, парціальні [15, 33, 47] методи, а також вимірювання потужності по прискоренню колінчастого вала [16].

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 [16]. 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 ДВЗ 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 КТЗ 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 [5, 7, 8, 22, 24, 48] 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 [5, 7, 9, 20, 21, 27, 29, 31, 49, 50] 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'єму 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 [21, 31]. 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 [21].

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

Проведений аналіз літературних джерел підтверджує, що ефективність експлуатації КТЗ у значній мірі визначається технічним станом їх ДВЗ. Для активного впливу на технічний стан ДВЗ необхідна об'єктивна інформація про технічний стан, що забезпечується технічним діагностуванням на базі різноманітних технічних засобів [24, 48, 51].

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

Технічний стан ДВЗ 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 ДВЗ, який розглянуто у попередньому розділі, 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 ДВЗ, 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 дорожня застосовуваність устаткування, а також необхідність часткового розбирання ДВЗ і використання спеціальних навантажувальних стендів.

Усі ці недоліки відсутні при діагностуванні ДВЗ по температурі відпрацьованих газів (ВГ), що є найбільш чутливим, стабільним і інформативним параметром, який не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Реєструючи температуру ВГ 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. [5, 7, 8, 22]. 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).

В роботах Канарчука В.Є., дослідженнях наведених у дисертаційній роботі Попелиша І.І. [30, 52, 53] та інших дослідженнях [54] також доведено зв'язок несправностей систем живлення ДВЗ з тепловим випромінюванням випускного колектора та розроблено спосіб експрес-діагностування двигунів інфрачервоним радіометром.

Дослідження миттєвої температури відпрацьованих газів, що проведено у МВТУ ім. М.Є. Баумана на дизельному двигуні за допомогою швидкодіючого трьохдротового термометра опору, підтверджують

можливість діагностування ДВЗ окремо по циліндрах за температурними імпульсами ВГ у випускній системі (рис. 1.4) [55]. 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 ДВЗ 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, але турбонаддув та інше згладжування вихлопу лише послаблює імпульс до певного ступеню і не змінює характер його протікання. Вимірювання характеристики кожного окремого імпульса газу дає інформацію о стані кожного циліндру двигуна, таким чином забезпечується можливість усунення несправностей в роботі кожного циліндра» [32]. 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 ВГ.

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

Таблиця 1.1 - Діагностування дизелів за температурою ВГ

Принцип реалізації способу (вимірювання температури)	Недоліки
Термопарами на виході окремо з кожного циліндра	– велика інерційність (мають постійну часу більше 1 с); – необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ двигуна (свердлення отворів, встановлення фітингів або штуцерів для кріплення термометрів тощо); – значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна
З використанням безінерційних термопар або термометрів опору з дротів малих діаметрів (5...10 мк)	– значна похибка визначення миттєвих значень температури ВГ, що обумовлена наявністю певної інерційності засобів вимірювання температури; – складність розрахунків поправок на інерційність; – незначний ресурс термометрів з дротами малих діаметрів; – необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ; – значні втрати часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна
За допомогою інфрачервоних термометрів та тепловізорів	– 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; – складність проведення розрахунків (які необхідно виконувати окремо для кожного типу двигуна)
Акустичними датчиками температури	– недосконалість конструкцій наявних акустичних датчиків ускладнює процес налаштування датчика, потребує значних витрат часу на аналіз сигналу (фільтрація від завад); – слабкий сигнал та наявність завад призводять до низької швидкодії та точності вимірювання

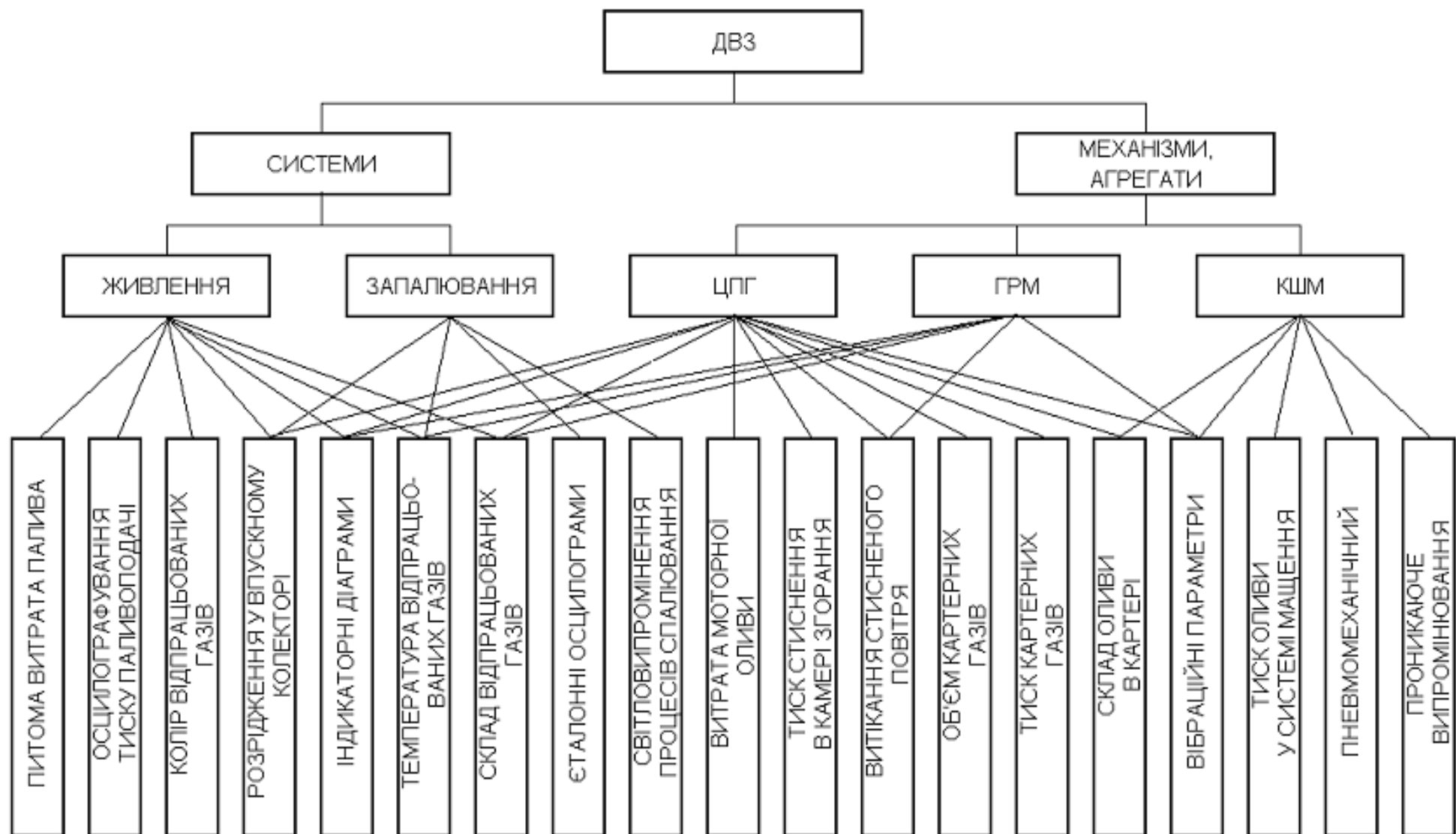
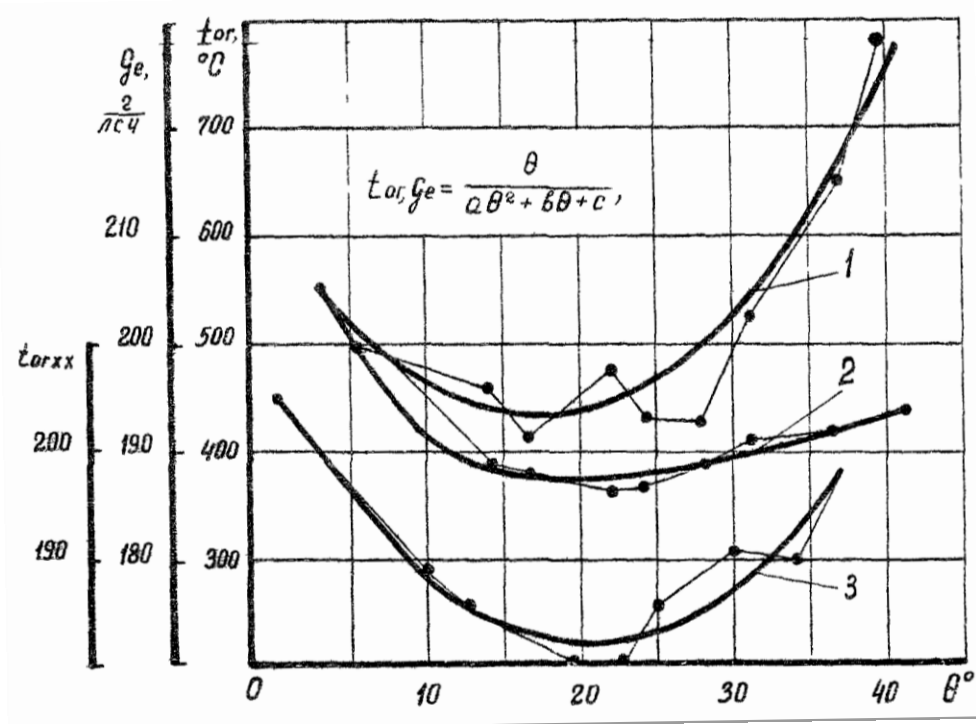
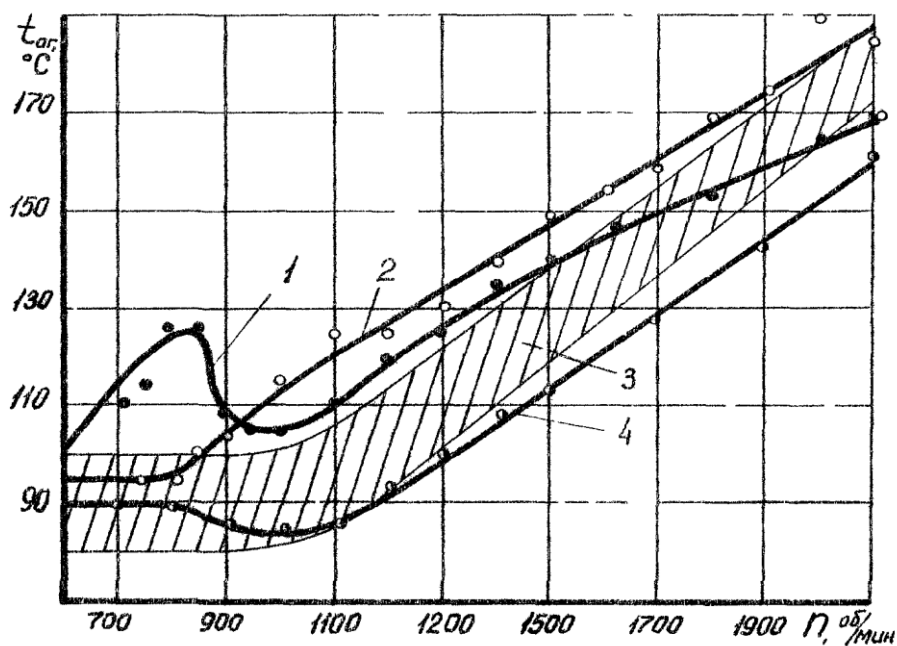


Рисунок 1.1 - Класифікація методів діагностування ДВЗ



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]

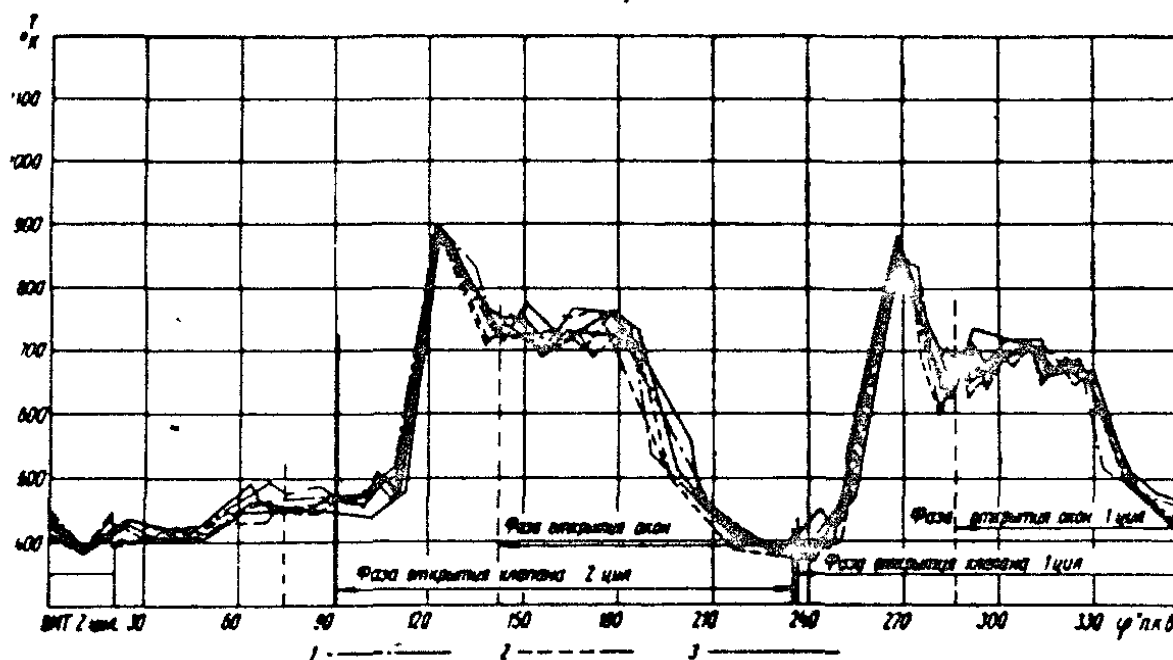


Рисунок 1.4 – Зміна температури ВГ дизельного двигуна 5ДКРН 50/110 від кута повороту колінчастого вала [55]

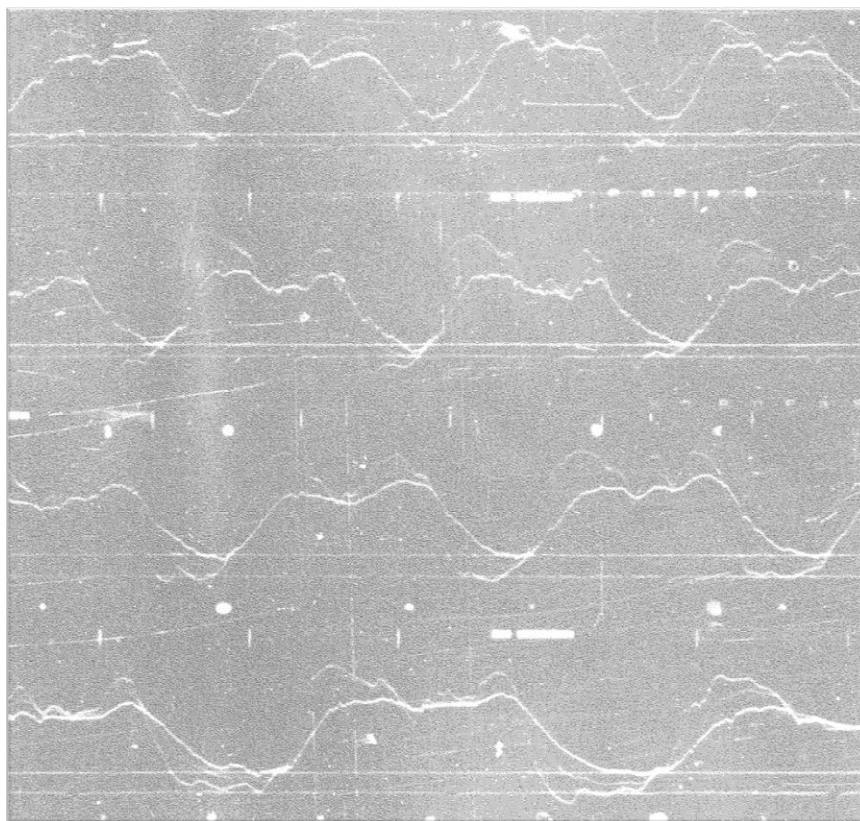


Рисунок 1.5 – Залежність миттєвих значень температури ВГ по циліндрах від частоти обертання вала двигуна [55]

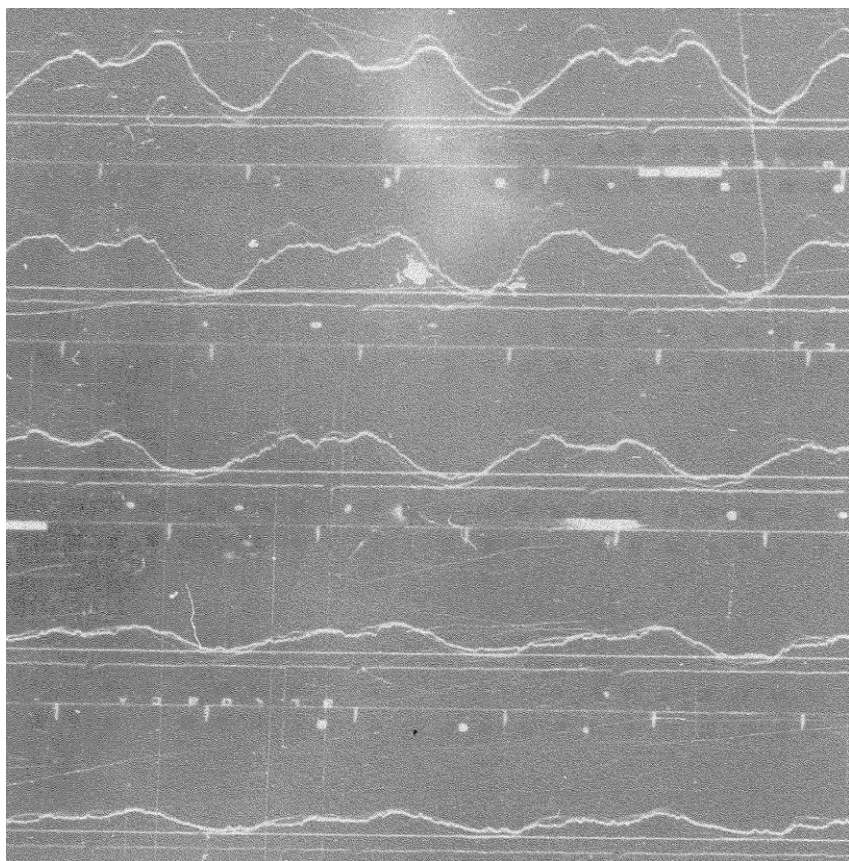


Рисунок 1.6 – Залежність миттєвих значень температури ВГ по циліндрах від навантаження на валу двигуна [55]

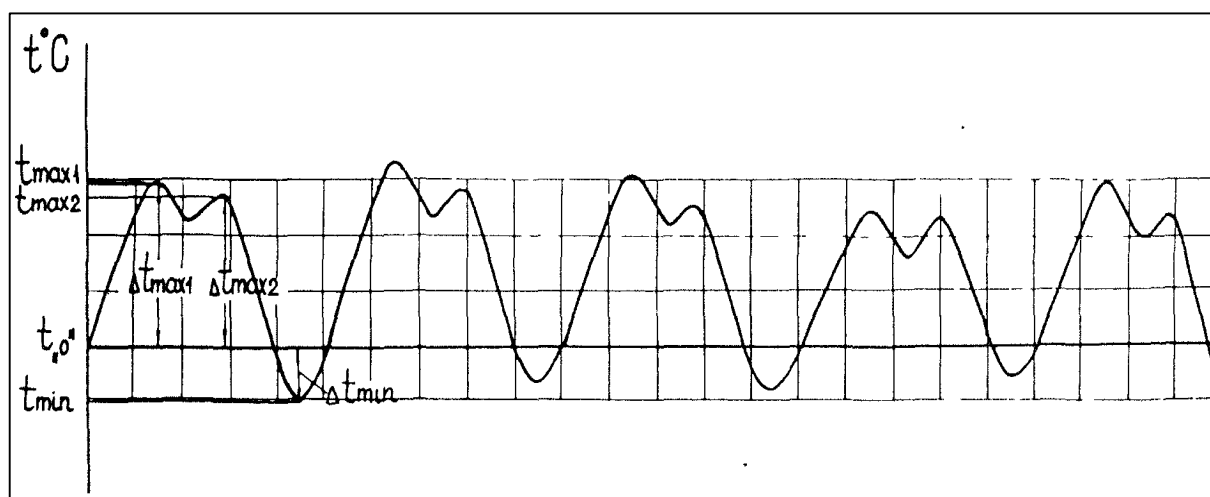


Рисунок 1.7 - Схематизована осцилограма миттєвих температур відпрацьованих газів у випускному трубопроводі [55]

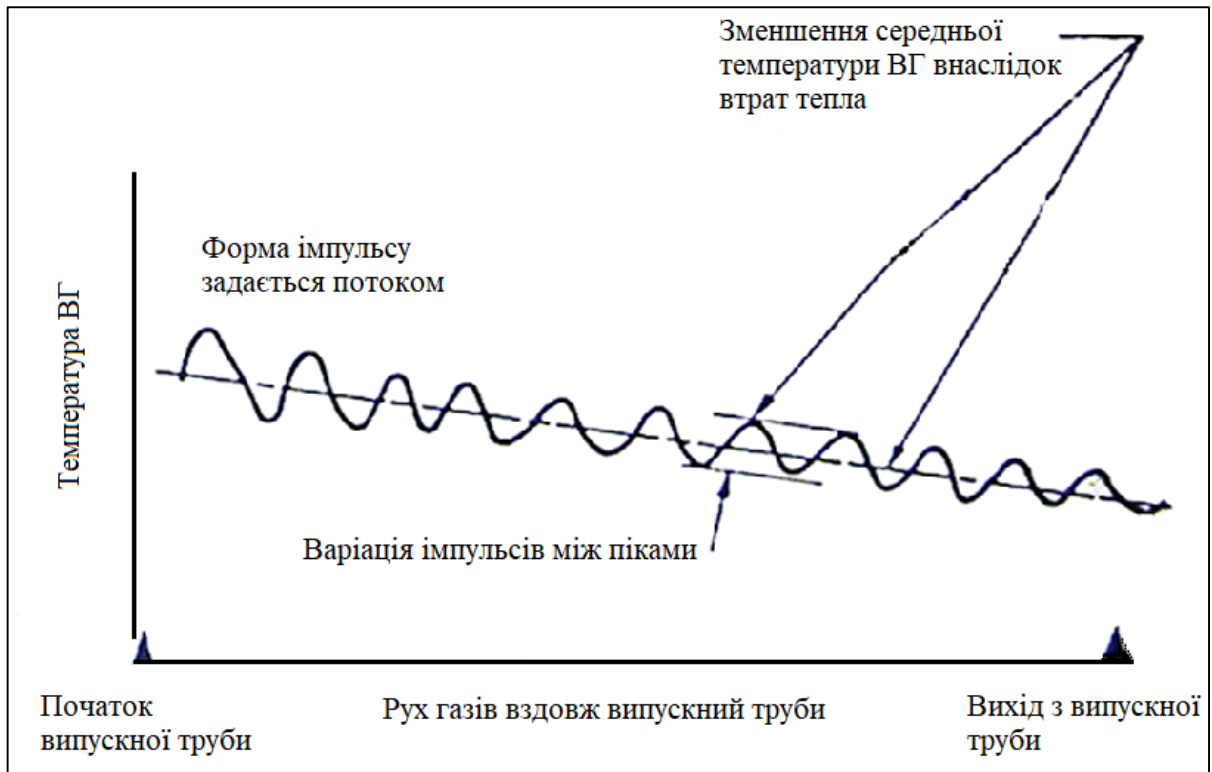


Рисунок 1.8 - Характеристика зміни миттєвої температури відпрацьованих газів по довжині випускної труби [32]

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 ДВЗ необхідний засіб, що дозволяє реєструвати температуру ВГ на вихідному зрізі вихлопної труби з частотою не нижче періоду повного циклу роботи двигуна:

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

де: z - тактність двигуна;

i - число циліндрів;

n - частота обертання вала двигуна.

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

Поставлене завдання вирішується шляхом застосування акустичного датчика температури, який, за рахунок високої швидкодії (швидкість

спрацьовування $>3 \cdot 10^3$ °C/c), дозволяє забезпечити вимірювання миттєвих значень температурних імпульсів ВГ 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 [56].

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 ВГ [32, 55]. Таким чином, діагностування ДВЗ за температурними імпульсами ВГ 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 нелінійність залежності швидкості поширення звуку в газі від його температури.

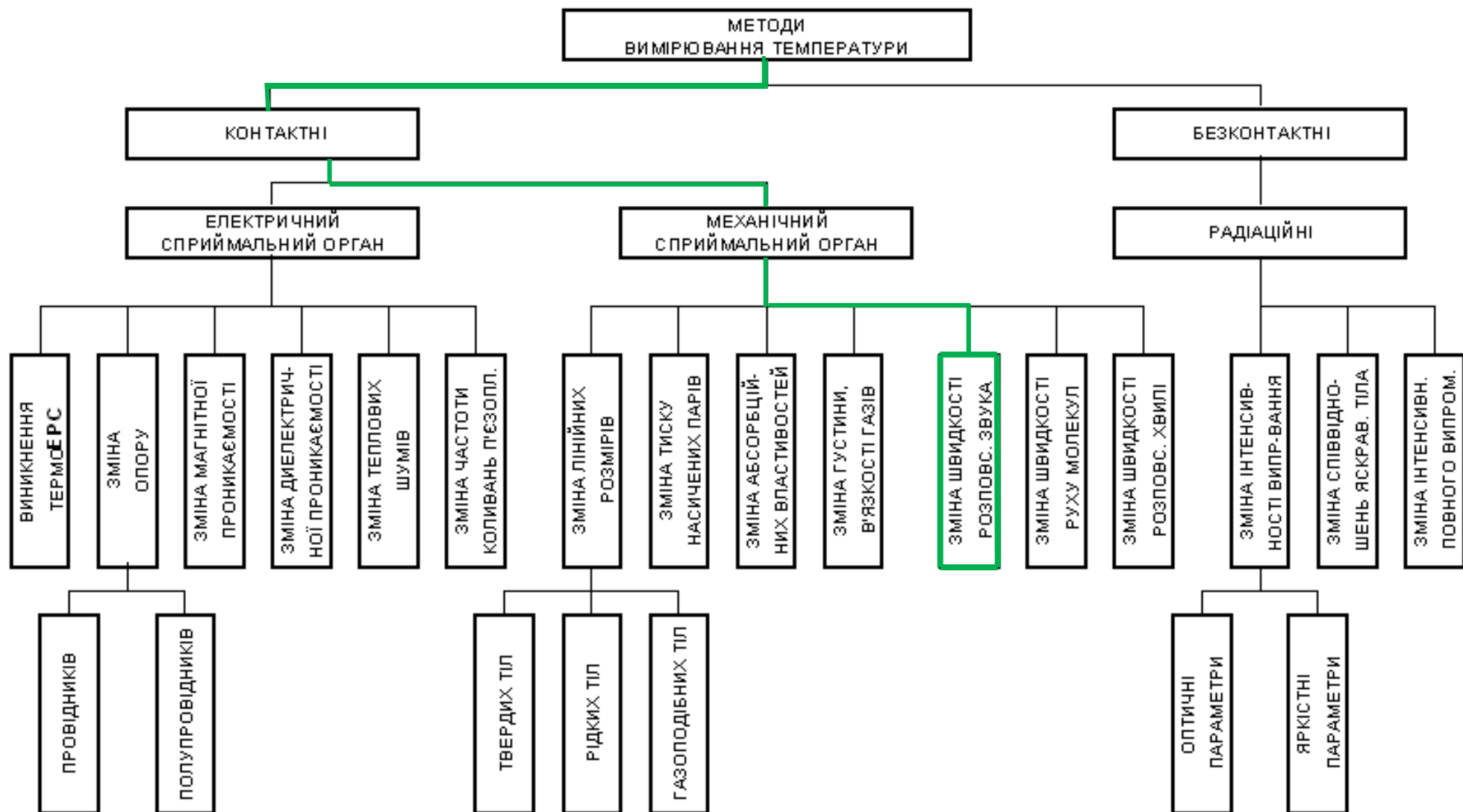


Рисунок 1.9 - Класифікація методів вимірювання температури

Однак, як показують результати досліджень, у необхідному для цілей діагностування температурному діапазоні, ця нелінійність мінімальна і похибка виміру не перевищує 1% [57].

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 (α) від 1 до ∞ , і менш 0,001% при зміні концентрації часток сажі від 0 до $1,8 \text{ г/м}^3$) [57]. Усі ці результати вказують на можливість використання акустичного датчика для виміру температури ВГ [58, 59, 60].

Як сигнал, що реєструє температуру газового потоку можуть використовуватися різні параметри акустичного сигналу, що змінюються в залежності від температури газового потоку (рис. 1.10). 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. 1.10), слід зазначити, що найбільше відповідає цілям реєстрації швидкозмінюємої температури ВГ ДВЗ по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу - фазоакустичний датчик температури (ФАДТ) з проточним акустичним резонатором коливань (ПАРК) [58, 59, 60, 61].

Забезпечення вільного протоку 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 ФАДТ з ПАРК розроблено [62] і виготовлено макетний зразок фазоакустичного датчика температури та проведено його теоретичні і експериментальні дослідження.

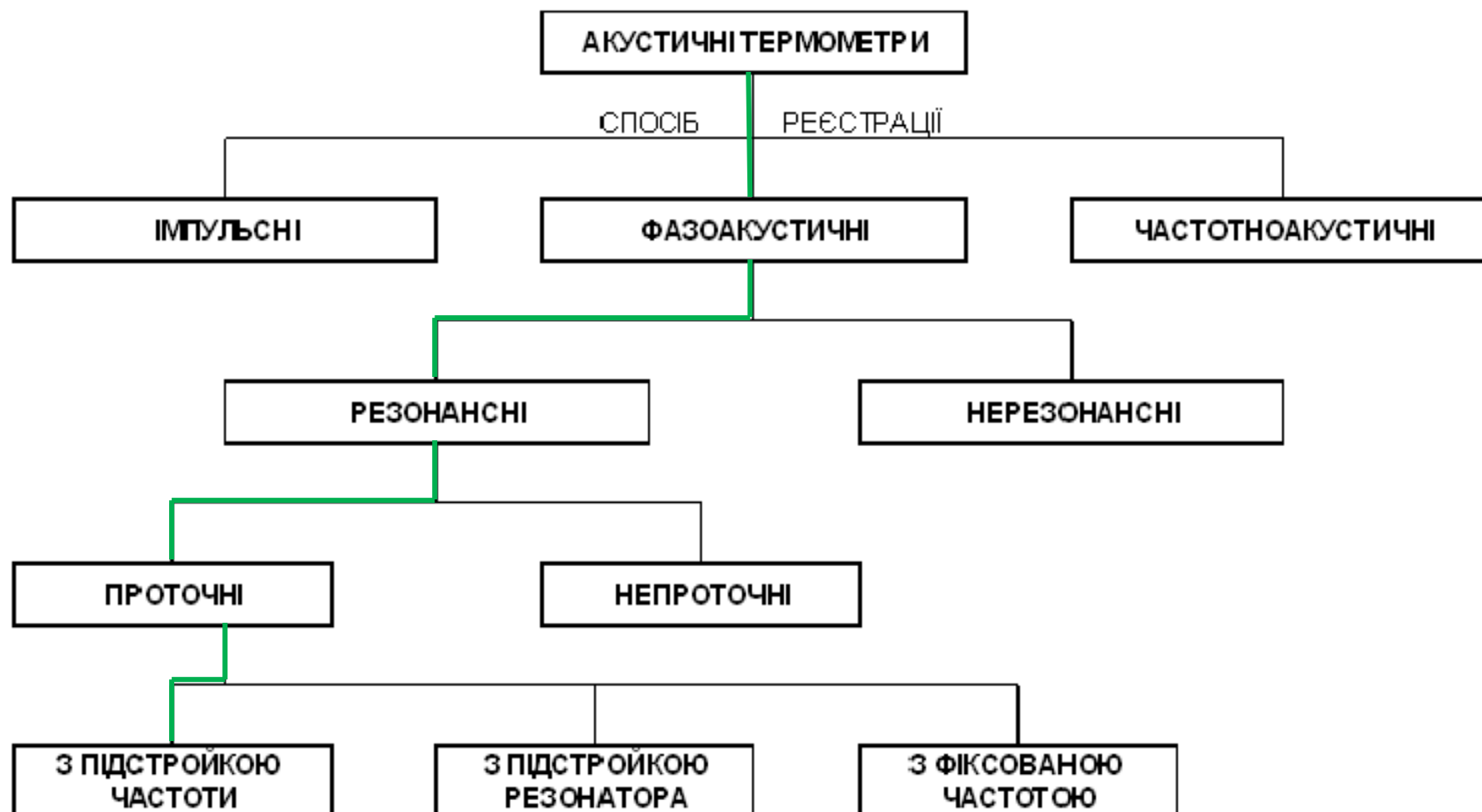


Рисунок 1.10 - Класифікація акустичних термометрів

1.4 Висновки до розділу 1

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

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

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

4. Існуючі методи діагностування систем живлення ДВЗ характеризуються складністю і дорожнечою застосовуваного устаткування, а також необхідністю часткового розбирання ДВЗ 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 (ВГ) ДВЗ. Реєструючи температуру ВГ 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 ДВЗ за температурою ВГ, з метою експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації, потребує створення засобу діагностування, який здатен із необхідною швидкістю та точністю визначати температуру ВГ за окремими циліндрами.

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

1.5 Мета і задачі дослідження

Відповідно до висновків по першому розділу, метою дисертаційної 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 ДВЗ;
- розробити схему та виготовити макетний зразок засобу експрес-діагностування, перевірити його роботоздатність, виконати налаштування та калібрування;
- провести експериментальне дослідження впливу відмов ДВЗ на його енергетичні, екологічні, економічні показники, а також, на температуру відпрацьованих газів;
- виконати аналіз результатів теоретичних та експериментальних досліджень;
- розробити програмований технологічний процес діагностування ДВЗ на основі оптимізованого алгоритму діагностування;

- розробити рекомендації щодо впровадження в експлуатацію розробленого технологічного процесу.

Для вирішення поставлених задач розроблено загальну методику удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів в умовах експлуатації (рис. 1.11), що передбачає проведення ряду теоретичних та експериментальних досліджень.

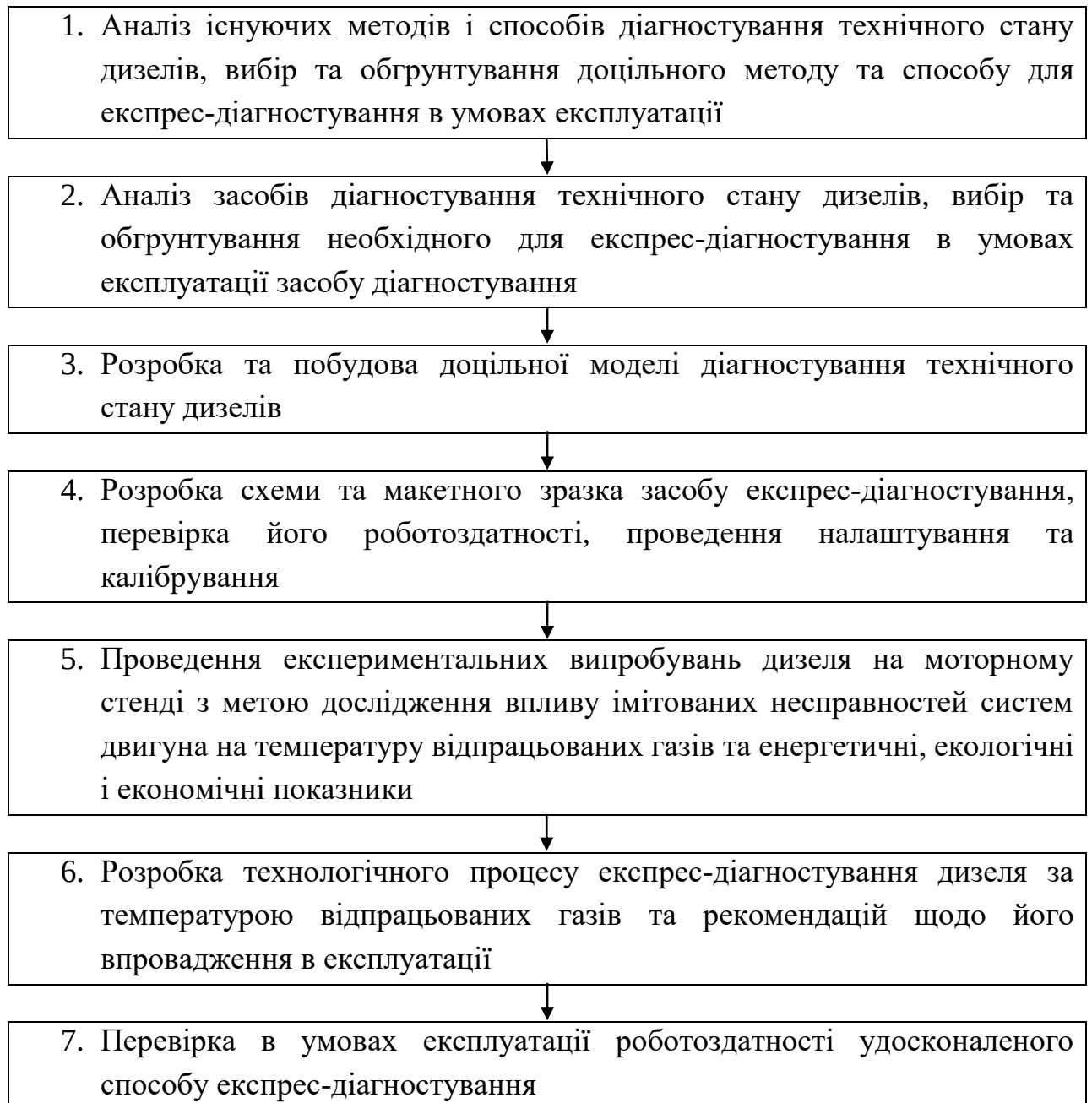


Рисунок 1.11 - Методика проведення досліджень

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТА ПОБУДОВА ДОЦІЛЬНОЇ МОДЕЛІ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДИЗЕЛІВ

2.1 Визначення двигуна як об'єкта діагностування

У практиці експлуатації та ремонту ДВЗ 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 23435-79 «Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров», ГОСТ 20911-89 «Техническая диагностика. Термины и определения» та ГОСТ 27.002-89 «Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.».

Для розробки оптимізованого алгоритму експрес-діагностування при контролі роботоздатності ДВЗ 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 ДВЗ.

Вивчення ДВЗ, 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 (ОД) 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 (ДМ).

Стандартизованим визначенням ДМ є: діагностична модель — це формалізований опис ОД, що необхідний для вирішення задач діагностування. При цьому, опис може бути представлений у аналітичній, табличній, векторній, графічній та іншій формами [11]. Іншими словами, діагностична модель - це будь-яке знання, що використовується в процесі вирішення діагностичної задачі і представлене у певному вигляді чи формі.

Різновид форм ДМ є широким - від уяви дефектів і їх ознак окремим спеціалістом, що практично виконує роботи по обслуговуванню і ремонту

ОД до математичних форм, реалізованих в формальних діагностичних програмах. Формалізований опис (математична модель) об'єкта діагностування може бути представлено в різноманітних формах [7, 18, 19, 24, 63 - 84]:

- 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 показників. Окремий дефект не є ізольованим явищем. На безлічі можливих дефектів об'єктивно можуть існувати будь-які відносини. В роботі [64] досліджуються часові відносини, в роботі [65] причинно-наслідкові зв'язки, а в роботі [66] - відношення еквівалентності. Також на безлічі можливих дефектів може бути задана міра можливості, вона досліджується в роботі [67];

- знання про структурну організацію ОД. 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 ОД підозрюваних у несправності елементів на завідомо справні, перевірка підозрюваних у несправності елементів на завідомо справному об'єкті, спостереження за реакцією ОД 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 формують 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 у вигляді вихідних (діагностичних) параметрів Y [7, 24, 63, 73, 74, 79, 84, 85]. 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:

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

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

$$\begin{cases} Y_0^j = A(Z_0, X_j); \\ Y_i^j = A(Z_i, X_j) \end{cases} \quad (2.2)$$

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

$$\begin{cases} Y_0 = A_0(X); \\ Y_i = A_i(X) \end{cases} \quad (2.3)$$

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 [85]:

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, ОД 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 А 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 [73]. Процес діагностування (діагностичний експеримент), складається з окремих випробувань, які прийнято називати елементарними перевірками (ЕП). 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 ОД, які ще прийнято називати контрольними точками. Під час елементарної перевірки на ОД здійснюється певний вплив та спостерігається його реакція на цей вплив. Відомо, що ОД, 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 ОД або їх сукупностей. В такому

випадку передбачається доступність входів і виходів цих частин. Очевидно, що даний ОД характеризується кінцевою безліччю можливої множини елементарних перевірок.

Формально для ОД, що складається з n блоків, елементарні перевірки можна позначити n розрядним двійковим набором по одному розряду для кожного блоку [24, 63, 68, 79, 84]. 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 довічному наборі даної елементарної перевірки означає, що i -й блок ОД 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 ОД, 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 ОД не всі перевірки можуть виявитися технічно здійсненими.

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

При використанні першого способу технічний стан ОД 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 ОД. При використанні другого способу перевірки, здійснення яких достатньо для розрізнення всіх заздалегідь заданих технічних станів ОД, виконуються в деякому порядку. Результат кожної елементарної перевірки аналізується безпосередньо після його отримання, і якщо технічний стан ОД 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 ОД задаються безліччю попарно різних станів S : $S = \{S_i\}$, де $i = 1, \dots, n$, безліччю попарно різних перевірок $\Pi = \{\pi_j\}$, $j = 1, \dots, m$ і множиною результатів перевірок $A = \{a_{ij}\}$.

З функціональною моделлю подібна логічна модель. Вона є більш простою і зручною моделлю, використовуваною 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 виявляються «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 [24, 79, 84, 86]:

1. Всі функціональні елементи досліджуваного ОД 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 ОД відповідає відмова тільки одного елемента (або відмови відсутні).

Кожен можливий стан ОД, що складається з N -елементів, можна визначити N -мірним вектором станів S , v -я компонента якого дорівнює одиниці, якщо сигнал на виході v -го елемента задовольняє вимогам (v -й елемент роботоздатний, вплив, прикладена до v -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 [24, 79, 84, 86] 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 ОД і 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 нерозрізною перевіркою і виключають з

розгляду. Для виключення нерозрізнених станів необхідно ввести в таблицю додаткові перевірки або змінити структуру ОД, обірвавши зворотні зв'язки системи. Тоді заданий безліч перевірок дозволить однозначно визначити будь-який стан ОД.

2. Якщо в ОД передбачається наявність відмови одного і тільки одного елемента системи, то ОД можна представити у вигляді орієнтованого графа. У цьому випадку безліч можливих станів ОД 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 $S_{пр}$, якщо вибирається завдання пошуку виниклого дефекту, то для її вирішення вибирається теж своя сукупність перевірок $S_{пд}$.

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 ОД) 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 ОД. 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 $S_{пд}$, 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

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 ОД, 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 (ФЕ). 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 елементи (ФЕ), із зазначенням характеру зв'язків між ними. Так на схемі ФЛМ знаком z - позначені зовнішні впливи, а знаком Y - вихідні сигнали.

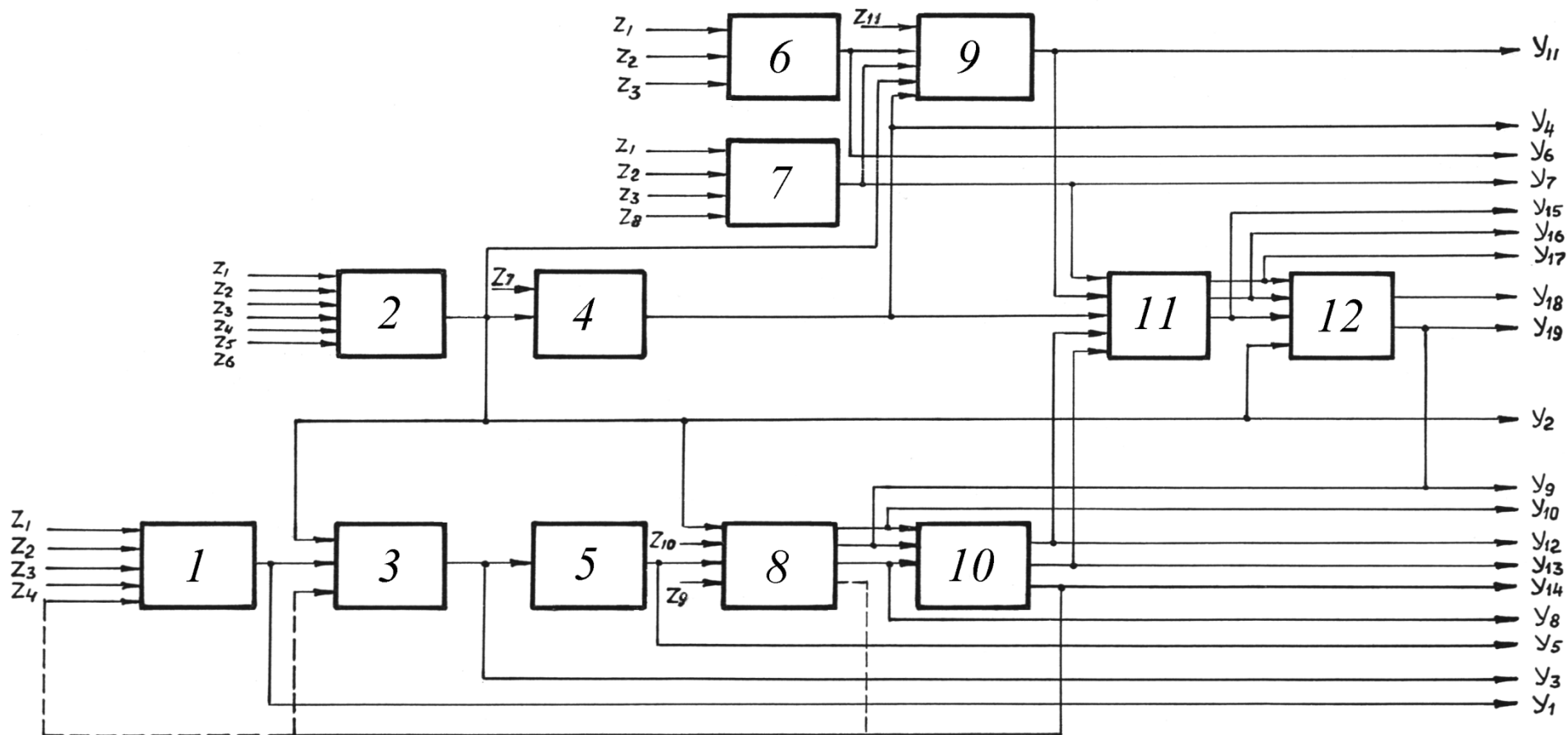


Рисунок 2.1 – Функціональна модель дизеля: 1 – паливний бак; 2 – пусковий пристрій; 3 - паливопідкачувальний насос; 4 – система мащення; 5 – паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 – система охолодження; 8 – ПНВТ; 9 - ГРМ; 10 - форсунки; 11, 12 ЦПГ та КШМ

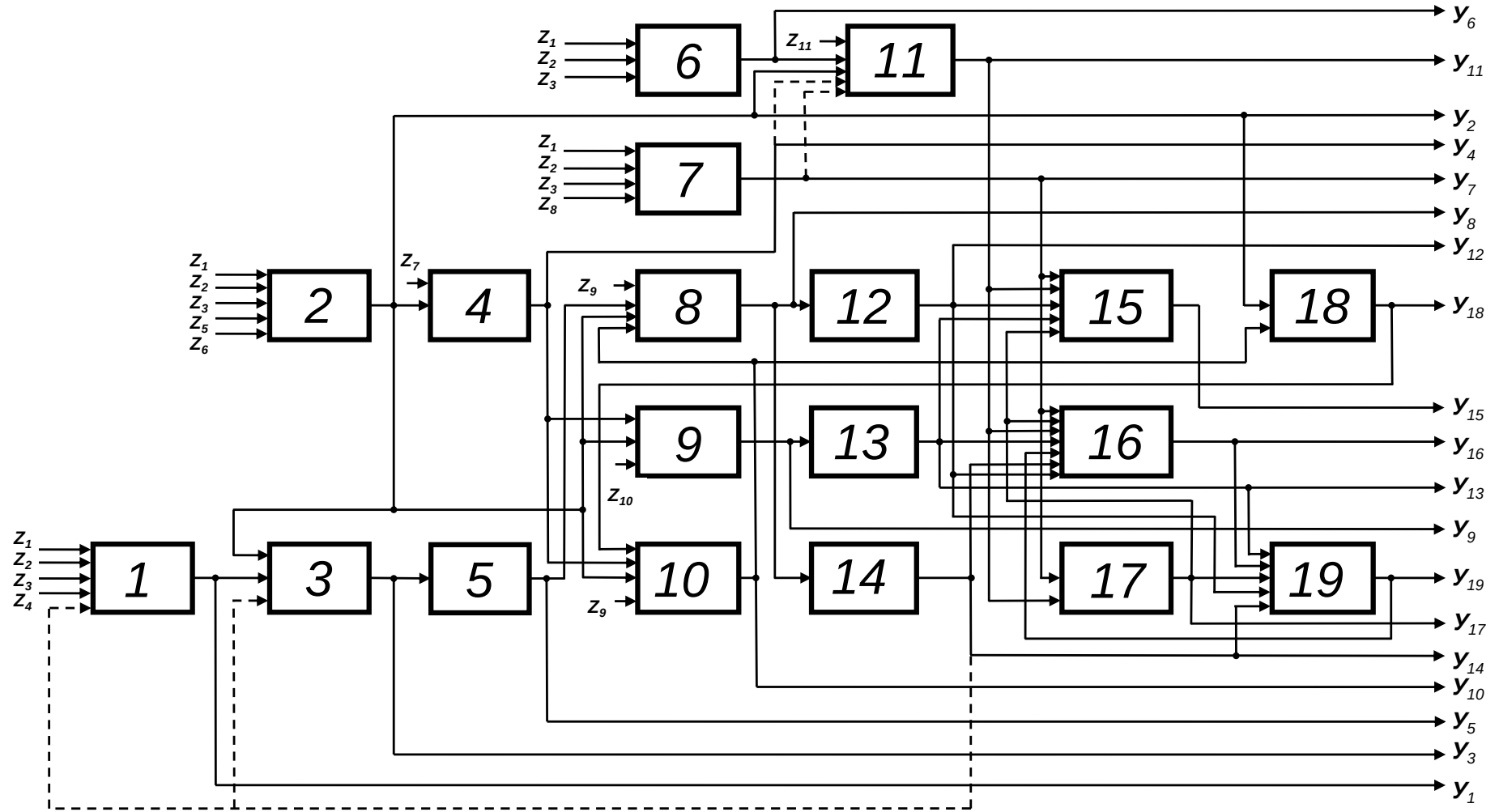


Рисунок 2.2 – Функціонально-логічна модель дизеля: 1 - паливний бак; 2 - пусковий пристрій; 3 – паливо підкачуючий насос; 4 - система мащення; 5 - паливний фільтр; 6 - повітряний фільтр; 7 - система охолодження; 8, 9, 10 - ФЕ паливного насосу високого тиску; 11 – механізм газорозподілу (МГР); 12, 13, 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

Враховуючи ординарність потоку відмовлень у дизелів ДТЗ, можна припустити, що кожен ФЕ може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - *роботоздатному* та *не роботоздатному*. А вихідні сигнали кожного ФЕ 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 ФЕ.

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_0 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 Ярославського моторного заводу, встановлених на автомобілях МАЗ і КрАЗ, здійснено дослідження їх систем та механізмів з аналізом розподілу ймовірностей можливих станів і закономірності виявлених відмов [23, 48].

Значення ймовірностей безвідмовної роботи (P_i), представлені в табл. 2.1, показують, що протягом усієї підконтрольної експлуатації надійність КШМ і системи живлення паливом безупинно знижується, а надійність ЦПГ

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 (Ω) механізмів і систем дизелів ЯМЗ

Інтервал пробігу, тис. км	Найменування механізмів і систем дизелів ЯМЗ							
	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 КТЗ є ординарними, тому можна припустити, що кількість нероботоздатних станів визначається кількістю систем та механізмів - N , тобто кожен ФЕ може знаходитися в одному з двох несумісних видів технічного стану - роботоздатному і нероботоздатному. А вихідні сигнали кожного ФЕ - це можливе число перевірок (діагностичних параметрів).

Найменування ФЕ, 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 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

2.4 Побудова логіко-імовірнісної діагностичної моделі у вигляді матриці станів

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

Матриця станів слугує вихідною інформацією при побудові мінімального діагностичного тесту для контролю роботоздатності об'єкта діагностування [81].

Побудована матриця (табл. 2.3) містить 19 рядків (рівних числу ФЕ), що позначають нероботоздатний стан (S_i) - "0" і одну (верхню), що відповідає роботоздатному стану функціональних елементів (S_0), коли всі діагностичні параметри (Y_j) мають допустимі значення - "1", при допустимих значеннях усіх зовнішніх вхідних впливів.

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

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

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

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

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

Таблиця 2.3 - Матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями

$\begin{matrix} y_j \\ \backslash \\ S_i \end{matrix}$	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

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 димности 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 ДТЗ.

Контроль потужності двигуна потребує використання складних навантажувальних стендів, що призводить до збільшення вартості та часу діагностування. Відомо, що температура відпрацьованих газів прямо пропорційна потужності [5, 7], то мінімальна необхідна та достатня обґрунтована кількість перевірок може складатися з двох діагностичних параметрів: димности (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 димности 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 КТЗ [87].

2.5 Аналіз матриці станів та побудова оптимізованих алгоритмів діагностування при контролі роботоздатності та пошуку відмов ДВЗ

Оптимізація алгоритму діагностування полягає в організації раціонального процесу (послідовності) перевірки роботоздатності дизеля з

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 U_{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 КТЗ (рис. 2.3) [88]. 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 T_{BG}) і U_{15} (димність відпрацьованих газів K). 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.

Таблиця 2.4 - Транспонована матриця станів дизеля з розрахованими ймовірностями $P(s_i)$ і функціями переваг W для побудови оптимізованого алгоритму контролю роботоздатності дизеля

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

„0”

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

„1”

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

„0”

s_{15}

„1”

s_0

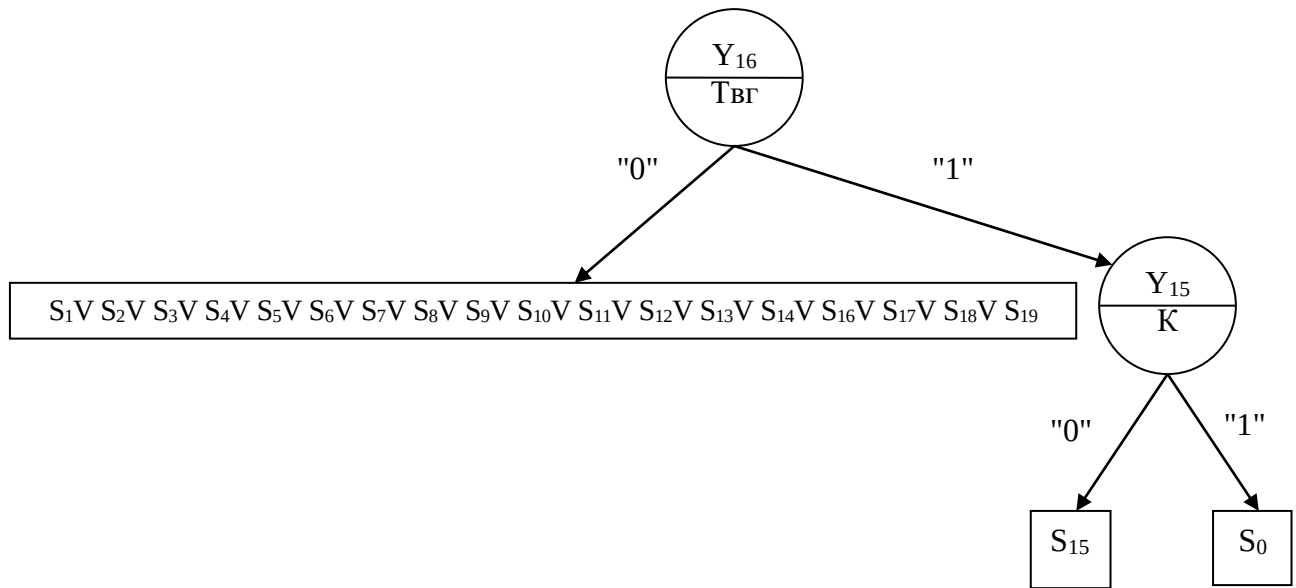


Рисунок 2.3 - Оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизеля

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 логіко-імовірнісну 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 КТЗ.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА МАКЕТНОГО ЗРАЗКА ФАЗОАКУСТИЧНОГО ДАТЧИКА ТЕМПЕРАТУРИ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

3.1 Обґрунтування застосування акустичного датчика температури відпрацьованих газів

Проведений аналіз способів визначення температури ВГ двигунів за допомогою термопар, термометрів опору, інфрачервоних термометрів та тепловізорів показує, що ці способи призначені для вимірювання усередненої температури потоку відпрацьованих газів та мають ряд недоліків (таблиця 1.1), які ускладнюють застосування їх для експрес-діагностування дизелів КТЗ в умовах експлуатації.

Загальними недоліками способів вимірювання температури ВГ за допомогою термометрів опору та термопар є: велика інерційність (мають постійну часу більше 1 с), необхідність внесення змін у будову системи випуску ВГ ДВЗ та значні втрати часу на їх монтаж, що ускладнює їх використання та обмежує інформативність при застосуванні у якості засобів вимірювання миттєвої температури.

Недоліками способів вимірювання температури ВГ за допомогою інфрачервоних термометрів та тепловізорів є: 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; складність проведення розрахунків (які необхідно виконувати окремо для кожного типу двигуна); необхідність використання спеціальних навантажувальних стендів (без навантажувальних стендів можливе діагностування лише в усталених режимах холостого ходу, що є малоінформативним).

Для вимірювання миттєвих температур ВГ відомі способи в основі яких лежить використання безінерційних термопар або термометрів опору, що складаються з дротів дуже малих діаметрів (5...10 мк); інерційних вимірювачів температури з використанням поправок на інерційність; та трьохдротові термометри опору тощо [37].

Недоліками цих способів є значна похибка визначення миттєвих значень температури ВГ, що обумовлена наявністю певної інерційності засобів вимірювання температури та складністю розрахунків поправок на інерційність, незначний ресурс термометрів з дротами малих діаметрів, також, цей спосіб потребує внесення змін у будову системи випуску ВГ двигуна (свердлення отворів, встановлення фітінгів або штуцерів для кріплення термометрів тощо) та значних втрат часу на встановлення засобів вимірювання температури у випускну систему двигуна, що робить використання цього методу в експлуатації недоцільним.

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 ВГ [55]. 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 [89].

Також, недоліками зазначених способів діагностування ДВЗ є складність і дорожнеча застосовуваного устаткування, висока трудомісткість і вартість діагностування, складність розрахунків та необхідність використання спеціальних навантажувальних стендів, низька інформативність, а також, складність їх реалізації в умовах експлуатації. Зазначені недоліки обмежують використання цих способів вимірювання температури ВГ двигунів з метою діагностування ДВЗ в умовах експлуатації.

Метою способу діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурою ВГ є вдосконалення відомого способу діагностування за

температурою ВГ, як це зазначено у розділі 1 дисертації, шляхом спрощення процедури діагностування, використання відносно не складного та не дорогого діагностичного обладнання, зменшення трудомісткості та вартості діагностування, підвищення інформативності та розширення сфери його застосування.

Поставлена мета вирішується шляхом застосування фазо-акустичного датчика температури, який, за рахунок високої швидкодії, дозволяє забезпечити вимірювання миттєвих значень температурних імпульсів ВГ окремо кожного циліндра, що, в свою чергу, дає змогу визначати в умовах експлуатації технічний стан ДВЗ як в цілому, так і окремо кожного циліндра без використання навантажувальних стендів в режимах холостого ходу.

Таким чином, діагностування ДВЗ за температурними імпульсами ВГ можливо здійснювати шляхом встановлення фазоакустичного датчика температури на виході випускної труби.

3.2 Розробка схеми та макетного зразка фазоакустичного датчика температури відпрацьованих газів, розрахунок та оптимізація його технічних параметрів

Температура відпрацьованих газів (ВГ) двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) є найбільш чутливим, стабільним і інформативним діагностичним параметром [4, 5, 7, 22, 58], який дозволяє проводити діагностування без застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Аналіз літературних джерел [4, 5, 7, 22, 29, 32, 52, 53, 55, 58, 89] показує, що реєструючи температуру ВГ кожного циліндра, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи та побічно судити про потужність, яка віддається кожним циліндром.

Але, відповідно з вимогами до засобів вимірювання [86, 90, 91], для такого діагностування необхідний засіб, що забезпечує реєстрування

температури ВГ на вихідному зрізі випускної труби з частотою не нижче періоду повного циклу (T_u) роботи двигуна:

$$T_u = \frac{30 \cdot \tau}{n \cdot i}, \quad (3.1)$$

де τ - тактність двигуна;

i - число циліндрів;

n - частота обертання вала двигуна.

Так для найбільш поширених 4-х тактних 8-ми циліндрових дизелів КамАЗ-740 з максимально можливою частотою обертання вала в режимі холостого ходу до 2850 хв^{-1} мінімальний період дорівнює 0,0053 с. Дизелі з меншою кількістю циліндрів та меншою максимально можливою частотою обертання вала в режимі холостого ходу будуть мати більший період повного циклу роботи двигуна. Тому реєстрування температури ВГ на вихідному зрізі вихлопної труби повинно бути з частотою не нижче 0,005 с.

Аналіз засобів вимірювання температури, який було проведено у першому розділі дисертаційної роботи, показав, що таку швидкодію може забезпечити акустичний датчик температури (акустичний термометр), який дозволить реєструвати миттєві значення температури ВГ на вихідному зрізі вихлопної труби роздільно по циліндрах. Як показує аналіз літературних джерел [32, 55], незважаючи на зменшення амплітуди пульсації температури ВГ кожного циліндра під час проходження ВГ повздовж випускної труби КТЗ, характер пульсації ВГ при цьому зберігається.

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

$$c = \sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T} = \sqrt{\frac{k \cdot R \cdot T}{M}}, \quad (3.2)$$

де c - швидкість поширення звуку в газі;

k - показник адіабати;

g - прискорення сили тяжіння;

R - універсальна газова стала;

T - температура газу;

$k = \frac{C_p}{C_v}$ – відношення теплоємкостей при постійних тиску та об'ємі;

M – молярна маса газу.

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

$$c = \sqrt{\frac{R \cdot T}{\sum x_i \cdot M_i} \cdot \frac{\sum x_i \cdot C_{p_i}}{\sum x_i \cdot C_{v_i}}}, \quad (3.3)$$

де x_i – відносна концентрація i -го компонента газу.

Швидкість розповсюдження звуку у газах при заданій температурі не залежить від тиску і збільшується пропорційно до $\sqrt{T}$, що є основою роботи акустичних термометрів.

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

$$T = \frac{c^2 \cdot M}{k \cdot R}. \quad (3.4)$$

А у випадку реального:

$$T = \frac{c^2 \cdot \sum x_i \cdot M_i}{R} \cdot \frac{\sum x_i \cdot C_{v_i}}{\sum x_i \cdot C_{p_i}}. \quad (3.5)$$

Розглянемо вплив складових рівняння та параметрів ВГ на нелінійність і похибку вимірювання температури газу.

Так наявність квадратного кореня у рівняннях 3.2 та 3.3 свідчить про нелінійність залежності швидкості поширення звуку в газі від його температури.

Для визначення впливу нелінійності на похибку виміру температури повітря було побудовано розрахункову залежність швидкості звуку у повітрі від температури повітря (рис. 3.1). Ця залежність наглядно показує, що у необхідному для цілей діагностування не великому температурному діапазоні від 30 до 260 °C (303...533K) швидкість звуку збільшується від 348,9 до 442,4 м/с, а її нелінійність мінімальна і не впливає на похибку виміру температури, що підтверджується результатами інших досліджень [32, 57].

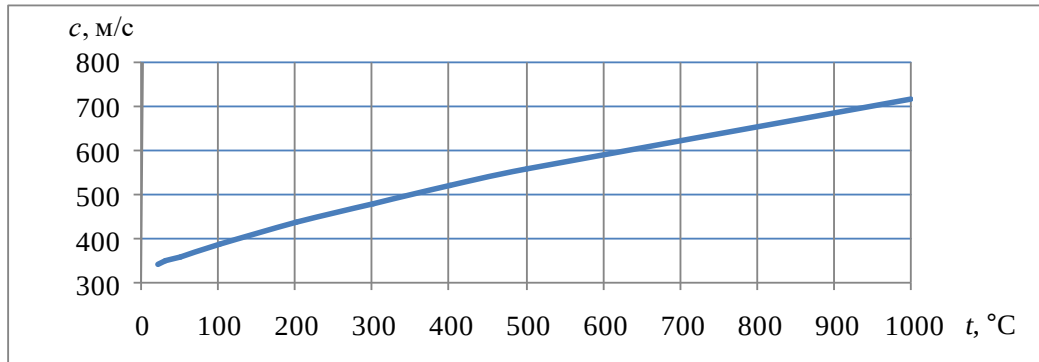


Рисунок 3.1 – Залежність швидкості звуку у повітрі від температури повітря

Крім того на величини показника адіабати k та газової сталої γ ($\gamma = \frac{R}{M}$), які визначаються по миттєвому коефіцієнту надлишку повітря (α) в тому перерізі випускного трубопроводу, де визначається температура [55], можуть впливати коливання складу відпрацьованих газів. Крім того, відомо, що на величини показника адіабати k та газової сталої γ впливає коливання складу коефіцієнта надміру повітря α і наявність часточок сажі у ВГ дизеля, але зміна α (зміна від 1 до ∞ призводить до 1,7% похибки вимірювання) та часточок сажі (зміна від 0 до 1,8 г/м³ призводить до 0,001% похибки вимірювання) в режимі х.х. дизеля практично не призводять до зміни k та γ , тому можуть бути прийняті сталими.

Показник адіабати k та газову сталу γ суміші газів, що входять до складу ВГ, визначали з урахуванням складу ВГ дизеля в режимах холостого ходу дизеля [25, 26, 40, 42, 92]. З метою спрощення розрахунків, враховували тільки ті складові суміші газів ВГ, вміст яких має відчутний вплив на значення показника адіабати та універсальної газової сталої. Склад основних компонентів ВГ дизеля, їх показники адіабати при 100 °C [93, 94, 95, 96], значення газової сталої [97] та їх усереднені, відповідно до вмісту у ВГ, значення (Σ для суміші газів) наведено у табл. 3.1.

Для реєстрації зміни швидкості поширення звуку в газі від зміни температури пропонується використовувати акустичні датчики температури ВГ принцип дії яких полягає у залежності акустичних коливань в газі від температури.

Таблиця 3.1 - Склад основних компонентів ВГ дизеля, їх показники адіабати при 100 °С та значення газової сталої

№	Компонент ВГ	Вміст у ВГ, %	k (при 100 °С)	γ , Дж/кг·К
1	Азот, N_2	78	1,400	297
2	Діоксид вуглецю, CO_2	3	1,260	189
3	Кисень, O_2	18	1,385	260
4	Водяна пара, H_2O	1	1,324	461
5	Σ для суміші газів	100	1,392	288,8

Акустичні датчики температури по методу вимірювання можна поділити на частотні та фазові.

В частотноакустичних датчиках температури запропоновано принцип виміру зміни частоти коливання акустичного сигналу від зміни температури газу [57]. 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 ДВЗ.

Недоліками струменевоакустичних датчиків температури газу [98] 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 ВГ ДВЗ.

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 згоряння газотурбінних двигунів [99].

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 ВГ ДВЗ.

Метою винаходу в роботі є нове застосування акустичного датчика у якості діагностичного приладу для двигунів внутрішнього згоряння та поліпшення стабільності, точності і працездатності шляхом виключення впливу пульсуючої зміни тиску газів на його роботу [62].

Поставлене завдання вирішено тим, що акустичний датчик (рис. 3.2) 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 звуководу 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.

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 ВГ ДВЗ.

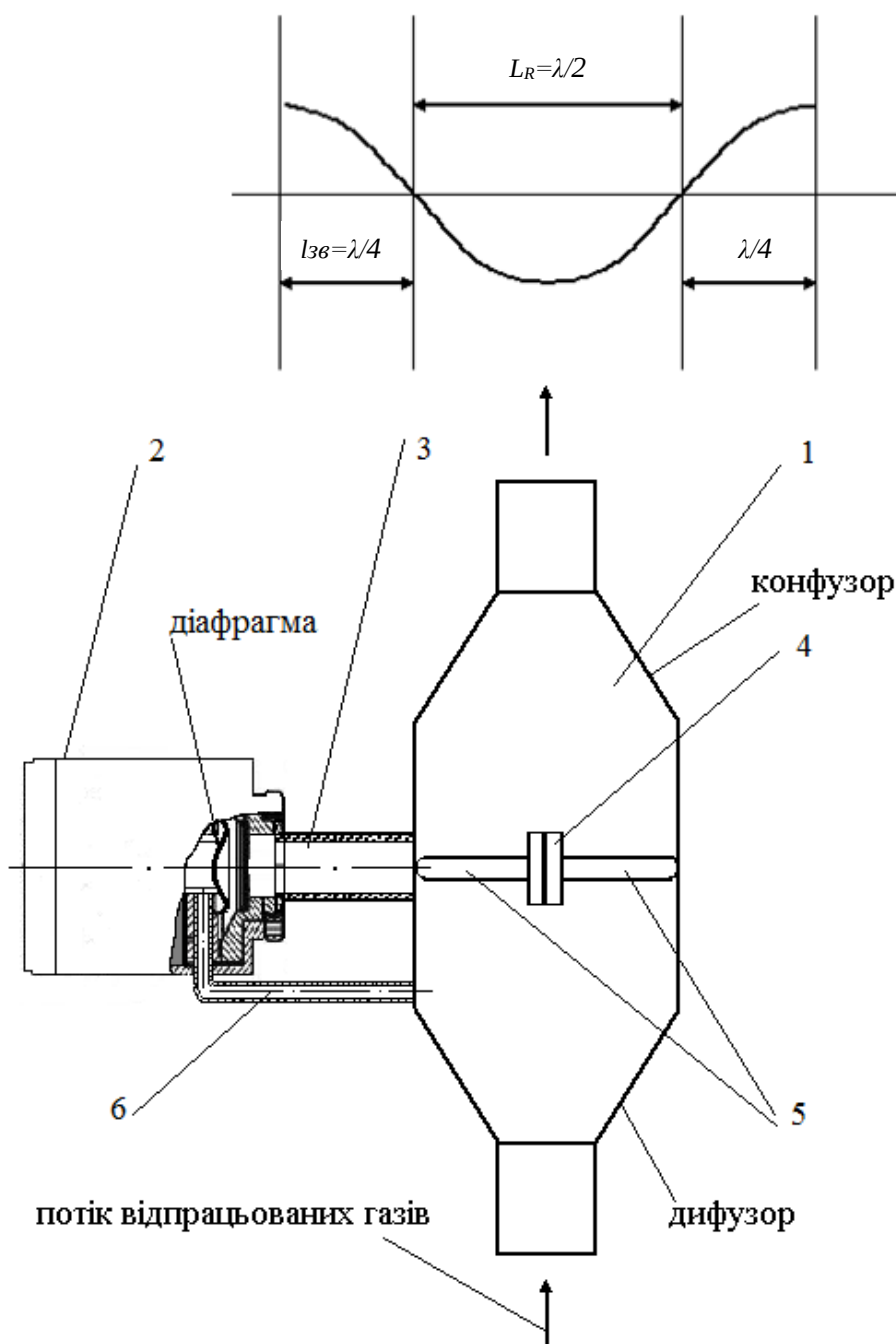


Рисунок 3.2 – Принципова схема ФАДТ з ПАРК

Принцип вимірювання температури імпульсів ВГ ДВЗ за допомогою ФАДТ з ПАРК, блок-схема якого наведена на рис. 3.3, 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. У фазоакустичному датчику температури збуджуючі електричні коливання перетворюються в акустичні коливання, проходять через потік

відпрацьованих газів та потрапляють до приймача акустичних коливань (на рис. 3.3 не показано) фазоакустичного датчика 3, який перетворює їх у вимушені електричні коливання з частотою f_v та подає далі через підсилювач 4 до фазового дискримінатора 5. Фазовий дискримінатор 5 порівнює фази φ_1 та φ_2 отриманих збуджуючих $f_{зб}$ (φ_1) та вимушених f_v (φ_2) електричних коливань і виробляє сигнал, пропорційний зсуву фаз $\Delta\varphi$ між ними. Зсув фаз $\Delta\varphi$ та сигнал, що видає фазовий дискримінатор, змінюються пропорційно зміні температури ВГ, що ґрунтується на залежності частоти f_0 власних коливань ВГ у фазо-акустичному датчику від температури цих газів. При цьому, від співвідношення частот власних (f_0) та збуджуючих ($f_{зб}$) коливань змінюється зсув фаз (φ) між вимушеними $f_v(\varphi_2)$ та збуджуючими $f_{зб}$ (φ_1) коливаннями.

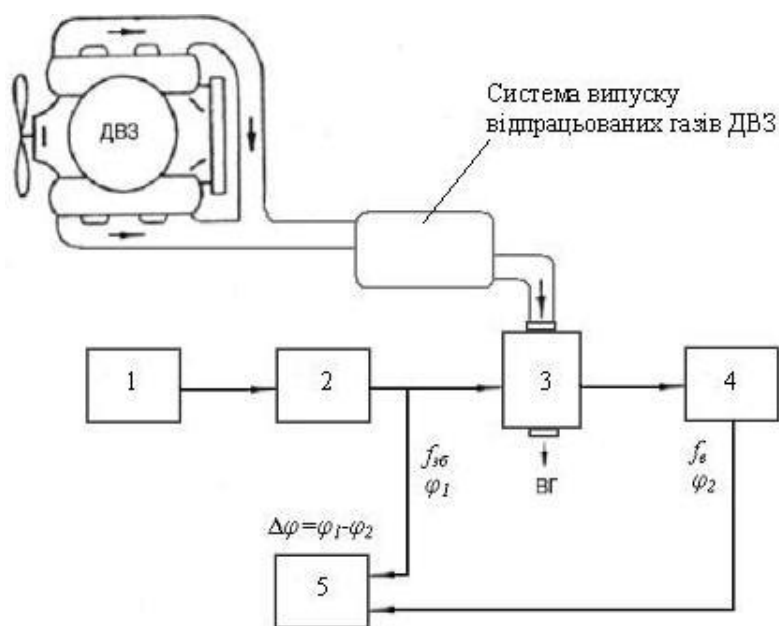


Рисунок 3.3 – Блок-схема вимірювання температури імпульсів ВГ ДВЗ за допомогою ФАДТ з ПАРК

Таким чином, за зміною частоти збуджуючих акустичних коливань $f_{зб}$, при якій у фазоакустичному датчику утворюється резонанс, та зсувом фаз $\Delta\varphi$ між вимушеними $f_v(\varphi_2)$ та збуджуючими $f_{зб}$ (φ_1) коливаннями можна визначити миттєві значення температури відпрацьованих газів кожного циліндра.

Для вимірювання температури ВГ при діагностуванні ДВЗ необхідно виконати налаштування фазоакустичного датчика температури 3 шляхом задавання генератором електричних коливань 1 такої частоти збуджуючих коливань (f_{36}), при якій для усередненого значення температурних імпульсів ВГ на даному режимі буде утворюватись резонанс ($f_0=f_{36}$). Для кожного значення температури ВГ відповідає своя певна (резонансна) частота збуджуючих звукових коливань (f_{36}).

Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згорання за температурою відпрацьованих газів здійснюється наступним чином:

Двигун прогрівають до робочої температури. Фазоакустичний датчик температури 3 під'єднують до випускної труби ДВЗ на її виході. Виконують налаштування фазоакустичного датчика температури за сигналом фазового дискримінатора 5.

При роботі ДВЗ на кожному з режимів діагностування реєструють частоту збуджуючих коливань f_{36} та сигнал фазового дискримінатора 5. Миттєві значення температурних імпульсів ВГ кожного циліндра визначаються шляхом додавання чи віднімання (в залежності від напрямку зсуву фаз) значень температур, отриманих відповідно до сигналу фазового дискримінатора 5, до (чи від) температури, яка відповідає заданій частоті збуджуючих коливань (f_{36}). Визначають сигнал від першого циліндра ДВЗ (за сигналом датчика фаз, імпульсом від форсунки або іншим доступним чином (на рис. 3.3 не показано) та, згідно з порядком роботи циліндрів, співставляють отримані значення температур імпульсів ВГ з відповідними їм циліндрами. Аналізують відхилення отриманих значень температур імпульсів ВГ від еталонних, які отримано на технічно справному ДВЗ, та за величиною цих відхилень визначають технічний стан (роботоздатність) двигуна як в цілому, так і за окремими циліндрами.

За запропонованими режимами діагностування, порівнюючи отримані миттєві значення температурних імпульсів ВГ окремо кожного циліндра з еталонними значеннями, можливо достатньо швидко в умовах експлуатації

визначити не тільки технічний стан (роботоздатність) двигуна, а й, у разі наявної невідповідності, можливі відмови як двигуна в цілому, так і окремих його циліндрів (відхилення подачі палива відносно нормативного, закоксованість форсунок, зношення циліндро-поршневої групи тощо) без використання навантажувальних стендів в режимах холостого ходу ДВЗ.

Принцип отримання сигналу розбіжності по температурі за допомогою акустичного резонатора коливання полягає у тому, що при проходженні акустичних коливань через резонатор в ньому виникають вимушені власні коливання з той самою частотою та встановлення системи сталих хвиль.

У напівхвильовому резонаторі може бути отримано напівхвильовий та кратні йому резонанси.

Амплітудне значення тиску та зсув фази є функціями співвідношення частот f_e/f_0 .

При резонансі у напівхвильовому резонаторі, коли $f_e = f_0$, зсув фаз дорівнює $\pi/2$.

Принцип отримання сигналу розбіжності фаз коливань від зміни температури газів зображено на рис. 3.4.

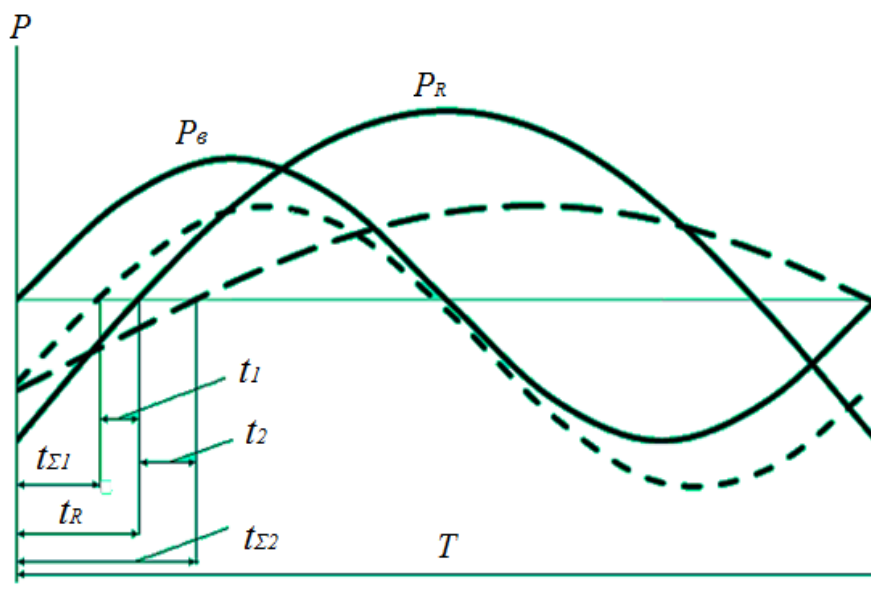


Рисунок 3.4 - Принцип отримання сигналу розбіжності фаз коливань від зміни температури газів [57]

Крива P_R демонструє зміну коливань стовпчика газу при резонансі, а P_v – тиск вимушених коливань.

При сталому значенні f_g та при збільшенні температури ВГ відбувається збільшення швидкості звуку і, відповідно, збільшенню колової частоти власних коливань, що призводить до додаткового зсуву фази $\varphi_1 = \frac{t_1}{T} \cdot 2\pi$ від резонансного зсуву $\varphi_R = \frac{t_R}{T} \cdot 2\pi = \frac{\pi}{2}$. Сумарний зсув фази $\varphi_\Sigma = \varphi_R - \varphi_1$ зменшується $\varphi_{\Sigma 1} = \frac{t_{\Sigma 1}}{T} \cdot 2\pi$ (крива 1). Зменшення температури ВГ визиває додатковий зсув фази $\varphi_2 = \frac{t_2}{T} \cdot 2\pi$ та збільшення сумарного зсуву фази $\varphi_{\Sigma 2} = \frac{t_{\Sigma 2}}{T} \cdot 2\pi$ (крива 2).

Зміна зсуву фази потрапляє на фазовий дискримінатор, який виробляє сигнал пропорційний відхиленню температури ВГ від заданого значення.

Пульсація тиску та шуми, які присутні у випускній системі двигуна, викликають при проходженні потоку відпрацьованих газів скрізь акустичний датчик значні завади на шляху акустичного сигналу, що призводить до його викривлення [57]. Для надійної та стабільної реєстрації отриманого сигналу пропонується використовувати в цих датчиках резонатори коливання [57], які можуть бути непроточні та проточні.

Дія непроточних резонаторів пов'язана з теплообміном поміж стінками резонатора та робочим тілом, температура якого вимірюється, тому їх інерційність визначається швидкістю теплообміну. Швидкодія акустичних датчиків температури з таким резонатором сягає декількох хвилин, що не дозволяє використовувати їх при діагностуванні ДВЗ.

Тому, для високої швидкодії датчика при діагностуванні необхідно застосовувати тільки датчики з проточним резонатором коливання.

Проточні резонатори коливання циліндричної форми з реалізацією повздовжнього резонансу [57] не відповідають умовам діагностування ДВЗ. Швидке розширення та стиснення потоку газів на вході та виході резонатора

викликає появу значних шумів, які негативно впливають роботу акустичного датчика.

Для значного зменшення рівня шумів замість циліндричного резонатора з повздовжнім резонансом запропоновано плоский поперечний резонатор з дифузорним входом та конфузорним виходом газу. Він має вигляд прямокутного паралелепіпеду в якому реалізується поперечний резонанс за рахунок формування стоячої хвилі між боковими стінками (рис. 3.2).

Запропонований принцип вимірювання миттєвої температури ВГ на базі фазоакустичного датчика температури з проточним резонатором акустичних коливань дозволяє реалізувати метод експрес-діагностування дизелів.

Забезпечення вільного потоку відпрацьованих газів дозволяє зменшити сталу часу датчика та вплив інших температурних імпульсів, а дифузорний вхід і конфузорний вихід відпрацьованих газів зменшує шкідливі шуми при розширенні ВГ [57].

Для покращення надійності та стабільності сигналу, що реєструється, необхідно провести дослідження та вибір оптимальних конструктивних і газодинамічних параметрів резонатора коливань ФАДТ.

Відомо, що швидкість звуку у газі залежить не тільки від температури а і від тиску газу (рис. 3.5). У межах тиску від 100 до 1500 кПа ця залежність може бути прийнята лінійною [57]. Зміна швидкості звуку, що обумовлена зміною тиску, призводить до зміни частоти власних коливань та, як наслідок, появі похибки у вимірюванні температури. Виявляється, що при збільшенні тиску виникає деформація стінок резонатора, що призводить до підвищення частоти власних коливань резонатора.

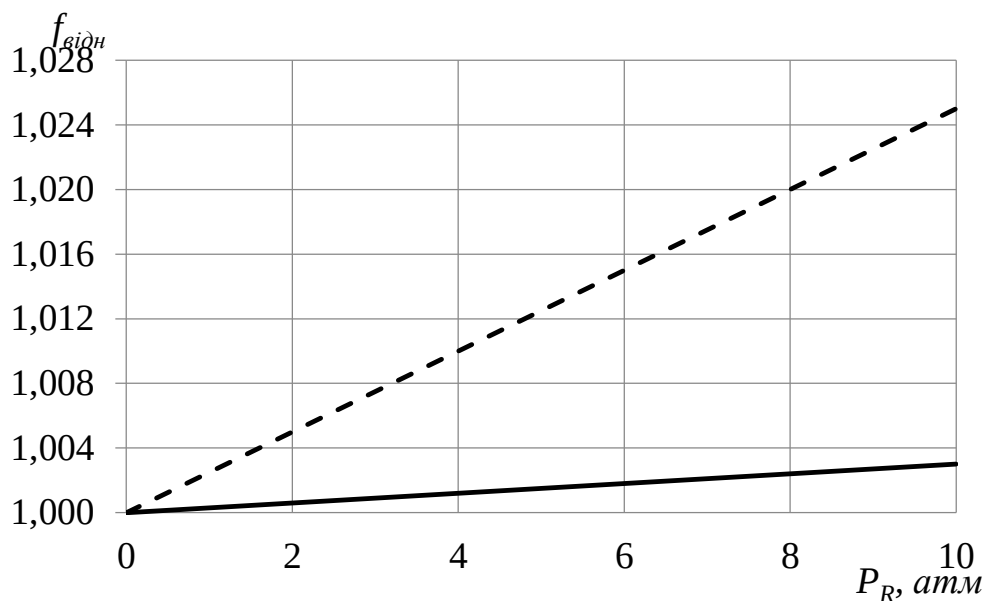


Рисунок 3.5 – Залежність відносної частоти коливань від тиску у резонаторі [57]

Враховуючи те, що у випускних системах транспортних ДВЗ тиск газів є значно меншими ніж застосовані при дослідженні властивостей резонатора, то впливом тиску на деформацію стінок можна нехтувати.

Залежність частоти власних коливань від температури в резонаторі наведено на рис. 3.6.

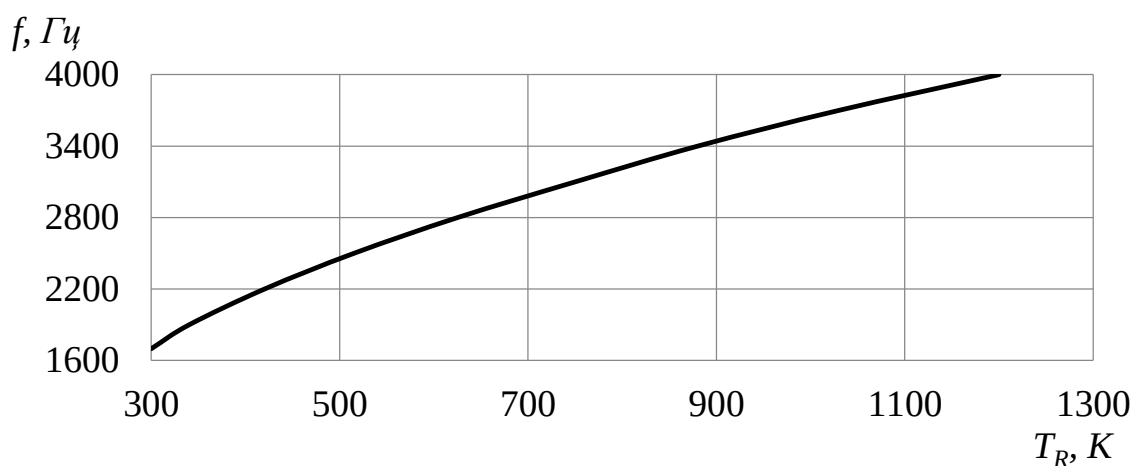


Рисунок 3.6 – Залежність частоти власних коливань від температури в резонаторі при $L_R=120$ [57]

Головною характеристикою резонатора та датчика є статична характеристика резонатора, що являє собою залежність величини зсуву фаз між збуджуючими та власними частотами від температури газу в резонаторі (рис. 3.7).

Ця характеристика має певний діапазон лінійності, величина якого залежить від добротності резонатора. Чим вища добротність, тим менше діапазон лінійності, но тим більше чутливість резонатора. Так резонатори з добротністю $Q = 100$ і 50 мають діапазон лінійності 8 та 16 °С відповідно.

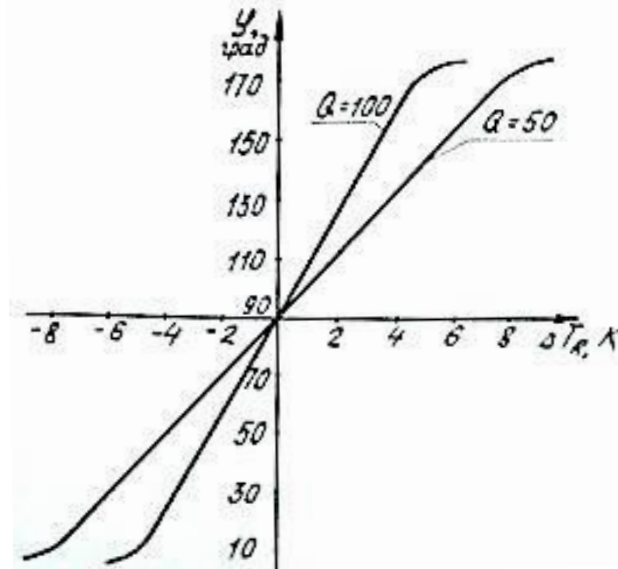


Рисунок 3.7 - Статична характеристика резонатора [57]

За результатами досліджень, найбільша похибка виникає від коефіцієнта надлишку повітря, і становить близько 0,3%.

Вплив запиленості проявляється тільки при значній концентрації пилу (сажі) (більше $0,2 \text{ кг/м}^3$), яка у експлуатації ДВЗ не зустрічається.

3.3 Вибір конструктивних параметрів звуководів фазоакустичного датчика температури.

Принципова схема ФАДТ, яка пояснює будову та принцип дій датчика, зображена на рис. 3.4. Випромінювач випромінює звукові коливання, які проходячи скрізь звуковод потрапляють до резонатора. У разі співпадання частот збуджуючих коливань і власних резонатора, виникає підсилення амплітуди звукових хвиль та утворюється стояча хвиля, яку через другий звуковод приймає мікрофон. Скрізь резонатор, перпендикулярно до звукових

хвиль, проходять відпрацьовані гази, зміна температури яких змінює параметри вимушених коливань.

Вимірювання температури відпрацьованих газів за допомогою ФАДТ базується на залежності частоти власних коливань газів у резонаторі від температури цих газів ($f = f(T)$). При цьому у залежності від співвідношення частот власних f_0 та збуджуючих $f_{зб}$ коливань змінюється зсув фаз φ між вимушеними та збуджуючими коливаннями. Звідси випливає, що чим більше буде різниця між власною частотою та частотою збуджуючих коливань тим більшим буде зсув фаз. Оскільки частота збуджуючих коливань є постійною величиною, то змінюється тільки частота власних коливань. Ця зміна пояснюється наступним рівнянням:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{\sqrt{k \cdot g \cdot R \cdot T}}{\lambda}, \quad (3.6)$$

де f – частота звукових коливань;

c – швидкість звуку у газовому середовищі;

λ – довжина звукової хвилі.

Основними конструктивними параметрами резонатора є відстань між резонуючими стінками L_R резонатора та довжина звуководів $l_{зб}$. Розміри вхідного та вихідного трубопроводів для відпрацьованих газів обираються з урахуванням забезпечення вільного проходу відпрацьованих газів, і тому мають бути наближені до діаметру випускної труби транспортного засобу [60].

Для розрахунку відстані між резонуючими стінками резонатора та довжин звуководів необхідно визначити частоту збуджуючих коливань та швидкість звуку у газовому середовищі.

Відстань між резонуючими стінками резонатора L_R дорівнює половині довжини звукової хвилі. При зміні довжини звуководів від $l_{зб} = 0$ до $l_{зб} = \lambda/2$ зсув фази коливань змінюється від 0 до π . Звуковід довжиною $\lambda/4$ здійснює зсув фази на $\pi/2$, при цьому реактивна складова опору звуководу наближається до нуля, а вихідний сигнал з приймача є найбільшим. Залежність величини вихідного сигналу від кута зсуву фаз наведено на рис.

3.8, а експериментальне дослідження впливу довжини звуководів на амплітудно-частотну характеристику резонатора наведено на рис. 3.9.

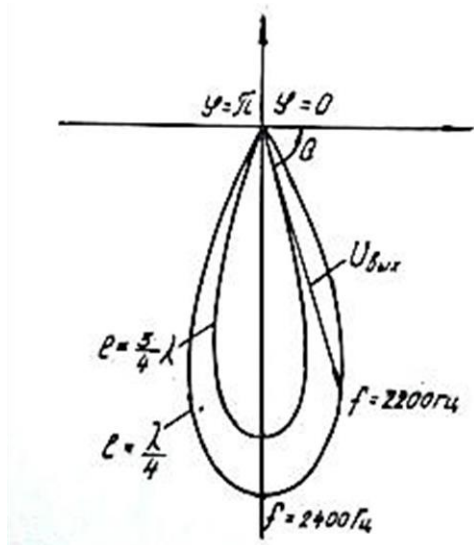


Рисунок 3.8 – Залежність величини вихідного сигналу від кута зсуву фаз [57]

Проведені дослідження дозволили розрахувати, сконструювати та виготовити макетний зразок фазоакустичного датчика температури (рис. 3.10), основні технічні характеристики якого наведено в таблиці 3.2.

Згідно з розрахунками, відстань між резонуючими стінками резонатора L_R становить 177 мм.

Для виключення (компенсації) впливу пульсації тиску відпрацьованих газів у резонаторі на мікрофон, було використано двосторонній мікрофон ДЕМШ-1, який сприймає звукові хвилі через звуководи від двох протилежних стінок резонатора. У якості випромінювача звукових хвиль застосовано динамік гучномовця РГД-25Р, сигнал на який подається з генератора звукових коливань через трансляційний підсилювач звукових коливань У-100У4.2. Електричні сигнали від мікрофона, динаміка та опорний сигнал одного з циліндрів двигуна за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення записуються у персональному комп'ютері та графічно виводяться на екран монітору (рис. 3.11).

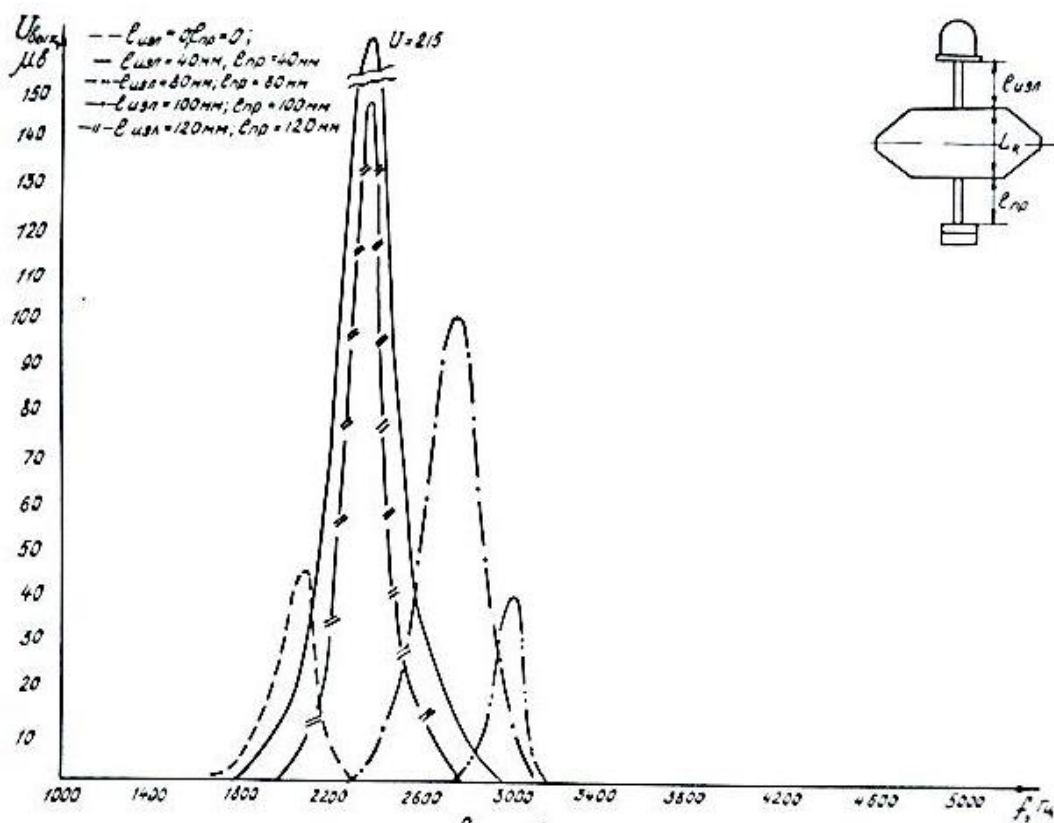


Рисунок 3.9 – Вплив довжини звуководів на амплітудно-частотну характеристику резонатора [57]

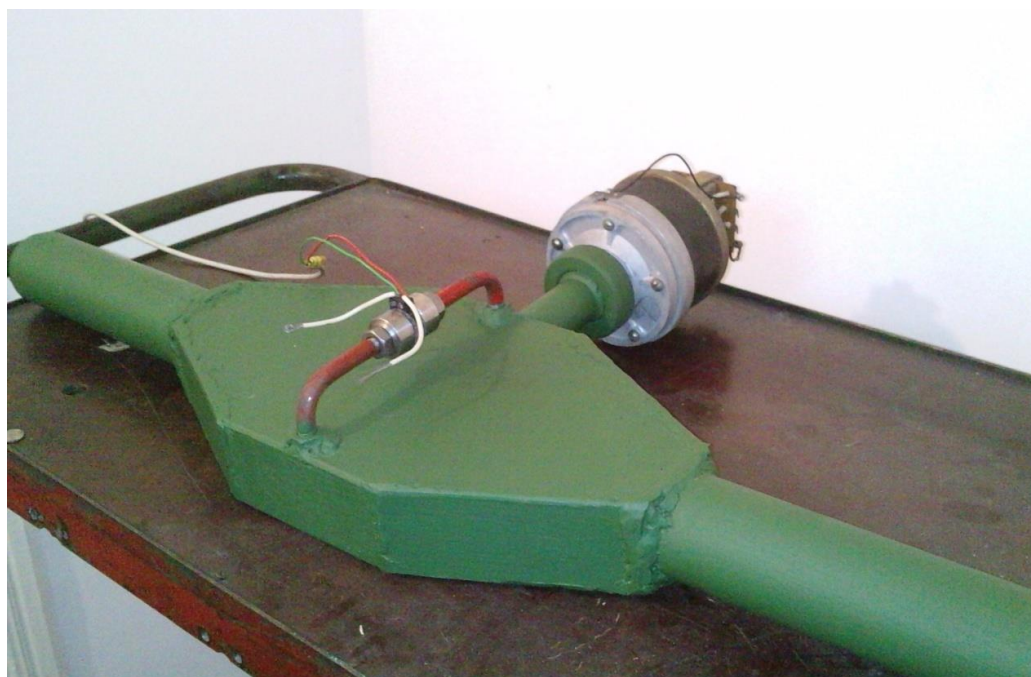


Рисунок 3.10 – Макетний зразок фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань

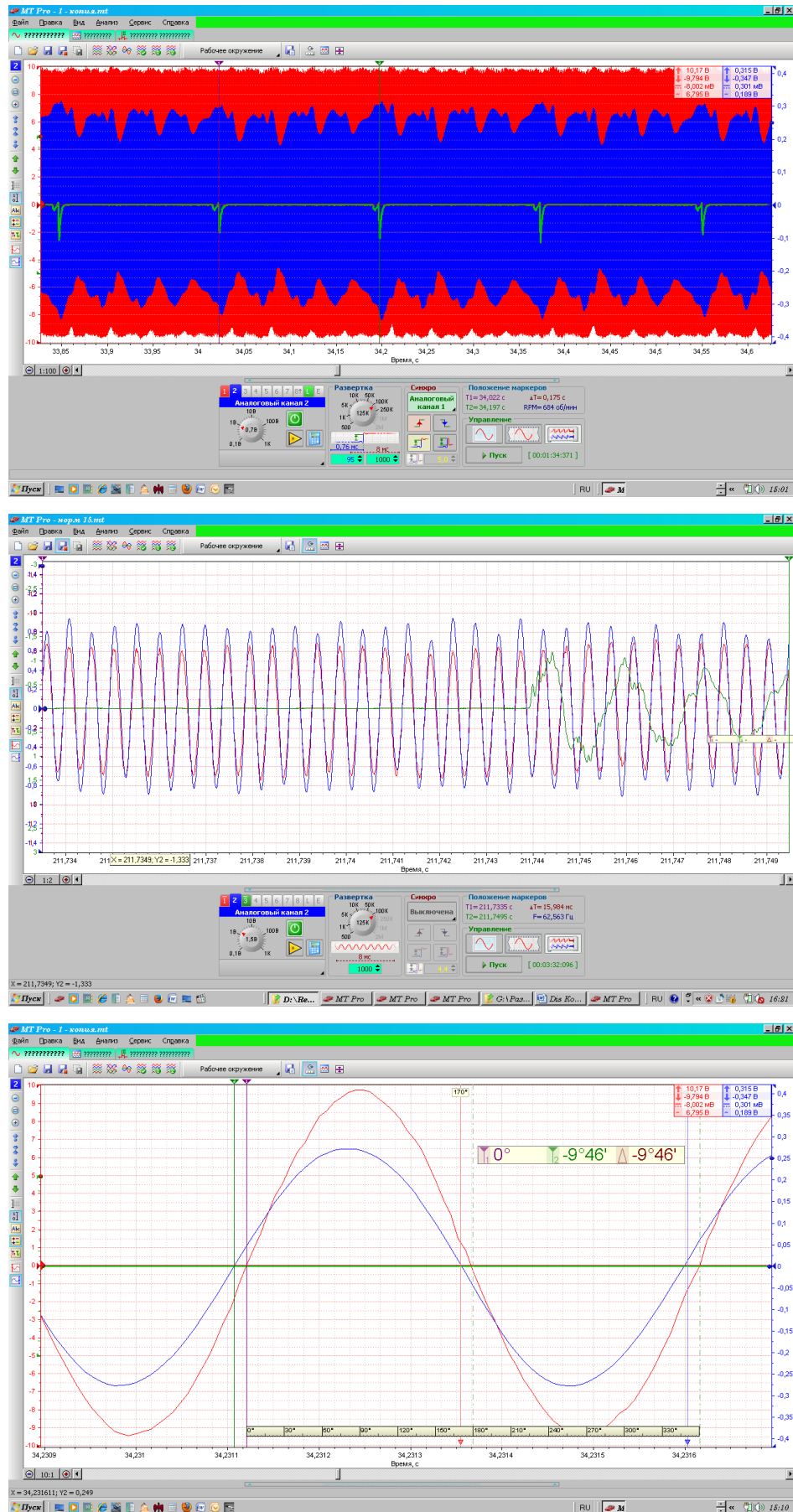


Рисунок 3.11 – Графічне зображення на екрані монітору сигналів ФАДТ та опорного сигналу одного з циліндрів двигуна

Таблиця 3.2 – Основні технічні характеристики ФАДТ з ПАРК

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

Графічне відображення зміни зсуву фаз сигналу акустичного датчика миттєвої температури по циліндрам двигуна ОМ-615 (рис. 3.12) наглядно демонструє можливості визначення величини зсуву фаз акустичного сигналу за робочий цикл двигуна, та за ними розрахувати значення температурних імпульсів ВГ роздільно по циліндрах дизеля.

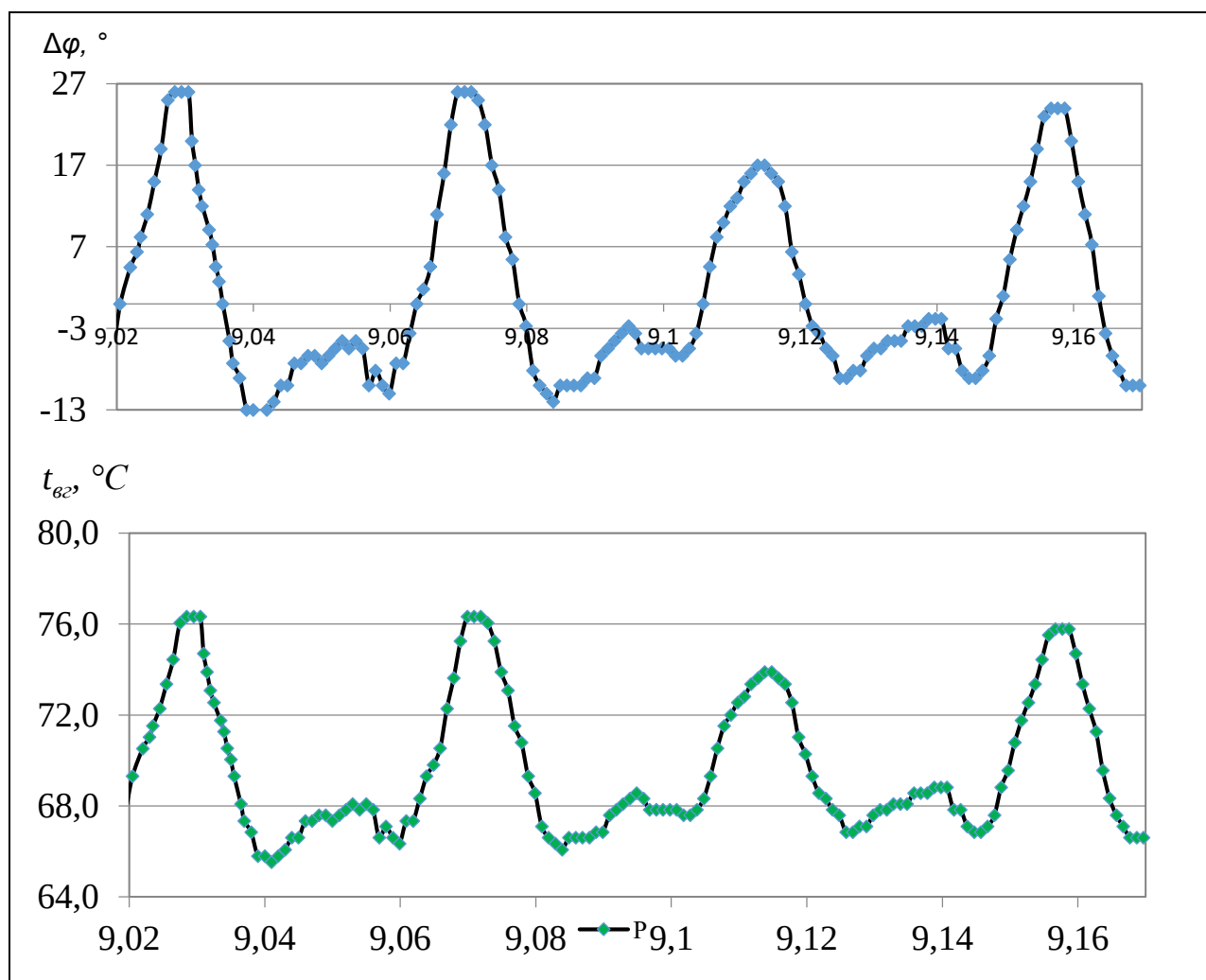


Рисунок 3.12 – Графічне зображення зміни зсуву фаз сигналу акустичного датчика та відповідної зміни миттєвої температури імпульсів ВГ по 2-му, 1-му, 3-му, та 4-му циліндрах дизеля при заниженому тиску впорскування палива у третьому циліндрі

Відсутність впливу пульсації тиску ВГ у випускній трубі на приймач звукових коливань (мікрофон) ФАДТ продемонстровано на рис. 3.13. При відключенні під час роботи двигуна випромінювача збуджуючих коливань ФАДТ спостерігається припинення реєстрація приймачем сигналу. Наявні незначні коливання є реакція на шуми, які продукує випромінювач в наслідок недосконалої роботи трансляційного підсилювача звукових коливань У-100У4.2

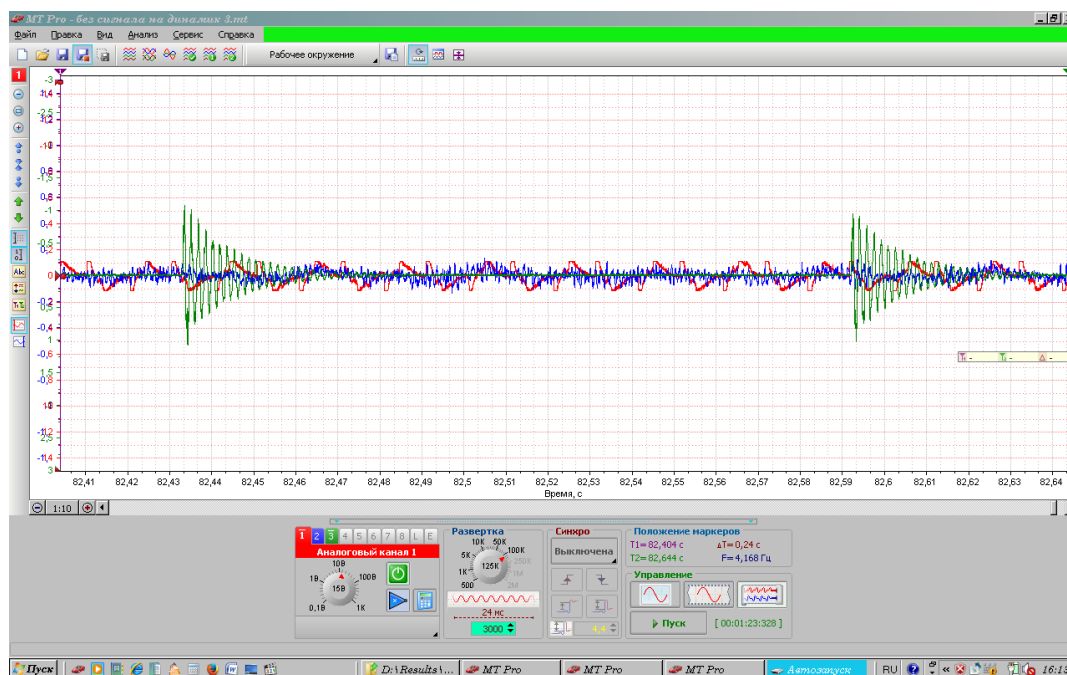


Рисунок 3.13 – Графічне зображення на екрані монітору сигналів ФАДТ та опорного сигналу одного з циліндрів двигуна без подачі збуджуючих коливань випромінювачем звукових хвиль

3.4 Оцінювання метрологічних характеристик фазоакустичного датчика температури

Для практичного застосування засобу діагностування необхідно оцінити його метрологічні характеристики. У практичному використанні вимірювань дуже важливим показником метрологічних характеристик є їх точність, яка представляє собою ступінь близькості результатів вимірювання до дійсного значення діагностичного параметра, і яка використовується для якісного порівняння вимірювальних операцій [100 - 103]. У якості кількісної

оцінки точності вимірювання, як правило, використовується похибка вимірювань.

Дійсне значення вимірюваної величини може відрізнитись від отриманого при вимірюванні значення. Це може бути обумовлено недосконалістю технології виготовлення приладу, конструктивними недоліками, неправильним градуванням, впливом різних зовнішніх факторів.

Різниця між показанням приладу і дійсним значенням вимірюваної величини називається абсолютною похибкою вимірювального приладу і визначається за наступним рівнянням:

$$\Delta x = x - x_0, \quad (3.7)$$

де x – показання прилада;

x_0 - дійсне значення вимірюваної величини.

Відношення абсолютної похибки вимірювального приладу до дійсного значення вимірюваної величини називається відносною похибкою приладу, яку виражають у % та визначають за формулою:

$$\delta = \pm \frac{\Delta x}{x_0} \cdot 100. \quad (3.8)$$

Важливим параметром вимірювального приладу є його чутливість, що визначається відношенням зміни сигналу на виході до зміни вимірюваної величини. Абсолютна чутливість засобу вимірювання визначається за рівнянням [101]:

$$S = \frac{\Delta f}{\Delta t}, \quad (3.9)$$

де Δf – зміна резонансної частоти вимушених коливань на виході ФАДТ;

Δt - зміна значення температури в резонаторі ФАДТ.

Для побудови калібрувальної залежності та оцінювання похибки фазоакустичного датчика температури було створено вимірювальну установку, зовнішній вигляд якої показано на рис. 3.14.



Рисунок 3.14 – Зовнішній вигляд вимірювальної установки для визначення калібрувальної залежності та оцінювання похибки фазоакустичного датчика температури

Калібрувальну залежність резонансної частоти вимушених акустичних коливань від температури в середині резонатора фазоакустичного датчика температури визначали при нормальних атмосферних умовах оточуючого середовища шляхом реєстрації частот вимушених коливань, за яких утворюється резонанс, при різних значеннях температури в діапазоні від 50 до 200 °С.

Задавання температури всередині резонатора ФАДТ виконували електронагрівальним приладом, шляхом зміни напруги електричного струму за допомогою лабораторного трансформатора.

Вимірювання температури всередині резонатора фазоакустичного датчика температури здійснювали термометром ТН 2 (зав. № 530).

Похибку вимірювання оцінювали за допомогою середньоквадратичного відхилення [100] середнього значення серії чотирьох замірів за наступним рівнянням:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3.10)$$

де x_i – виміряне значення i -го вимірювання;

$\bar{x}$ – середнє арифметичне значення серії замірів;

n – кількість замірів.

Невизначеність вимірювань оцінювали згідно з рекомендаціями ДСТУ-Н РМГ 43:2006 [104], а саме, розрахунками невизначеностей по типу А (U_a), типу В (U_b), а також сумарної (U_c) та розширеної (U_p) невизначеностей.

$$U_a = \sigma_x, \quad (3.11)$$

$$U_b = \frac{b_i}{\sqrt{3}}, \quad (3.12)$$

де b_i - симетричні межі відхилення вимірюваної величини від результату вимірів.

$$U_c = \sqrt{U_a^2 + U_b^2}, \quad (3.13)$$

$$U_p = t_p \cdot U_c, \quad (3.14)$$

де t_p - квантиль розподілу Стюдента для довірчої вірогідності p ($p=0,95$).

Результати визначення калібрувальної залежності резонансної частоти вимушених акустичних коливань від температури в середині резонатора фазоакустичного датчика температури, абсолютної чутливості S засобу вимірювання, середньоквадратичного відхилення σ та невизначеностей по типу А (U_a), типу В (U_b), сумарної (U_c) та розширеної (U_p) результатів вимірювання приладу наведено у таблиці 3.3. Графічне зображення залежності резонансної частоти вимушених акустичних коливань від температури в середині резонатора ФАДТ, його абсолютної чутливості S , та залежності зсуву фази акустичних коливань від температури газів наведено на рис. 3.15, 3.16 та 3.17 відповідно.

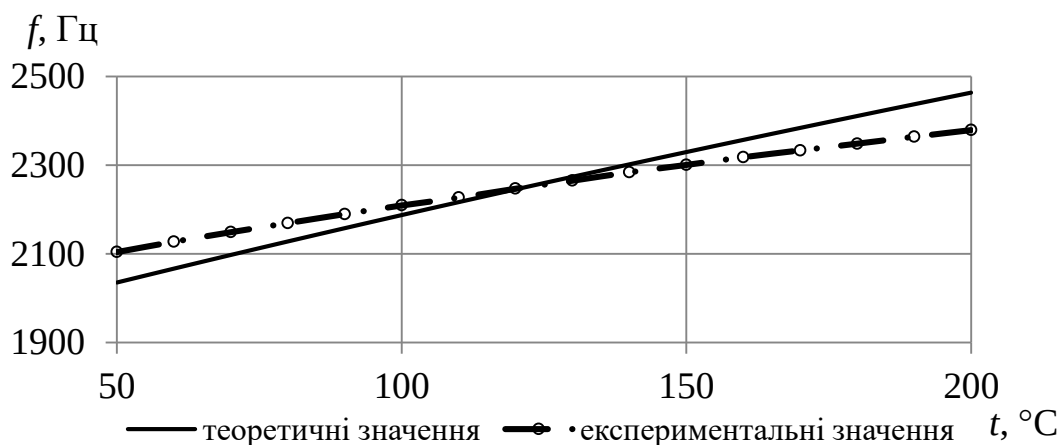


Рисунок 3.15 – Залежність резонансної частоти вимушених акустичних коливань від температури в середині резонатора ФАДТ

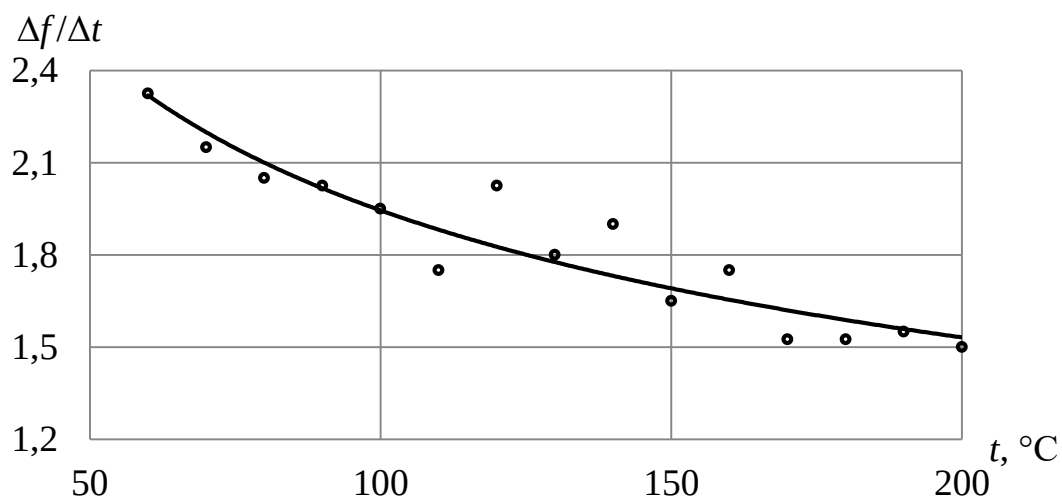


Рисунок 3.16 – Залежність абсолютної чутливості ФАДТ від температури, що вимірюється

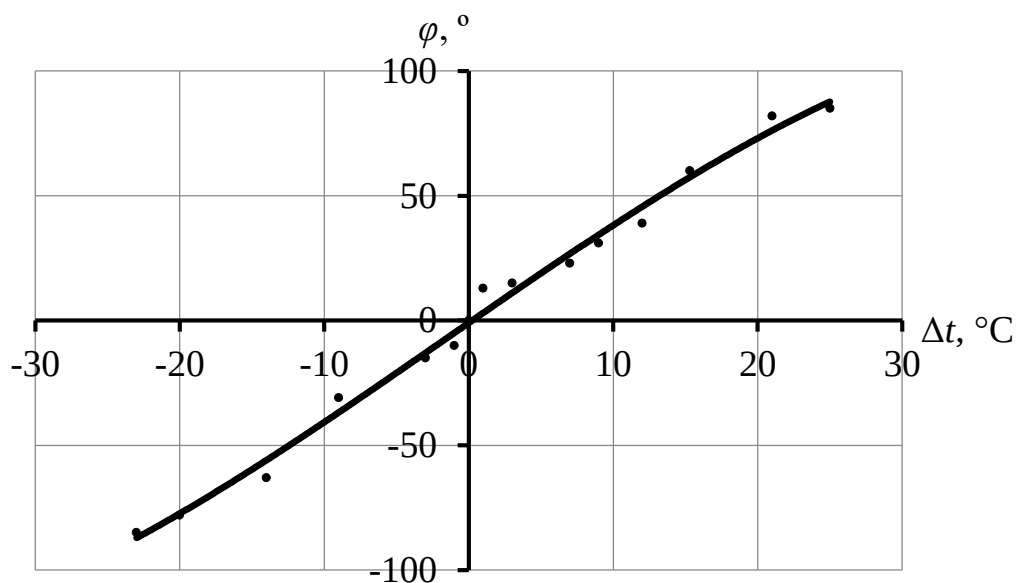


Рисунок 3.17 – Залежність зсуву фази акустичних коливань від температури газів

Таблиця 3.3 - Результати визначення калібрувальної залежності резонансної частоти вимушених акустичних коливань від температури в середині резонатора ФАДТ, абсолютної чутливості засобу вимірювання та визначення середньоквадратичного відхилення результатів вимірювання (похибки) приладу.

$t, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$f, \text{ Гц}$				$f_{\text{ср}}, \text{ Гц}$	$\sigma_f, \text{ Гц}$	$\delta, \%$	S	$\sigma_t(U_a), \text{ }^{\circ}\text{C}$	$U_b, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$U_c, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$U_p, \text{ }^{\circ}\text{C}$
	Номер заміру											
	1	2	3	4								
50	2104	2105	2105	2104	2104,5	0,29	0,01	2,3	0,1	0,577	0,6	1,6
60	2127	2128	2129	2127	2127,8	0,48	0,02	2,3	0,2	0,577	0,6	1,7
70	2147	2151	2150	2149	2149,3	0,85	0,04	2,2	0,4	0,577	0,7	1,9
80	2167	2172	2172	2168	2169,8	1,31	0,06	2,1	0,6	0,577	0,9	2,4
90	2187	2192	2192	2189	2190,0	1,22	0,06	2,0	0,6	0,577	0,8	2,3
100	2206	2212	2212	2208	2209,5	1,50	0,07	2,0	0,8	0,577	1,0	2,7
110	2223	2230	2230	2225	2227,0	1,78	0,08	1,8	1,0	0,577	1,2	3,2
120	2243	2250	2250	2246	2247,3	1,70	0,08	2,0	0,8	0,577	1,0	2,8
130	2262	2268	2268	2263	2265,3	1,60	0,07	1,8	0,9	0,577	1,1	2,9
140	2282	2287	2288	2280	2284,3	1,93	0,08	1,9	1,0	0,577	1,2	3,2
150	2298	2302	2303	2300	2300,8	1,11	0,05	1,7	0,7	0,577	0,9	2,5
160	2316	2319	2321	2317	2318,3	1,11	0,05	1,8	0,6	0,577	0,9	2,4
170	2330	2337	2335	2332	2333,5	1,55	0,07	1,5	1,0	0,577	1,2	3,3
180	2348	2350	2350	2347	2348,8	0,75	0,03	1,5	0,5	0,577	0,8	2,1
190	2363	2363	2365	2366	2364,3	0,75	0,03	1,6	0,5	0,577	0,8	2,1
200	2380	2380	2379	2378	2379,3	0,48	0,02	1,5	0,3	0,577	0,7	1,8

3.5 Висновки до розділу 3

1. Проведений аналіз конструкцій акустичних датчиків температури дозволив обрати, в якості засобу діагностування за температурою ВГ, фазоакустичний датчик температури (ФАДТ) з проточним акустичним резонатором коливань (ПАРК), розробити схему та провести його удосконалення і розрахунок технічних параметрів.

2. За результатами розрахунків виготовлено макетний зразок ФАДТ і проведено експериментальні дослідження з визначення роботоздатності датчика.

3. З метою визначення метрологічних характеристик фазоакустичного датчика температури та підтвердження можливості діагностування дизеля за допомогою ФАДТ було поведено калібрування датчика, з використанням спеціально створеної для цього вимірювальної установки, та визначено похибку вимірювання. Згідно з результатами калібрування та розрахунків було визначено, що абсолютне значення середньоквадратичного відхилення середнього значення замірів σ_t не перевищує 1 °С, а розширена невизначеність U_p не перевищує 3,3 °С.

4. За результатами проведеного калібрування побудовано залежності частоти вимушених акустичних коливань та чутливості ФАДТ від температури газів в середині резонатора.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІДМОВ ДИЗЕЛЯ НА ЙОГО ЕНЕРГЕТИЧНІ, ЕКОЛОГІЧНІ І ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТА ТЕМПЕРАТУРУ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

4.1 Мета і задачі експериментальних досліджень

Вивчення питання показало, що температура відпрацьованих газів є одним з найбільш чутливих, стабільних і інформативних параметрів, вимірювання якого не вимагає застосування складних спеціальних навантажувальних стендів. Реєструючи температуру ВГ кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром. Визначено, що найбільше відповідає цілям реєстрації швидкозмінюємої температури ВГ ДВЗ по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу – фазоакустичний датчик температури з проточним акустичним резонатором коливань.

У процесі експериментального дослідження повинні бути перевірені прийняті теоретичні передумови, визначено діагностичні можливості фазо-акустичного датчика температури та режими діагностування ДВЗ, а також оцінено запропонований метод контролювання роботоздатності та пошуку відмов дизелів.

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

Для досягнення мети експериментальних досліджень необхідно вирішити наступні задачі:

1. Експериментально визначити вплив технічного стану дизеля на його енергетичні, екологічні, економічні показники та температуру відпрацьованих газів при різних відмовах та несправностях систем та вузлів, в різних швидкісних та навантажувальних режимах роботи.
2. Визначити вплив ступеня зміни значень параметрів систем і вузлів дизеля на зазначені вище показники двигуна та встановити межі цих змін відповідно до гранично допустимого стану дизеля.
3. Проведення, з метою розробки методики проведення експрес-діагностування та алгоритму постановки діагнозу, експериментальних досліджень з використанням макетного зразка фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів.

4.2 Програма та методика експериментальних досліджень

Відповідно до поставленої мети і задач та згідно з рекомендаціями проведення наукових досліджень [105], програмою експериментального дослідження передбачається виконання наступних етапів:

1. Збирання та аналізування експлуатаційних даних щодо надійності різних вузлів і систем двигуна. Визначення характерних відмов дизелів.
2. Визначення основних характеристик технічно справного двигуна та відповідних ним значень вихідних параметрів, які характеризують його роботу або роботу його систем та вузлів.
3. Моделювання найбільш поширених в експлуатації несправностей систем та вузлів дизеля. Штучно створюючи несправності у найбільш важливих вузлах та механізмах, вивчається закономірність зміни показників двигуна, у тому числі температури відпрацьованих газів, від його технічного стану, та оцінюється можливість виявити ці несправності у окремо взятому циліндрі.

4. Визначення під час стендових випробувань енергетичних, екологічних, економічних показників та температури відпрацьованих газів дизеля при різних його несправностях. Шляхом зміни режимів роботи двигуна визначається режим, необхідний для контролювання технічного стану двигуна за температурою відпрацьованих газів, який найбільше відповідає умовам експлуатації.

5. Визначення впливу температури повітря оточуючого середовища та довжини випускної системи двигуна на інформативність діагностування ДВЗ за допомогою фазоакустичного датчика температури.

6. Визначення, шляхом комплексного аналізу отриманих результатів, режимів експрес-діагностування дизеля за допомогою фазоакустичного датчика температури.

7. Проведення випробування КТЗ з дизелем в умовах, що відповідають експлуатаційним, з метою визначення роботоздатності обраного методу експрес-діагностування дизеля та придатності для експлуатації.

Методика стендового випробовування передбачає:

- визначення режимів випробовування двигуна за характером впливу відмов двигуна на температуру ВГ;
- створення експериментальної установки для лабораторного дослідження впливу зміни технічного стану двигуна на температуру ВГ;
- визначення технічного стану двигуна, та у разі необхідності відновлення його до рівня задовільного;
- визначення температури ВГ на виході з усіх циліндрів технічно справного двигуна за допомогою високотемпературних термопар на всіх режимах випробування ДВЗ;
- почергова імітація характерних відмов вузлів та систем двигуна в одному з циліндрів двигуна;
- випробовування двигуна на навантажувальному стенді;
- математичне та графічне оброблення результатів випробування.

4.3 Планування експерименту, визначення режимів та параметрів діагностування, моделювання відмов систем та механізмів ДВЗ, підбір обладнання, ВО та ЗВТ

Планування експерименту, визначення режимів випробування виконали відповідно до рекомендацій щодо підготовки та проведення випробувань КТЗ та їх ДВЗ [37, 38, 106 - 108], а також, відповідно до вимог нормативних документів на методи випробувань [33, 34, 36, 109 - 111].

Відповідно до методики стендового випробовування встановили наступні режими випробовування двигуна:

- зовнішня швидкісна характеристика та характеристика холостого ходу двигуна згідно з ГОСТ 14846-81;
- режими тринадцяти ступеневого циклу згідно з Правилами ООН №49-02;
- режим вільного прискорення за ДСТУ 4276:2005.

Показники, що визначалися:

- крутний момент - M_k , Н·м;
- частота обертання колінчастого вала двигуна - n , хв⁻¹;
- концентрація монооксиду вуглецю у ВГ за об'ємом (методом інфрачервоної спектроскопії) - CO , млн⁻¹;
- концентрація сумарних (загальних) вуглеводнів у ВГ за об'ємом (плазмено-іонізаційним методом) - HC , млн⁻¹;
- концентрація оксидів азоту у ВГ за об'ємом (хемілюмінесцентним методом) - NO_x , млн⁻¹;
- маса твердих частинок - PT , мг;
- масова годинна витрата палива - $G_{пал}$, кг/год;
- масова годинна витрата повітря - $G_{нов}$, кг/год;
- температура відпрацьованих газів - $T_{ВГ}$, °С;
- димність відпрацьованих газів - N , % (K , м⁻¹).

Порівняльне випробування двигуна на динамометричному стенді здійснювали відповідно до циклу Правилами ООН №49-02, який складається

із 13 операцій зазначених у таблиці 4.1 та схематично наведених у рис. 4.1.

Таблиця 4.1 – Режими випробувального циклу Правил ООН №49-02

Номер операції	Швидкісний режим випробувань двигуна	Процент навантаження
1	Холостий хід	-
2	Проміжний режим	10
3	Проміжний режим	25
4	Проміжний режим	50
5	Проміжний режим	75
6	Проміжний режим	100
7	Холостий хід	-
8	Номінальний режим	100
9	Номінальний режим	75
10	Номінальний режим	50
11	Номінальний режим	25
12	Номінальний режим	10
13	Холостий хід	-



Рисунок 4.1 – Режими випробувального циклу Правил ООН №49-02

Згідно з проведеним аналізом ймовірностей відмов систем та механізмів дизеля, а також їхнього впливу на температуру відпрацьованих газів, встановлено, що найбільше за все впливає на роботоздатність дизеля справність системи живлення паливом. З огляду на це, імітування відмов (зміна параметрів технічного стану) з метою визначення в процесі випробування їх впливу на показники дизеля (вихідні показники) виконували саме за елементами та механізмами цієї системи (табл. 4.2).

Імітування здійснювали шляхом зміни (регулювання):

- кута випередження впорскування палива $\theta_{впр}$;
- подачі палива ПНВТ $Q_{нал}$;
- тиску початку впорскування форсункою $P_{впр}$.

Таблиця 4.2 – Зв'язок параметрів технічного стану, процесу випробування та вихідних показників дизеля що визначалися при дослідженні

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

Відмови та несправності систем та вузлів дизеля було створено штучно, шляхом внесення змін в їх регулювання або заміною на несправні. Енергетичні показники визначалися ефективною потужністю N_e та ефективним крутним моментом M_k ; екологічні показники - концентраціями у

ВГ та питомими викидами монооксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC , оксидів азоту NO_x , твердих частинок PT , а також димністю ВГ N ; економічні показники двигуна визначалися годинною $G_{нал}$ та питомою g_e витратами палива.

4.4 Розробка експериментальної установки

4.4.1 Об'єкти експериментальних досліджень

Об'єктом експериментальних стендових моторних досліджень був серійний чотирициліндровий чотиритактний атмосферний дизель з рідинним охолодженням моделі OM 615 виробництва фірми Mercedes-Benz, зображений на рис. 4.2. Коротка характеристика двигуна та його ідентифікаційні ознаки наведено в таблиці 4.3.

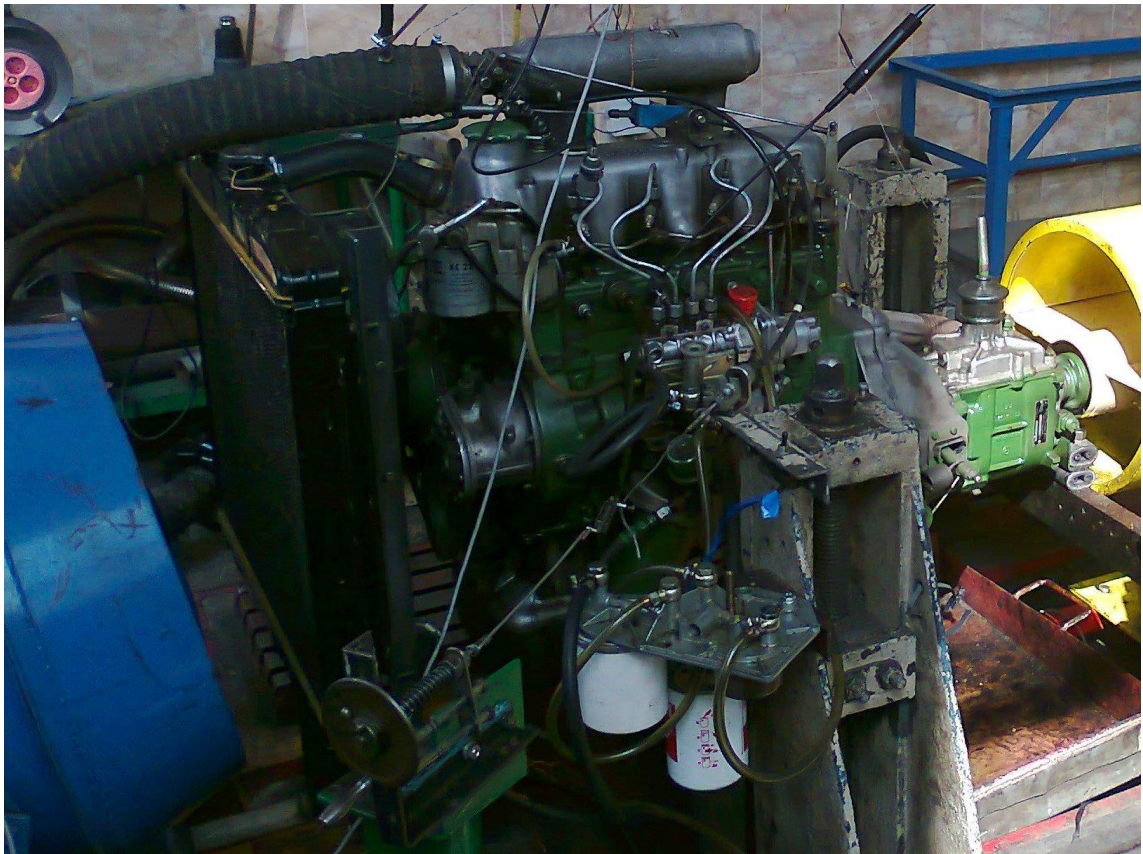


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд двигуна Mercedes-Benz моделі OM 615, встановленого на моторному стенді

Таблиця 4.3 - Ідентифікаційні ознаки та коротка технічна характеристики
двигуна Mercedes-Benz OM 615 (за даними виробника)

№ п/п	Найменування параметрів	Значення параметрів
1.	Тип	дизельний
2.	Число тактів	4
3.	Число циліндрів	4
4.	Порядок роботи циліндрів двигуна	1 - 3 - 4 - 2
5.	Розташування циліндрів	рядне, вертикальне
6.	Робочий об'єм, <i>л</i>	1,988
7.	Діаметр циліндра іхід поршня, <i>мм</i>	87/83,6
8.	Ступінь стиску	21
9.	Номінальна потужність, <i>кВт</i>	30,0 при 3000 хв^{-1}
10.	Максимальний крутний момент, <i>Нм</i>	113,0 при 1400 хв^{-1}
11.	Мінімальна частота обертання холостого ходу, хв^{-1}	750
12.	Тип палива	Дизельне
13.	Тип системи охолодження	Рідинна
14.	Система мащення	Комбінована: під тиском і розбризкуванням
15.	Паливний насос високого тиску	PES4M 50C320 RS14
16.	Форсунки	KSA30SD2/4

З огляду на те, що двигун, на якому проводили дослідження, не новий, то перед початком випробувань було проведено перевірку його технічного стану, а також, регулювання систем та механізмів.

Перевірку та регулювання здійснювали для наступних систем та механізмів двигуна:

- циліндро-поршневої групи;
- паливного насоса високого тиску (ПНВТ);
- паливних форсунок;
- газорозподільного механізму (ГРМ).

Під час перевірки визначали:

- компресію по циліндрам двигуна;
- умовну потужність механічних втрат та нерівномірність роботи циліндрів двигуна згідно з ГОСТ 14846-81;
- циклову подачу та нерівномірність циклової подачі за секціями ПНВТ згідно з ДСТУ ГОСТ 10578:2003;
- тиск початку впорскування форсунками згідно з ГОСТ 10579-88;
- кут випередження впорскування палива;
- теплові зазори клапанів системи ГРМ.

Компресію у циліндрах двигуна визначали на прогрітому до робочої температури двигуні за допомогою дизельного компресометра Andrmax моделі YF-8102 за методикою зазначеною у посібниках з експлуатації та ремонту автомобілів Мерседес з дизельними двигунами моделей OM 615, 616 та 617 [112, 113]. Отримані значення компресії знаходяться в межах 24 - 26 бар (2,4 – 2,6 МПа) та відповідають нормативним значенням виробника на двигун (у технічно-справному стані – 24 – 30 бар, а при гранично-зношеному – 15 бар). Різниця значень компресії між циліндрами двигуна не перевищує 2 бара (нормативне значення ≤ 3 бар).

Умовну потужність механічних втрат та нерівномірність роботи циліндрів двигуна визначали шляхом відключення циліндрів при роботі двигуна під навантаженням на моторному стенді при повній подачі палива за методикою зазначеною у п. 3.2 ГОСТ 14846-81 [33]. Відключення циліндрів двигуна здійснювали без його зупинки при роботі в режимі максимального

крутного моменту за допомогою спеціально розробленої та виготовленої системи відключення циліндрів, шляхом перепуску палива, що подається насосною секцією ПНВТ, через паралельно встановлену (до форсунки двигуна) додаткову форсунку. Ця система складається з проставок, що встановлені між паливопроводами та форсунками двигуна, до яких під'єднано додаткову форсунку з ручним регулюванням затягуванням пружини голки розпилювача. Для відключення циліндра двигуна під час його роботи зусилля затягування пружини голки розпилювача додаткової форсунки того циліндра, який необхідно відключити, зменшувалося в ручному режимі доки її тиск впорскування не ставав значно меншим від тиску впорскування форсунки двигуна, і все паливо, що подається насосною секцією ПНВТ, не починало впорскуватися через неї у окрему ємність. Для включення циліндра, навпаки, тиск впорскування додаткової форсунки збільшувався доки подача палива через неї не припинялася.

Згідно з результатами вимірювання коефіцієнт рівномірності роботи циліндрів двигуна складає 0,9.

Визначення нерівномірності циклової подачі за секціями ПНВТ згідно з ДСТУ ГОСТ 10578:2003 [114] на стенді для перевірки та регулювання ПНВТ дизелів Motorpal NC-128 (рис. 4.13) показало значне відхилення циклової подачі третьої секції ПНВТ, яке неможливо було виправити до нормативного значення шляхом регулювання. Після заміни зношеної плунжерної пари та подальшого регулювання ПНВТ, нерівномірність циклової подачі становила 3 % на режимі повної подачі та 25 % на режимі холостого ходу, що відповідає нормативним значенням за ДСТУ ГОСТ 10578:2003.

У зв'язку з відсутністю нормативних значень циклової подачі палива для ПНВТ, який встановлено на дизелі, регулювання подачі палива здійснювали на двигуні за допомогою гвинта номінальної подачі ПНВТ. Регулювання подачі палива здійснювали на досягнення дизелем задовільних показників максимальної потужності, максимального крутного моменту та димності відпрацьованих газів.

Якість розпилювання палива та тиск впорскування форсунками було перевірено та відрегульовано на відповідність нормативному значенню (11,5 МПа) згідно з ГОСТ 10579-88 [115] на стенді для перевірки та регулювання дизельних форсунок (рис. 4.14).

Регулювання кута випередження впорскування палива здійснювали шляхом повороту корпусу ПНВТ відносно блоку циліндрів двигуна до досягнення дизелем задовільних показників максимальної потужності, максимального крутного моменту та димності відпрацьованих газів (мінімальне значення димності).

Теплові зазори клапанів системи ГРМ було відрегульовано згідно з методикою зазначеною у посібниках з експлуатації та ремонту автомобілів Мерседес з дизельними двигунами моделей OM 615, 616 та 617 [112, 113].

Під час проведення експериментальних досліджень використовували моторну оливу відповідно до технічній документації заводу виробника. Дизельне паливо відповідало вимогам ДСТУ 7688:2015.

Об'єктом експериментальних досліджень в умовах експлуатації був вантажний автомобіль ГАЗ-3309 виробництва ОАО «ГАЗ» (рис. 4.3) з чотирициліндровим чотиритактним дизелем з рідинним охолодженням моделі Д-245.7Е2 виробництва ММЗ. Коротка характеристика двигуна та його ідентифікаційні ознаки наведено в таблиці 4.4.



Рисунок 4.3 – Загальний автомобіля ГАЗ-3309

Таблиця 4.4 - Ідентифікаційні ознаки та коротка технічна характеристики
двигуна Д-245.7Е2 (за даними заводу-виробника)

№ п/п	Найменування параметрів	Значення параметрів
1.	Тип	дизельний
2.	Число тактів	4
3.	Число циліндрів	4
4.	Порядок роботи циліндрів двигуна	1 - 3 - 4 - 2
5.	Розташування циліндрів	рядне, вертикальне
06.	Робочий об'єм, <i>л</i>	4,75
7.	Діаметр циліндра і хід поршня, <i>мм</i>	110/125
8.	Ступінь стиску	17
9.	Номінальна потужність, <i>кВт</i>	86,2 при 2400 хв^{-1}
10.	Максимальний крутний момент, <i>Нм</i>	413 при 1500 хв^{-1}
11.	Мінімальна частота обертання холостого ходу, хв^{-1}	700 - 800
12.	Тип палива	Дизельне
13.	Тип системи охолодження	Рідинна
14.	Система мащення	Комбінована: під тиском і розбризкуванням
15.	Паливний насос високого тиску	ЯЗДА 773-20.05Э2
16.	Форсунки	455.1112010-50

4.4.2 Розробка схеми експериментальної установки

Дослідження проводили на експериментальній стендовій моторній установці (рис. 4.5), яка включає дизель 1, електричний навантажувальний стенд 2, витратомір палива 3, витратомір повітря 4, систему випуску двигуна 5, пристрій для відбору проб газоподібних викидів з відпрацьованими газами 6, фазоакустичний датчик температури 7, систему аналізу емісії твердих частинок 8, димомір 9, газоаналітичну систему 10 та витяжний насос системи відводу відпрацьованих газів 11.

Значення крутного моменту та частоти обертання вала дизеля вимірювали електричним навантажувальним стендом Zöllner тип B-350AC (рис. 4.5 та 4.6) виробництва фірми *Zöllner*. Частота обертання вала дизеля в режимах холостого ходу вимірювалась тахометром дизельним GE-571 виробництва фірми *ONO SOKKI*.

Витрату палива вимірювали витратоміром палива коріолісового типу FlexCOR CMF-BEQ0B1AWCJ2100A виробництва *Fluid Components Internationals LLC (FCI)*.

Кількість повітря, що поступає у впускний трубопровід двигуна вимірювали ротаційним витратоміром повітря (лічильником газу) РГ-250.

Температури повітря на вході двигуна, води у системі охолодження та палива на вході у ПНВТ вимірювали термоперетворювачами опору HEL-705. Температуру моторної оливи вимірювали у картері двигуна за допомогою термоперетворювача опору мотор-тестера FSA-560 діагностичного комплексу BOSCH. Температуру ВГ у випускному трубопроводі вимірювали хромель-алюмельовими (ХА) термопарами ТП-0198/1 і контролювалася мультиметром МУ64.

Розрідження у системі впуску вимірювали мановакуумметром MB-1000, а протитиск системи випуску робочим еталоном - манометром мод.11202.

Для вимірювання викидів газоподібних шкідливих речовин з відпрацьованими газами використовували газоаналітичну систему MEHA-7400DEGR (рис. 4.7) виробництва *Horiba Ltd*. Концентрації оксиду вуглецю CO та двооксиду вуглецю CO₂ визначали методом інфрачервоної спектроскопії. Концентрації загальних вуглеводнів HC визначали методом полум'яно-іонізаційного допалювання. А концентрації оксидів азоту NO_x визначали хемілюмінесцентним методом.

Відбір проби ВГ, її підготовку та пропускання через фільтри, під час визначення викидів твердих частинок з відпрацьованими газами, здійснювали за допомогою універсальної системи аналізу емісії частинок MT-010 (рис. 4.8) виробництва ДП «ДержавтотрансНДІпроект». Визначення маси твердих частинок виконували шляхом зважування фільтрів для твердих частинок до і після проведення випробування за допомогою лабораторних електронних ваг SE2-F (рис. 4.9) виробництва фірми *Sartorius*.

Вимірювання димності відпрацьованих газів дизеля здійснювали за допомогою димоміру Hartridge Mk-3 (рис. 4.10) виробництва фірми *Hartridge*.

У якості діагностичного приладу, для вимірювання температури відпрацьованих газів на виході з вихлопної труби в режимах холостого ходу, використовували макетний зразок фазоакустичного датчика температури (рис. 4.11) у складі з трансляційним підсилювачем звукових коливань У-100У4.2 (рис. 4.12) та восьмиканальним осцилографом MT Pro.

Для моделювання відмов вузлів та систем дизеля використовували стенд для випробовування і регулювання паливної апаратури дизелів NC 128-3208 (рис. 4.13) та прилад для випробування та регулювання форсунок типу 2052240 (рис. 4.14).

Для контролювання параметрів використовували прилади та обладнання, що відповідають вимогам ГОСТ 14846-81, Правил ООН №24-03, Правил ООН №49-02, ДСТУ 4276:2005 та ГОСТ 21393-75.

Зовнішній вигляд обладнання наведено у рисунках 4.5 – 4.14, а їх технічні характеристики та показники точності у таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 - Випробувальне обладнання, засоби вимірювальної техніки та показники їх точності

№ п/п	Назва ВО і ЗВТ, тип, марка, номер	Показники, що визначалися	Діапазон вимірювання	Границя допустимої основної похибки
1.	Стенд електричний навантажувальний Zöllner, тип В-350АС зав.№2260. інв.№308	Частота обертання	100...6500 хв ⁻¹	± 3 хв ⁻¹
		Крутний момент	0...199 Н·м, 200...2000 Н·м	± 1Н·м, ± 2Н·м
2.	Витратомір палива FlexCOR CMF-BEQ0B1AWCJ2100A зав. № 237510. інв. № 4167	Витрата палива	0...12 кг/год	± 1%
			12...250 кг/год	± 0,5%
3.	Витратомір повітря РГ-250 Зав. № 0441. Інв. № 5495	Витрата повітря	0...250 м ³ /год	± 1,5 %
4.	Барометр-анероїд БАММ-1 зав. № 8380, інв. № 1330,	Атмосферний тиск	81...106 кПа	± 0,17 кПа
5.	Прилад кліматичного контролю, електронний TESTO 608 – Н2 Зав. № 3003502. Інв. № 5083	Відносна вологість повітря	(2... 98) %	± 2 %
		Температура повітря	(-10... + 70)°С	± 0,5°С
6.	Манометр мод.11202 зав.№ 10500, інв.№ 5520	Протитиск у системі випуску	0...1 кг/см ²	± 0,4 %
7.	Мановакуумметр МВ-1000, зав.№б/н, інв.№ 10350	Розрідження у системі впуску	0...10000 Па	± 10 Па
8.	Термоперетворювачі опору HEL-705 (3 шт.), зав.№б/н; інв.№б/н	Температури охолодної рідини, повітря в системі впуску, палива	(-200)...280 °С	±0,25 °С
9.	Мультиметр МУ64, зав.№20000425293 інв.№1769	Температура ВГ	0...1000 °С	± 20 °С
10.	Перетворювач термоелектр. ТП-0198/1 (5 шт.), зав.№483; інв.№б/н	Температура ВГ	(-40)...333 °С	±2,5 °С
			333...1100 °С	±0,0075t °С
11.	Діагностичний комплекс BOSCH, Мотор-тестер FSA-560, зав. № 65064222, інв.№ 3701	Температура моторної оливи	(-20)...150 °С	± [0,01 (N – 25) + 1] °С
12.	Секундомір СОСпр-26-2-010 зав. № 7131; інв. № 11173	Час	0...60,0 хв	± 0,2 с 2 кл.
13.	Тахометр дизельний GE-571 Зав. № 10508151. Інв. № 319	Частота обертання вала дизеля	400...6000 хв ⁻¹	± 1 хв ⁻¹

№ п/п	Назва ВО і ЗВТ, тип, марка, номер	Показники, що визначалися	Діапазон вимірювання	Границя допустимої основної похибки
14.	Стенд для випробовування і регулювання паливної апаратури дизелів NC 128-3208 Зав. № 128DS0114 Інв. № 325	Частота обертання вала ПНВТ	0...9999 хв ⁻¹	± 1 хв ⁻¹
		Кількість ходів плунжера (циклів)	50...900 ходів	± 1 хід
		Об'єм подачі палива	0...40 мл	± 0,2 мл
		Кут початку впорскування	0...360 °	± 0,25°
		Температура технол. рідини	10...60 °C	± 1 °C
15.	Прилад для випроб. та регулювання форсунок тип 2052240, Зав. №9210. інв. №3875	Тиск початку впорскування палива	0...400 кг/см ²	±0,15 %
16.	Універсальна система аналізу емісії частинок МТ-010 Зав. № 001 Інв. № 4789	Витрата проби ВГ	0,4...25,8 л/хв	± 2,5 %
		Витрата сумарної проби ВГ і повітря	11,3...51,6л/хв	± 1,5 %
17.	Ваги лабораторні електронні SE2-F, Зав. № 19502617 Інв. № 4778	Маса фільтру твердих частинок	0,1...2100 мг	± 0,0005 мг, розряд 1а
18.	ДимомірHartridge МК-3 Зав. № 742-5347Н. Інв. № 321	Натуральний показник поглинання <i>K</i>	0...∞ м ⁻¹	± 0,05 м ⁻¹
		Лінійний показник поглинання <i>N</i>	0...100 %	± 2 %
19.	Газоаналітична система МЕХА-7400DEGR, Зав. № 4301482001, Інв. № 4440	Вміст СО у пробі газу	0...0,2 % 0,2...0,5 %	±0,01% (абс.) ±2 %
		Вміст СО у пробі газу	0...0,6 % 0,6...12 %	± 0,03 % (абс.) ±2 %
		Вміст СО ₂ у пробі газу	0...10 % 10...20 %	± 0,5 % (абс.) ±2 %
		Вміст С _м Н _п у пробі газу	0...0,02 % 0,02...0,5 %	± 0,001 % (абс.) ±2 %
		Сумарний вміст NO _x у пробі газу	(0...0,04) % (0,04...0,5) %	± 0,002 % (абс.) ±2,2%



Рисунок 4.5 – Шафа керування та система збору даних
стенду Zöllner

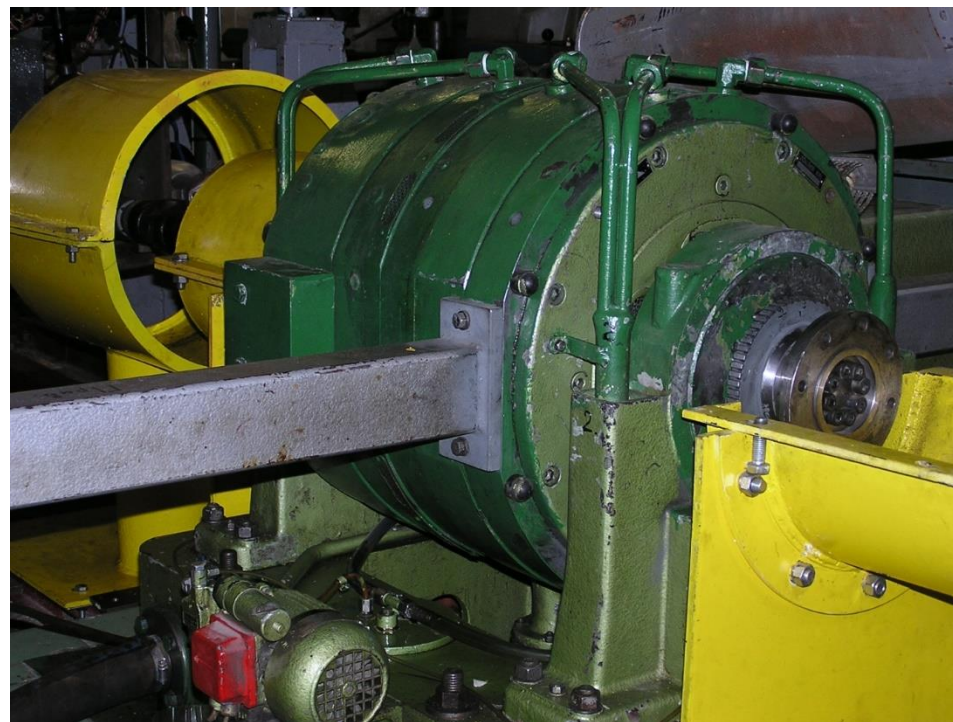


Рисунок 4.6 – Електричний навантажувальний стенд Zöllner



Рисунок 4.7 – Газоаналітична система Noriba MEHA-7400DEGR



Рисунок 4.8 – Універсальна система аналізу емісії частинок MT-010



Рисунок 4.9 – Ваги лабораторні електронні Sartorius SE2-F
для зважування фільтрів з твердими частинками



Рисунок 4.10 – Димомір Hartridge Mk-3

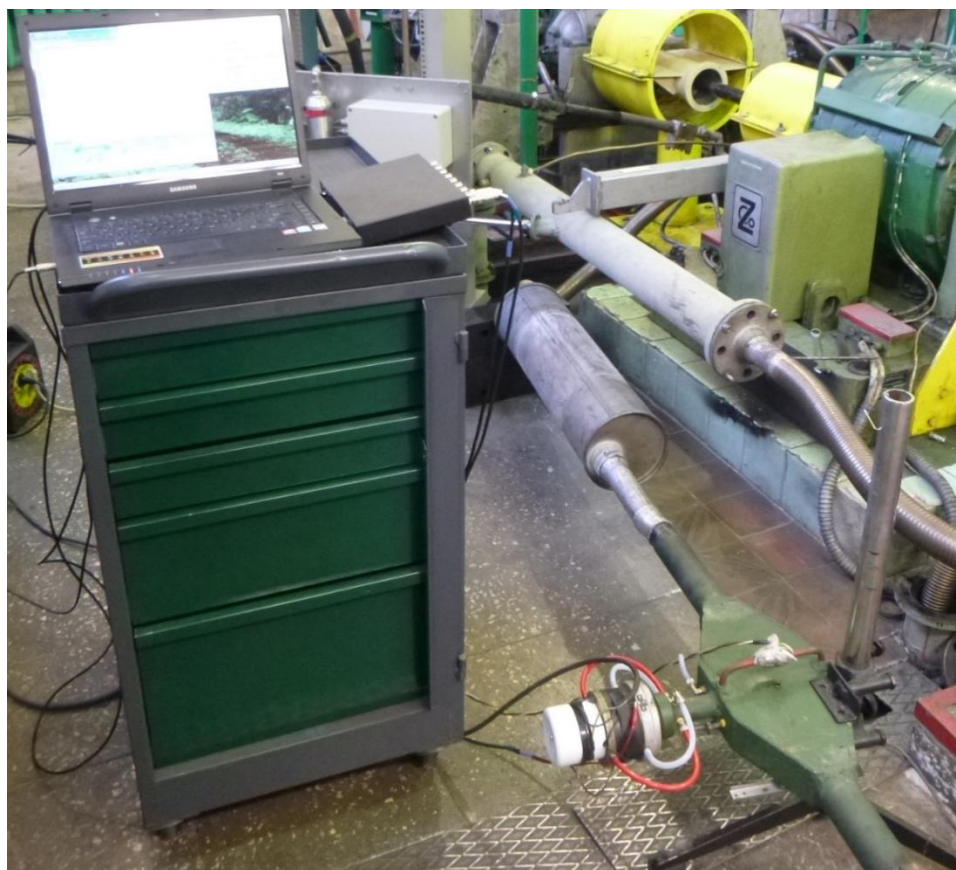


Рисунок 4.11 – Макетний зразок фазоакустичного датчика температури у складі з осцилографом MT Pro



Рисунок 4.12 – Трансляційний підсилювач звукових коливань У-100У4.2



Рисунок 4.13 – Стенд для перевірки та регулювання ПНВТ
дизелів Motorpal NC-128



Рисунок 4.14 – Стенд для перевірки та регулювання
дизельних форсунок

4.5 Вплив конструктивних параметрів випускної системи дизеля та температури повітря оточуючого середовища на значення діагностичного параметру температура ВГ

Термодинамічний процес теплопередачі [97, 116] призводить до зменшення температури ВГ під час їх проходження через систему випуску двигуна. Ця зміна температури ВГ залежить, перш за все, від конструктивних параметрів випускної системи дизеля та температури повітря оточуючого середовища [117].

На відміну від конструктивних параметрів випускної системи дизеля, які є не змінними для певної моделі чи модифікації КТЗ, температура повітря оточуючого середовища не є постійною, і може змінюватися в широких межах в залежності від пори року та погодних умов, що, в свою чергу, здійснює певний вплив на миттєві значення температурних імпульсів, при їх вимірюванні на виході випускної труби транспортного засобу під час діагностування.

Конструктивні параметри випускної системи дизеля обумовлюються її площею поверхні теплообміну між відпрацьованими газами, самою випускною системою та повітрям оточуючого середовища.

Саме температура повітря оточуючого середовища завдає основного впливу на значення вимірюваного параметру, оскільки від її значення залежить кількісна величина теплообміну між відпрацьованими газами, випускною системою двигуна та повітрям оточуючого середовища, і, як наслідок, температура ВГ на виході з випускної системи.

Площа поверхні теплообміну випускної системи дизеля транспортного засобу вираховується за її конструктивними параметрами, а саме, геометричними розмірами її складових частин (труб та глушників шуму).

$$t_{\text{в}} = t_a + (t_{\text{п}} + t_a)e^{-\alpha L}, \quad (4.1)$$

де t_a – температура атмосферного повітря;

t_n – початкова температура ВГ на вході у випускную систему;

e – основа натурального логарифма;

L – довжина труби випускної системи;

α – параметр, який характеризує теплопередачу від ВГ до труби випускної системи та далі до атмосферного повітря:

$$\alpha = \frac{k\pi d}{c_p g a} . \quad (4.2)$$

Експериментальне дослідження впливу температури повітря оточуючого середовища на температуру відпрацьованих газів дизеля Mercedes-Benz OM 615 на виході з випускної системи в режимах холостого ходу здійснювали при температурі навколишнього повітря в межах від 6°C до 24°C. Результати проведених досліджень наведено на рис. 4.15.

Оскільки експрес-діагностування дизелів передбачається виконувати в режимах холостого ходу, то частота обертання колінчастого вала двигуна задавалася в режимах мінімальної, середньої та підвищеної частоти обертання холостого ходу, а саме - 850 хв⁻¹, 2000 хв⁻¹ та 3000 хв⁻¹.

Температура ВГ у випускній системі дизеля вимірювалася за допомогою термопар у двох точках, перша (t_{BG1}) – згідно з вимогами ГОСТ 14846-81 [33], а друга (t_{BG2}) - на виході з випускної системи.

Згідно з результатами вимірювання, зменшення температури повітря оточуючого середовища ($t_{нов}$) призводить до зменшення температури ВГ на виході з випускної системи двигуна, та , як наслідок, збільшення різниці між температурою ВГ в першій та другій точках вимірювання на всіх режимах холостого ходу двигуна. Це пов'язано зі збільшенням втрат тепла внаслідок збільшення різниці між температурою ВГ та температурою оточуючого середовища.

Так, при частоті обертання вала двигуна 850 хв⁻¹ (рис. 4.15. а) зменшення температури повітря оточуючого середовища з 24°C до 6°C

призвело до зменшення температури ВГ дизеля на виході з випускної труби на 12°C (11%) зі 109°C до 97°C.

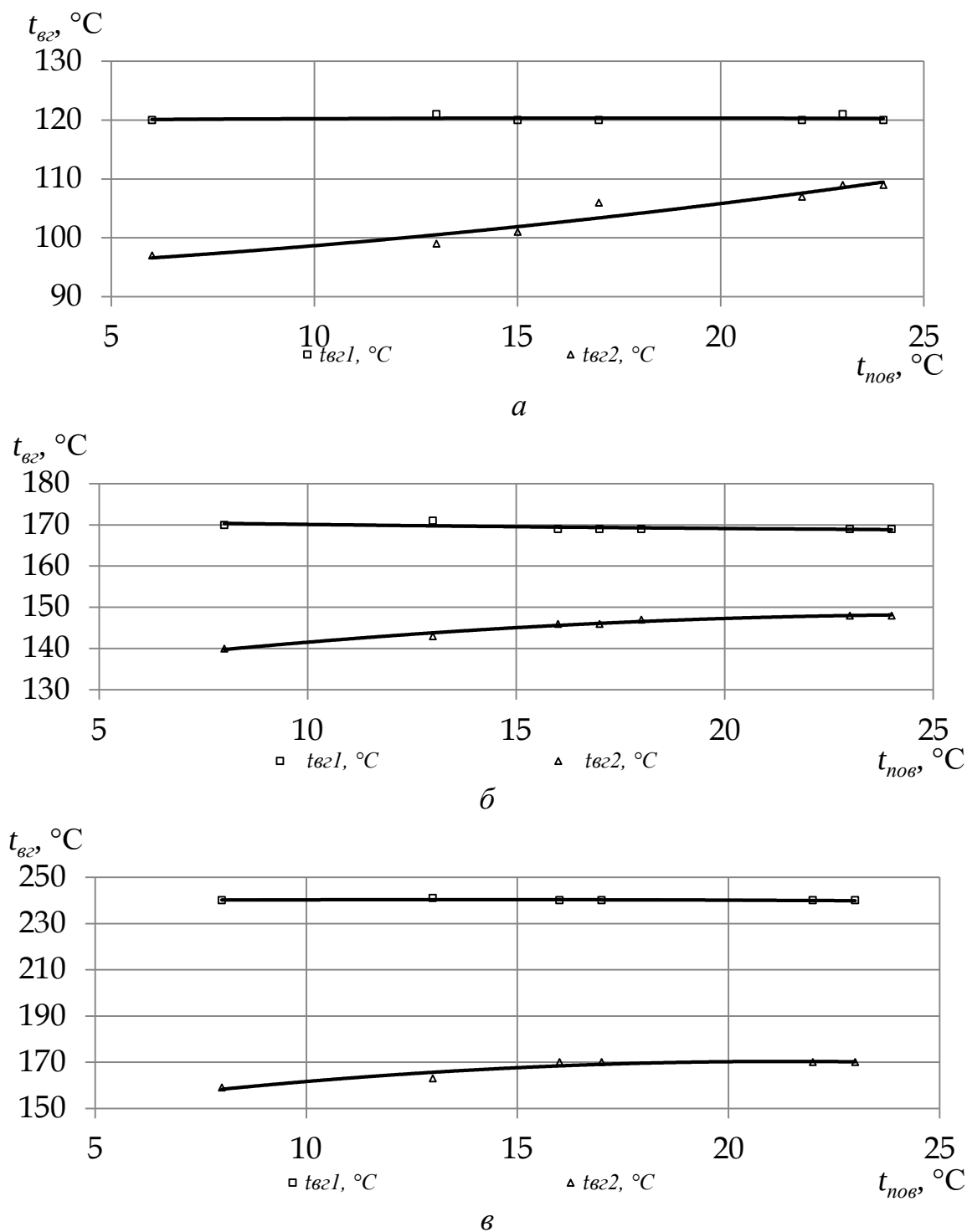


Рисунок 4.15 – Залежність температури ВГ дизеля Mercedes-Benz OM 615 на виході з двигуна ($t_{\text{дз1}}$) та на виході з його системи випуску ($t_{\text{дз2}}$) від температури повітря оточуючого середовища ($t_{\text{ноб}}$) при частотах обертання вала двигуна в режимах холостого ходу 850 хв⁻¹ (*a*), 2000 хв⁻¹ (*б*) та 3000 хв⁻¹ (*в*)

При частоті обертання вала двигуна 2000 хв^{-1} (рис. 4.15. б) зменшення температури повітря оточуючого середовища з 24°C до 8°C призвело до зменшення температури ВГ дизеля на виході з випускної труби на 8°C (5,4%) зі 148°C до 140°C , а при частоті обертання вала двигуна 3000 хв^{-1} (рис. 4.15. в), зменшення температури ВГ становило 11°C (6,5%) зі 170°C до 159°C при зменшенні температури повітря оточуючого середовища з 23°C до 8°C .

Згідно з отриманими результатами, вплив температури оточуючого середовища на зміну температури ВГ при їх проходженні повздовж системи випуску КТЗ має більше значення при мінімальних оборотах холостого ходу двигуна ніж при середніх та підвищених, що пояснюється більшою швидкістю ВГ у випускній системі, та, як наслідок, меншими втратами тепла.

Зменшення температури повітря оточуючого середовища до 16°C не має суттєвого впливу на зміну температури ВГ на виході з системи випуску КТЗ, і тому, не потребує врахування при визначенні миттєвих значень температурних імпульсів ВГ під час діагностування.

Таким чином встановлено, що площа поверхні теплообміну між відпрацьованими газами, випускною системою та повітрям оточуючого середовища, а також, швидкість потоку відпрацьованих газів мають вплив на значення діагностичного параметру (температуру ВГ).

Визначення впливу температури повітря оточуючого середовища на значення цього діагностичного параметру необхідне для визначення коефіцієнта поправки, за допомогою якого отримані під час діагностування значення температурних імпульсів будуть приводитися до однієї (базової) температури повітря оточуючого середовища, а вже потім, порівнюватися з нормативним значенням.

Таке коригування значень температурних імпульсів є необхідним тільки при таких значеннях температури повітря оточуючого середовища, при яких вона має суттєвий вплив на зміну температури ВГ на виході з системи випуску КТЗ. Встановлено, що для дизеля Mercedes-Benz OM 615

такими значеннями температури повітря оточуючого середовища є температури нижчі за 16 °С.

4.6 Експериментальне визначення впливу відмов систем та механізмів дизеля на екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів

Стендові моторні випробування дизеля.

Несправності, що виникають в двигунах призводять до порушення його нормального функціонування. Такі несправності проявляються зміною параметрів, що характеризують показники роботи двигунів, які виявляються під час діагностування різноманітними методами та засобами за допустимими значеннями. Дослідження впливу відмов та несправностей на показники роботи двигуна, які описано у першому розділі дисертаційної роботи, показують, що відхилення технічного стану дизеля від нормального призводить до зміни потужності двигуна, витрати палива, димності та температури відпрацьованих газів тощо.

З метою визначення відповідності двигуна Mercedes-Benz OM 615 технічним характеристикам заводу-виробника (табл. 4.3) та встановлення значень максимальної потужності, максимального крутного моменту, годинної та питомої витрат палива, які в дослідженнях прийнято за базові (отримані у технічно справному стані), експериментальні стендові дослідження було розпочато з визначення зовнішньої швидкісної характеристики (рис. 4.16) згідно з ГОСТ 14846-81 [30].

Отримані, за зовнішньою швидкісною характеристикою, значення максимальної потужності (N_{emax}) та максимального крутного моменту (M_{kmax}) дизеля Mercedes-Benz OM 615, свідчать про їх відповідність даним виробника, наведеним у таблиці 5. Максимальна потужність та максимальний крутний момент дизеля є меншими від нормативних значень виробника на 4,3 % та 3,5 % відповідно, та згідно з ГОСТ 14846-81

відповідають вимогам періодичних випробувань. Також, результати випробувань, отримані під час визначення зовнішньої швидкісної характеристики, підтверджують прямий зв'язок температури відпрацьованих газів (T_{BG}) дизеля з його ефективною потужністю (N_e), крутним моментом (M_k), годинною ($G_{нал}$) та питомою (g_e) витратами палива.

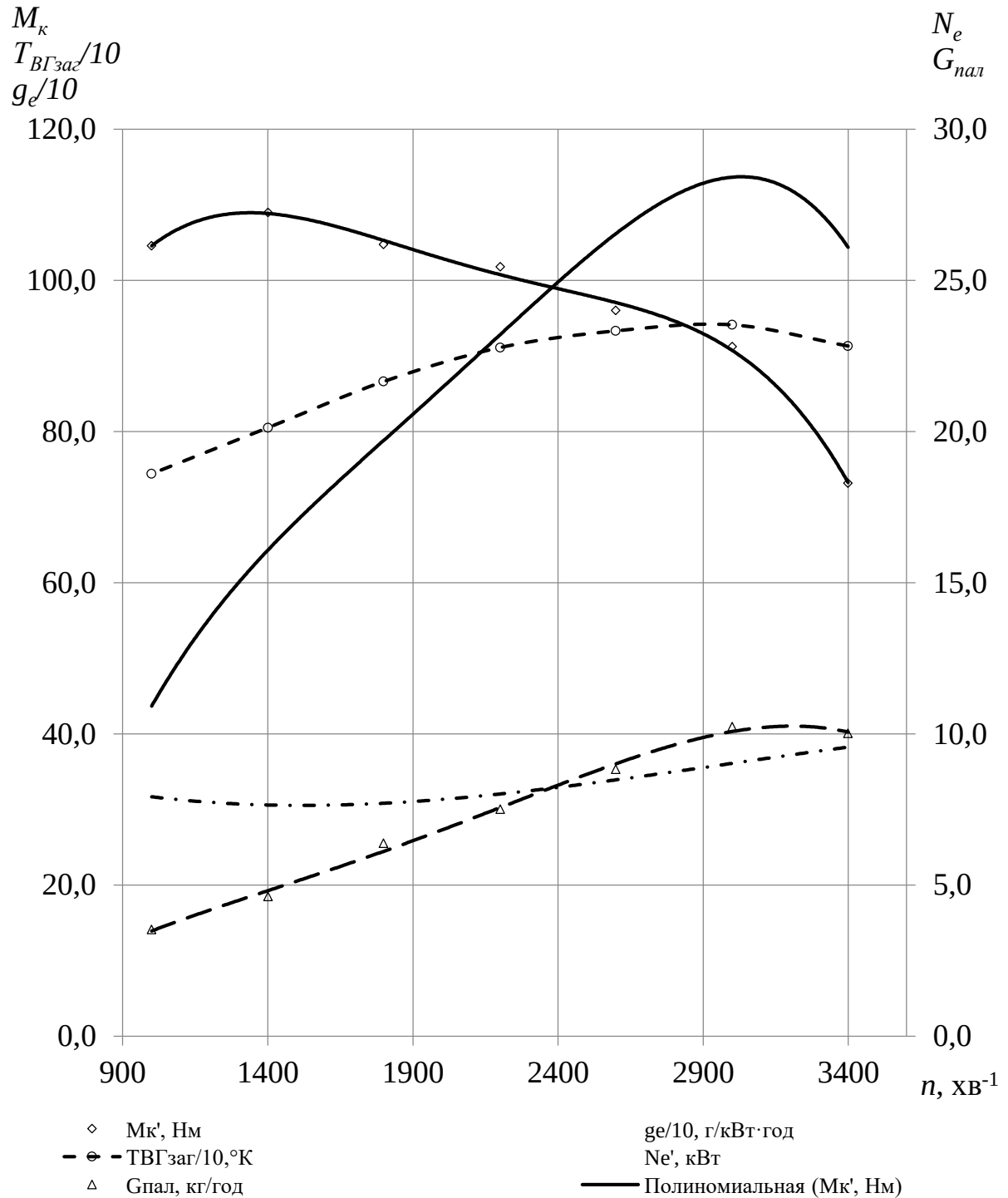


Рисунок. 4.16 - Зовнішня швидкісна характеристика двигуна Mercedes-Benz

OM 615

Вплив кута випередження впорскування палива на енергетичні, екологічні показники та паливну економічність дизеля Mercedes-Benz OM 615, а також, на димність і температуру його ВГ наведено на рисунках 4.17 - 4.33.

Згідно з наведеними даними (рис. 4.17, 4.18 та 4.19), відхилення кута випередження впорскування палива, як в більшу так і в меншу сторони, від нормативного значення, яке становить 18° повороту колінчастого вала (далі - ПКВ) до ВМТ, призводить до зменшення максимальної потужності (N_{emax}), максимального крутного моменту (M_{kmax}), та збільшення питомої витрати палива (g_e) і температури відпрацьованих газів (T_{BG}). Годинна витрата палива ($G_{нал}$) змінювалася в межах похибки експерименту (рис. 4.19).

Встановлено, що в режимі максимальної потужності (рис. 4.17 та 4.19) збільшення кута випередження впорскування палива від нормативного значення на 4° ПКВ двигуна призвело до незначного (на 0,5%) зниження N_{emax} та збільшення на 1,5% питомої витрати палива g_e . Збільшення кута на 7° ПКВ призводить до зниження N_{emax} на 5,4% та збільшення на 1,9% питомої витрати палива g_e . В режимі максимального крутного моменту (рис. 4.18 та 4.19) таке збільшення кута випередження впорскування палива (на 4° та 7° ПКВ) призводить до зменшення M_{kmax} на 2,9% та 7,1% відповідно, та збільшення питомої витрати палива g_e на 3,0% та 7,9% відповідно.

Зменшення кута випередження впорскування палива від нормативного значення на 3° , 5° та 9° ПКВ двигуна призвело до:

- зменшення в режимі максимальної потужності (рис. 4.17 та 4.19) N_{emax} на 3,9, 7,9 і 17,2 % відповідно та збільшення питомої витрати палива g_e на 5,0, 13,6 і 20,9 % відповідно;

- зменшення в режимі максимального крутного моменту (рис. 4.18 та 4.19) M_{kmax} на 2,7, 2,4 і 8,0 % відповідно та збільшення питомої витрати палива g_e на 3,4, 3,5 і 8,4 % відповідно.

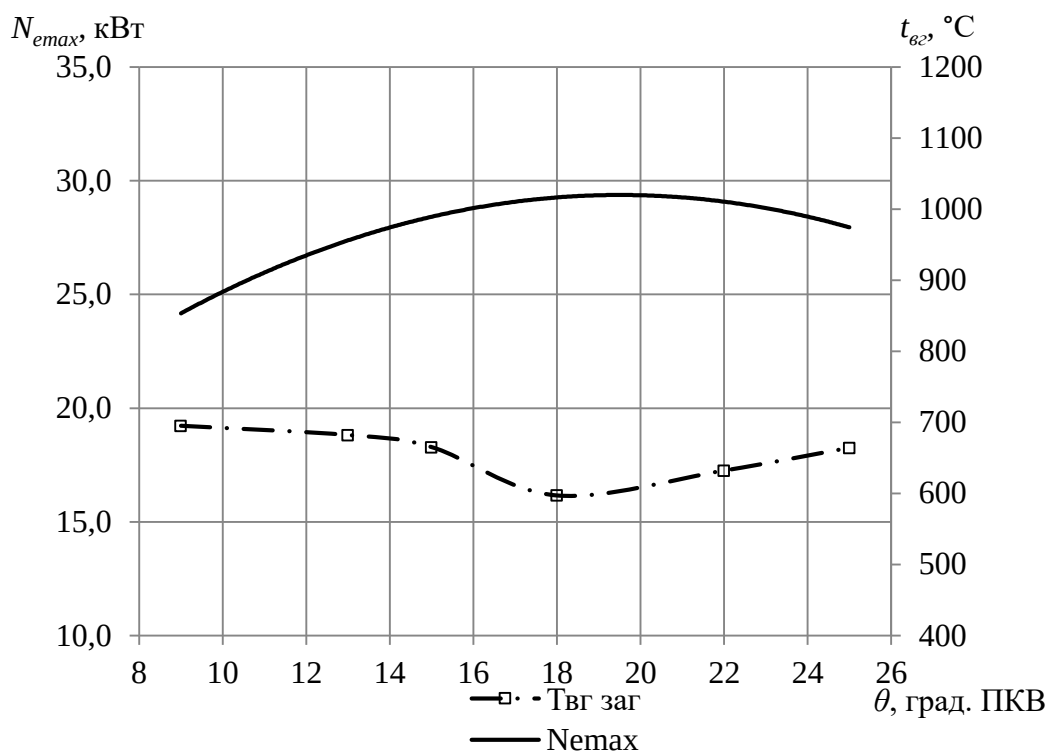


Рисунок 4.17 - Залежність максимальної потужності (N_{max}) та температури ВГ (T_{BG}) дизеля від кута випередження впорскування палива

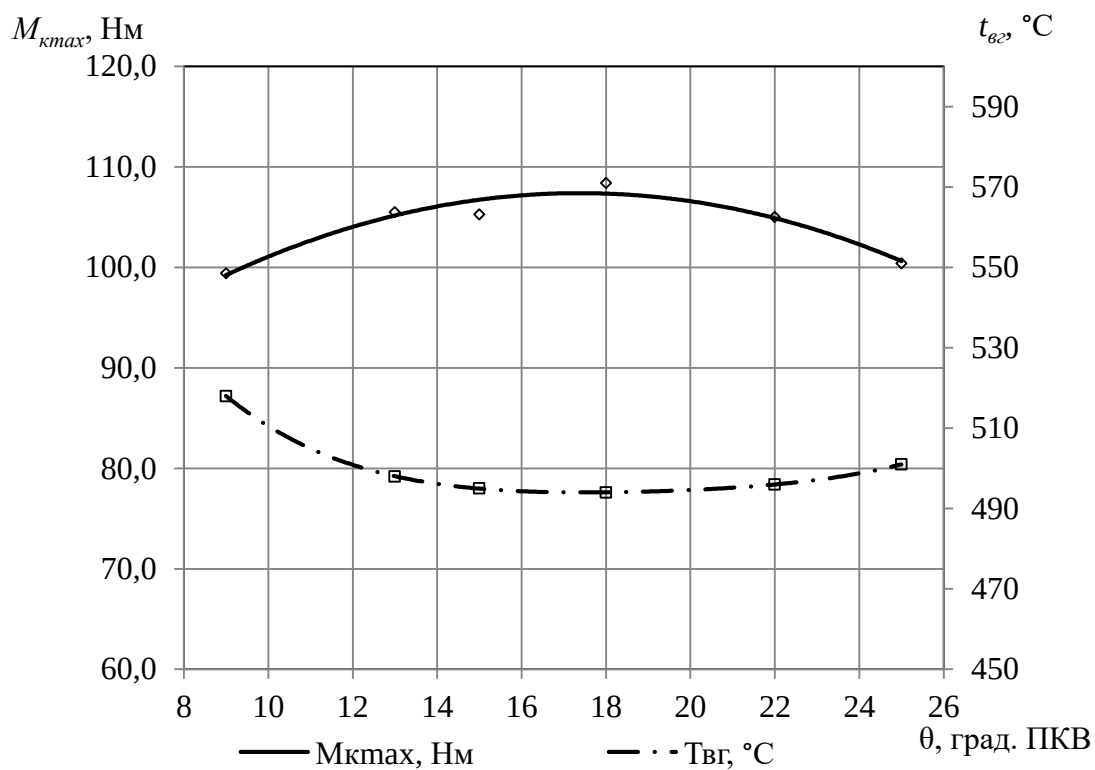


Рисунок 4.18 - Залежність максимального крутного моменту (M_{max}) та температури ВГ (T_{BG}) дизеля від кута випередження впорскування палива

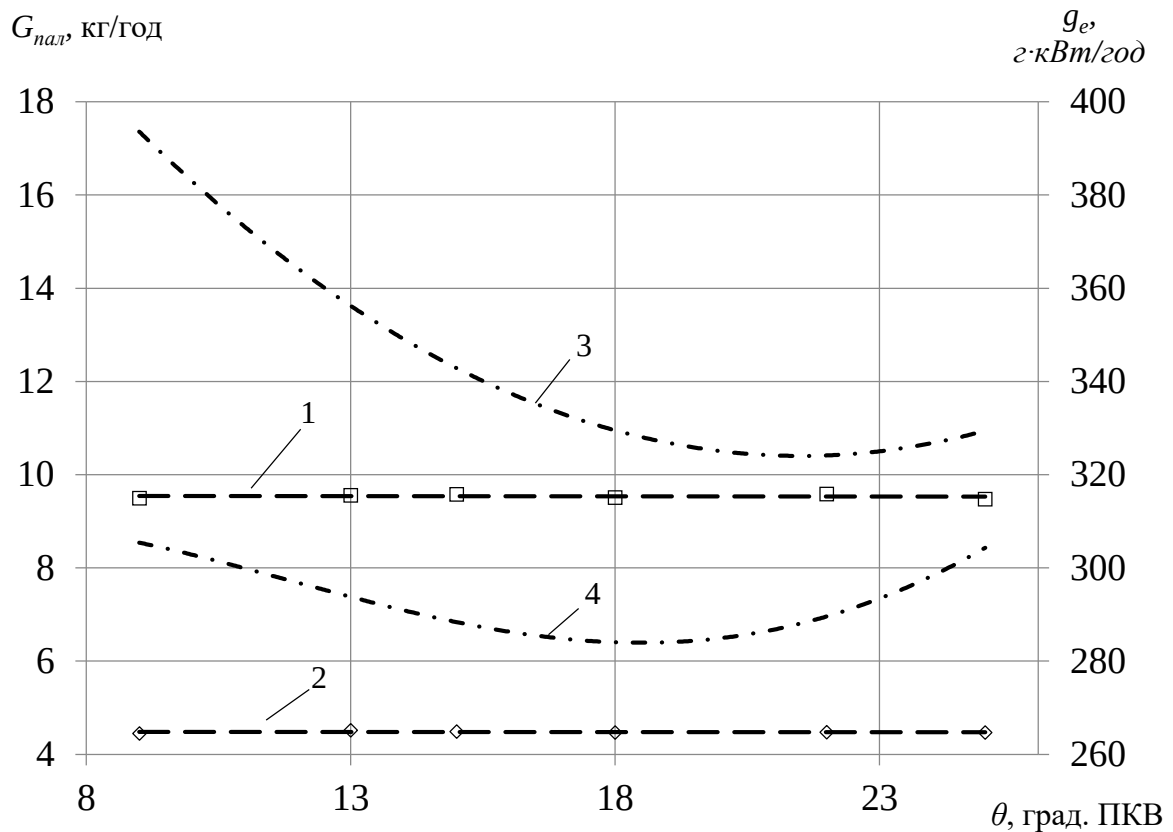


Рисунок 4.19 - Залежність масової годинної ($G_{нал}$) та питомої (g_e) витрат палива дизеля від кута випередження впорскування палива, де: 1, 2 - $G_{нал}$, а 3, 4 - g_e відповідно в режимах $N_{етмах}$ та $M_{ктах}$

За результатами випробування дизеля встановлено, що:

- 1) в режимі максимальної потужності (рис. 4.20) збільшення кута випередження впорскування палива від нормативного значення на 4° та 7° ПКВ двигуна призвело до:
 - збільшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 92,1% та у 3,3 рази відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) на 47,4 та 33,1% відповідно, і димності ВГ (N) на 64,0% (відносних) та у 2,2 рази відповідно;
 - зменшення концентрацій оксидів азоту (NO_x) у ВГ на 1,6 та 5,6% відповідно.
- 2) в режимі максимального крутного моменту (рис. 4.21) таке збільшення кута випередження впорскування палива призвело до:

- збільшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 13,0 та 97,6% відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) на 38,5 та 15,4% відповідно, і димності ВГ (N) на 35,0 та 57,5% (відносних) відповідно;
- зменшення концентрацій оксидів азоту (NO_x) у ВГ на 5,5 та 11,6% відповідно.

3) в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу двигуна (рис. 4.22) відповідне збільшення кута випередження впорскування палива призвело до:

- збільшення концентрацій оксидів азоту (NO_x) у ВГ на 24,7 та 43,4% відповідно, температури відпрацьованих газів ($T_{\text{ВГ}}$) на 5° та 18° відповідно;
- зменшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 22,8 та 31,0% відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) на 54,6% при куті випередження впорскування палива що становив 25° ПКВ до ВМТ;
- димність ВГ (N) змінювалася в межах похибки вимірювання.

4) зменшення кута випередження впорскування палива від нормативного значення на 3° , 5° та 9° ПКВ двигуна в режимі максимальної потужності (рис. 4.20) призвело до:

- збільшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 28,8; 38,9 та 56,6% відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) на 1,2% та у 3,4 і 7,7 рази відповідно, і димності ВГ (N) на 0; 8,0 та 44,0% (відносних) відповідно;
- зменшення концентрацій оксидів азоту (NO_x) у ВГ на 5,2; 17,0 та 29,2% відповідно.

5) в режимі максимального крутного моменту (рис. 4.21) відповідне зменшення кута випередження впорскування палива призвело до:

- зменшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 34,5; 43,9 та 36,0% відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) на 14,2 та димності ВГ (N) на 2,5% при куті випередження впорскування палива що

становив 15° ПКВ до ВМТ, а також, оксидів азоту (NO_x) на 14,8% при куті випередження впорскування палива що становив 9° ПКВ до ВМТ;

- збільшення концентрацій сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) у 2,9 та 5,7 рази при куті випередження впорскування палива що становив 13° та 9° ПКВ до ВМТ відповідно, оксидів азоту (NO_x) на 10,6 та 3,2% при куті випередження впорскування палива що становив 15° та 13° ПКВ до ВМТ відповідно, а також, димності ВГ (N) на 2,5% при куті випередження впорскування палива що становив 9° ПКВ до ВМТ;

б) в режимі мінімальної частоти обертання холостого ходу двигуна (рис. 4.22) таке зменшення кута випередження впорскування палива призвело до:

- збільшення концентрацій у ВГ монооксиду вуглецю (CO) на 75,8 та у 8,4 та 12,2 рази відповідно, сумарних (загальних) вуглеводнів (HC) у 2,8, 25,1 та, майже, у 60 раз відповідно, димності ВГ (N) на 14,3% та у 11,4 і 14,3 рази відповідно, а також, температури відпрацьованих газів (T_{BG}) на 14° , 17° та 28° відповідно.
- зменшення концентрацій оксидів азоту (NO_x) у ВГ на 26,8, 47,7 та 62,5% відповідно.

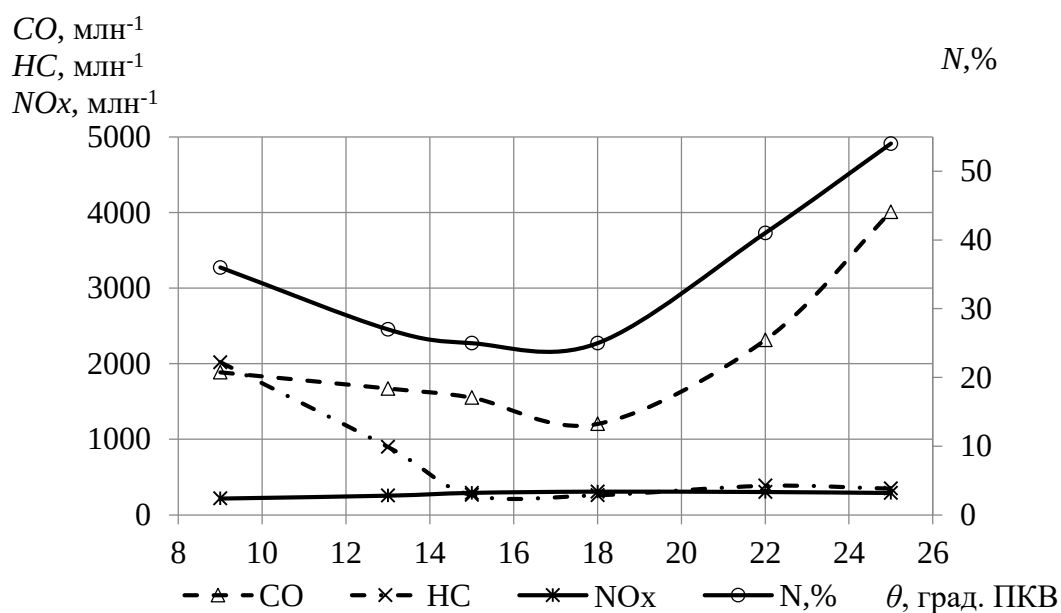


Рисунок 4.20 - Залежність концентрацій ШР дизеля в режимі N_{emax} від кута випередження впорскування палива, θ , град. ПКВ до ВМТ

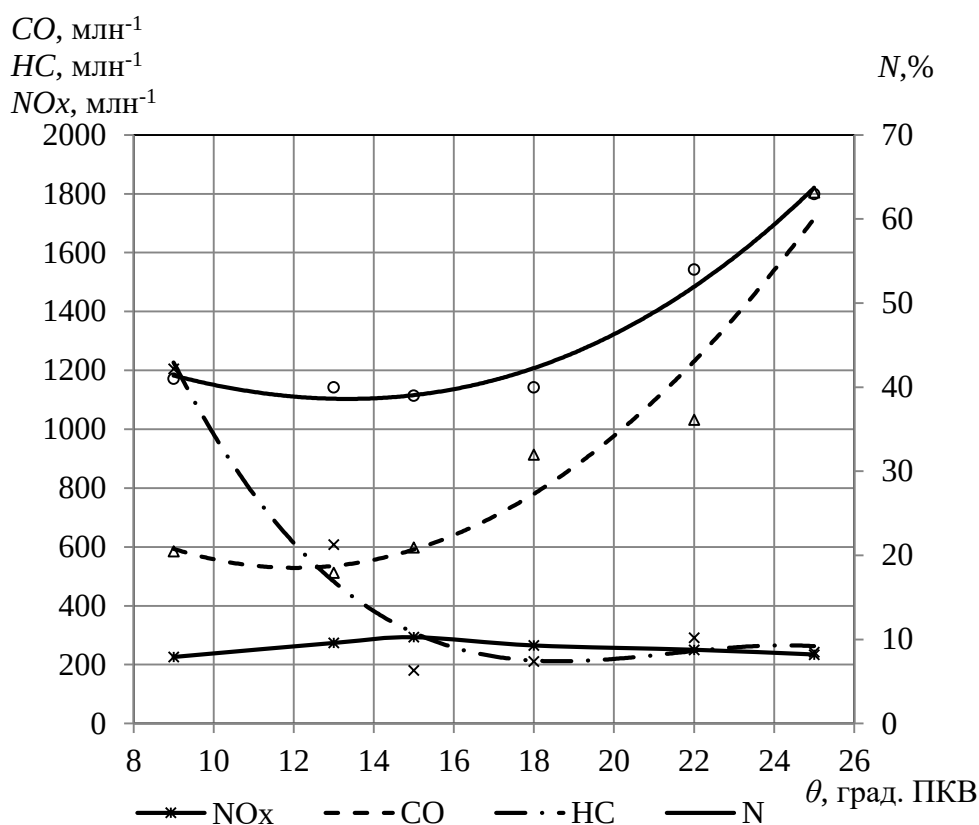


Рисунок 4.21 - Залежність концентрацій ШР дизеля в режимі M_{kmax} від кута випередження впорскування палива, θ , ° ПКВ до ВМТ

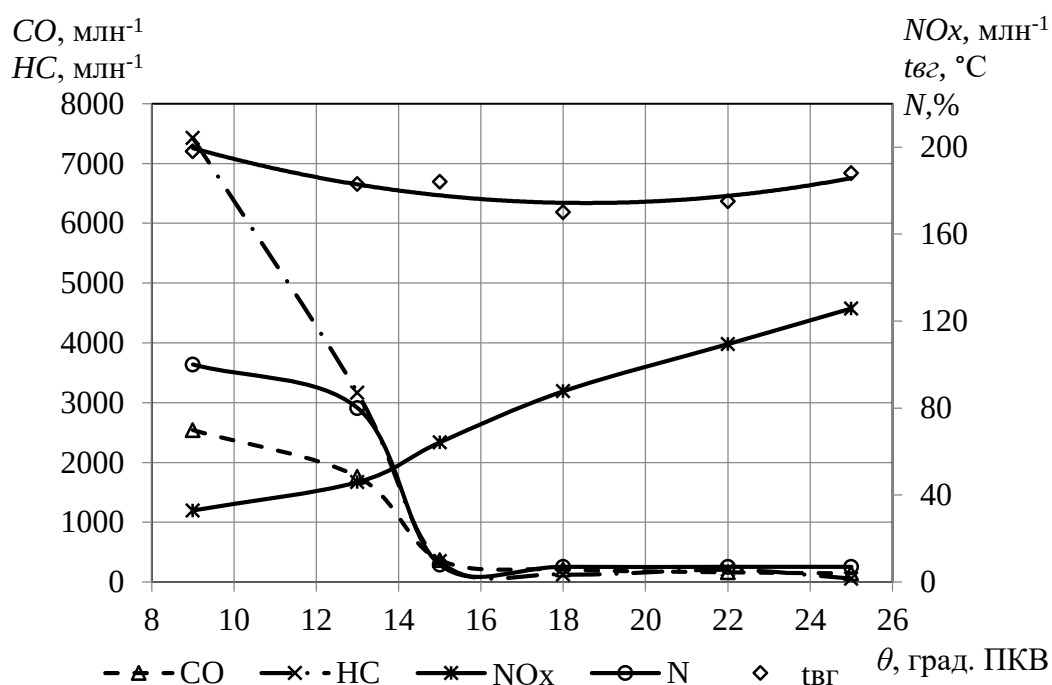


Рисунок 4.22 - Залежність концентрацій ШР та температури ВГ (T_{BG}) дизеля в режимі холостого ходу від кута випередження впорскування палива, θ , град. ПКВ до ВМТ

В режимі вільного прискорення зміна кута випередження впорскування палива, як в сторону збільшення, так і в сторону зменшення, призводила до збільшення димності ВГ (N) дизеля (рис. 4.23). Збільшення кута випередження впорскування палива від нормативного значення на 4° та 7° ПКВ двигуна призвело до збільшення димності ВГ на 55,6% (відн.) та у 2,6 рази відповідно, а зменшення кута випередження впорскування палива на 3° , 5° та 9° ПКВ двигуна призвело до збільшення димності ВГ на 16,7% (відн.), 61,1% (відн.) та у 4,9 рази відповідно.

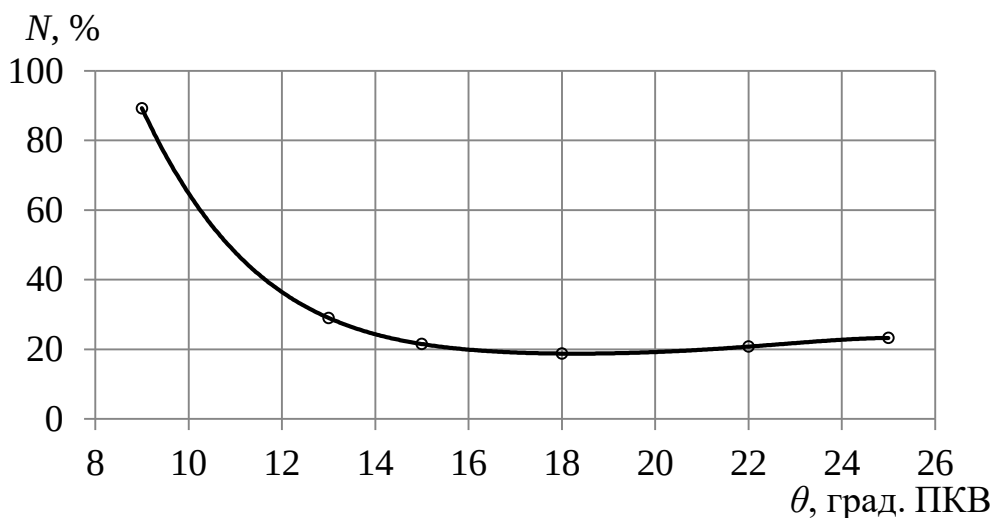


Рисунок 4.23 - Залежність димності ВГ дизеля в режимі вільного прискорення від кута випередження впорскування палива (θ)

Оцінювання впливу зміни кута випередження впорскування палива на димність ВГ (N) дизеля за режимами навантажувальних характеристик двигуна показало, що:

- при частоті обертання двигуна 3000 хв^{-1} (рис. 4.24) та кутах випередження впорскування палива 22° та 25° ПКВ спостерігається значне підвищення димності ВГ (N) (від 20% відн. до більше ніж у 2,5 рази) на всіх режимах навантажувальної характеристики дизеля. Зменшення кута випередження впорскування палива до 13° та 15° ПКВ не дає однозначного впливу на димність ВГ (димність змінюється в межах від 4% до 8% як в більшу так і в меншу сторони). Зменшення кута випередження впорскування палива до 9° ПКВ збільшує димність ВГ на 44% відн., 83% відн та у 2 рази при

- 100%, 25% та 10% навантаження відповідно, при 50% та 75% навантаження спостерігається незначне зменшення димності ВГ (на 17,6% відн. та 6,7% відн. відповідно);
- при частоті обертання двигуна 1400 хв^{-1} (рис. 4.25) та куті випередження впорскування палива 25° ПКВ спостерігається підвищення димності ВГ (N) від 50 % відн. до двох раз на всіх режимах навантажувальної характеристики дизеля. При куті випередження впорскування палива 22° ПКВ також спостерігається підвищення димності ВГ (N) від 10% відн. до 35% відн. на всіх режимах навантажувальної характеристики. Кути випередження впорскування палива 9° , 13° та 15° ПКВ при 100% навантаженні не мають значного впливу на димність ВГ (димність змінюється в межах від -2,5 % до 2,5 %). Більш пізні кути випередження впорскування палива (9° та 13° ПКВ) призводять до значного збільшення димності ВГ при 50 %, 25 %, 10 % та 0 % навантаження. Так, для 13° ПКВ збільшення димності ВГ (N) складає від 13,8 % відн. до більш ніж 11 раз, а для 9° ПКВ збільшення складає від 25,7 % відн. до більш ніж 14 раз відповідно.

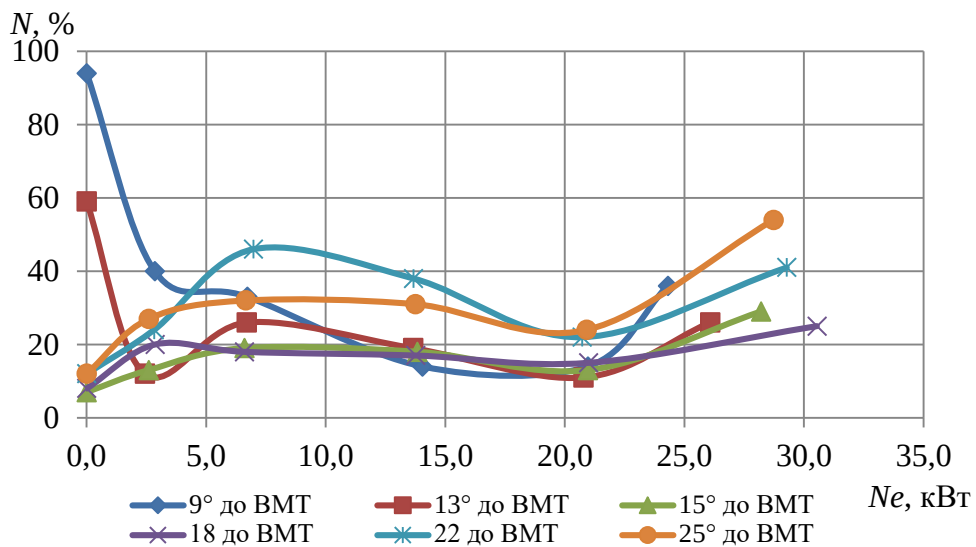


Рисунок 4.24 - Залежність димності ВГ дизеля від навантаження при різних значеннях кута випередження впорскування палива та при частоті обертання вала двигуна 3000 хв^{-1}

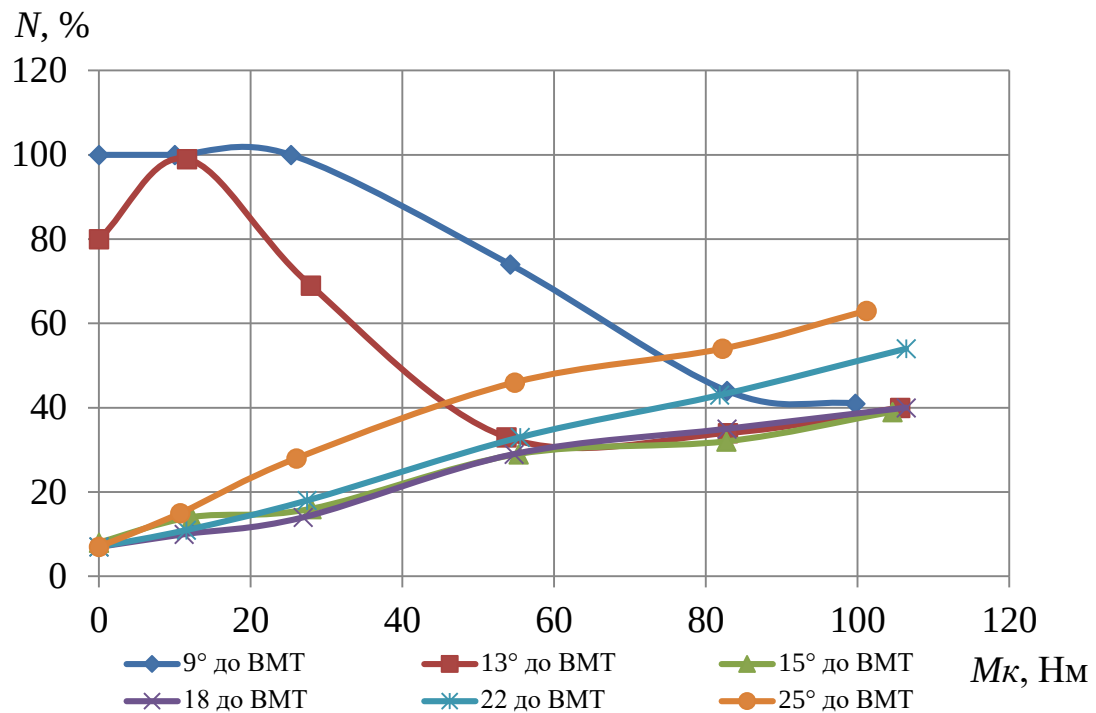


Рисунок 4.25 - Залежність димності ВГ дизеля від навантаження при різних значеннях кута випередження впорскування палива та при $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$

Вплив кута випередження впорскування палива на температуру ВГ ($T_{вг}$) дизеля за режимами навантажувальних характеристик (рис. 4.26 та 4.27) показує, що:

- при частоті обертання двигуна 3000 хв^{-1} (рис. 4.26) збільшення кута випередження впорскування палива до 22° та 25° ПКВ призводить до істотного підвищення температури ВГ ($T_{вг}$) (5,9 % та 11,2 % відповідно) при 100 % навантаження дизеля, на інших режимах навантажувальної характеристики зміни $T_{вг}$ не є суттєвими. Зменшення кута випередження впорскування палива призводить до підвищення $T_{вг}$ на всіх режимах навантажувальної характеристики. Так, для 15° ПКВ збільшення $T_{вг}$ складає від 6,3 % до 11,4 %, для 13° ПКВ - від 9,0 % до 19,9 %, а для 9° ПКВ - від 16,4 % до 26,7 %;
- при частоті обертання двигуна 1400 хв^{-1} (рис. 4.27) значний вплив на температуру ВГ ($T_{вг}$) чинить зменшення кута випередження впорскування палива до 13° та 9° ПКВ. Так, при 75, 50, 25, 10 та 0 відсотках навантаження, кут випередження впорскування палива у 13° ПКВ

призводить до підвищення $T_{вг}$ у межах від 6,5 % до 23,2 %, а для 9° ПКВ – у межах від 16,5 % до 36,0%. При інших кутах випередження впуску палива зміна $T_{вг}$ менш суттєва та знаходиться в межах від -3,7% до 6,1%.

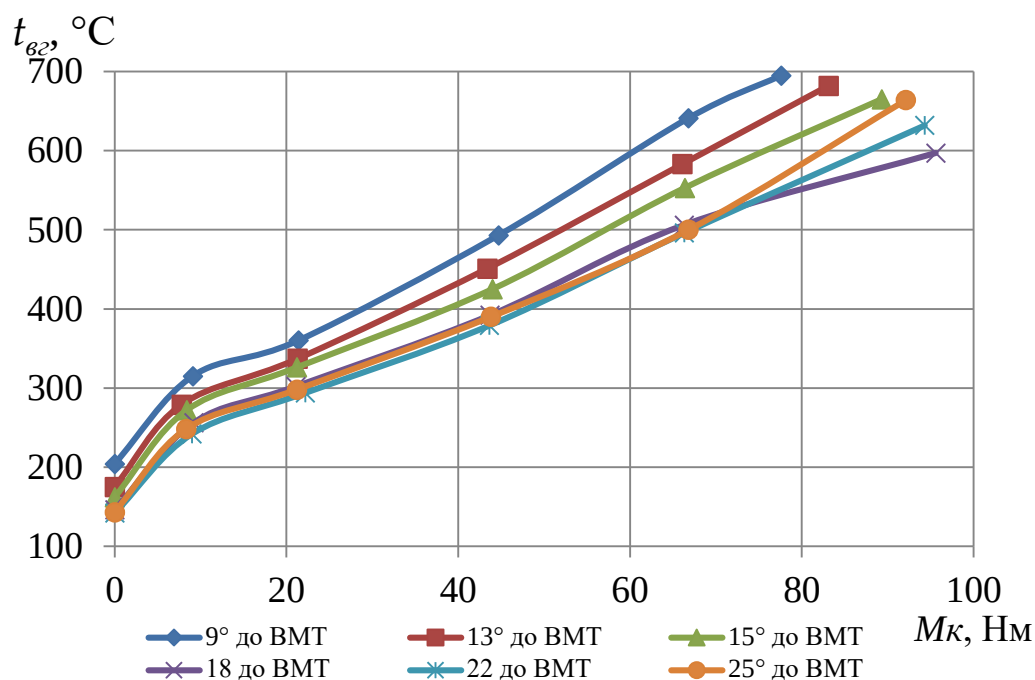


Рисунок 4.26 - Залежність температури ВГ дизеля від навантаження при різних значеннях кута випередження впорскування палива та при $n = 3000 \text{ хв}^{-1}$

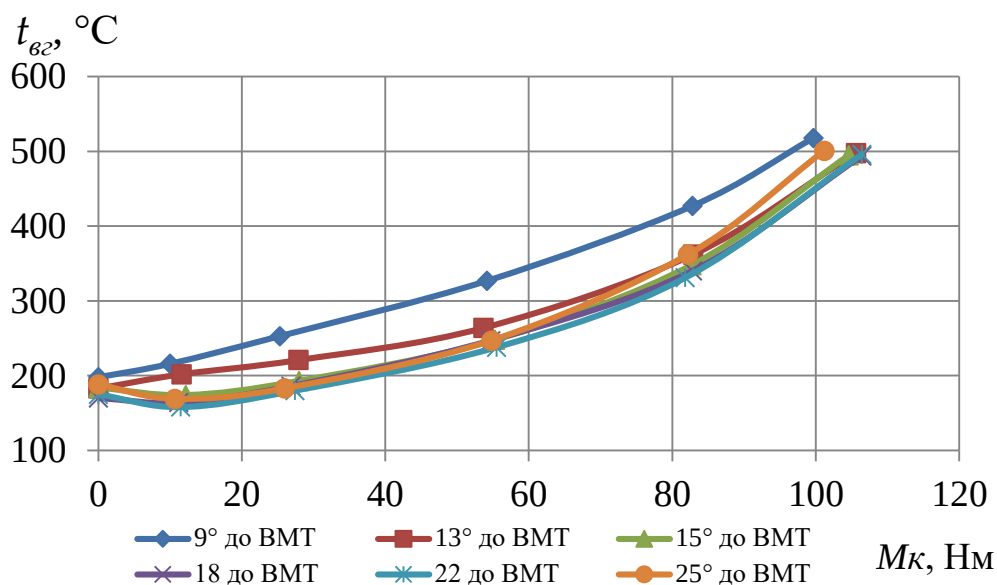


Рисунок 4.27 - Залежність температури ВГ дизеля від навантаження при різних значеннях кута випередження впорскування палива та при $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$

Результати випробування з визначення впливу кута випередження впорскування палива на температуру ВГ ($T_{вг}$) дизеля в режимах холостого ходу дизеля (рис. 4.28, 4.29 та 4.30) свідчать про пряму пропорційну залежність температури ВГ двигуна як від кута випередження впорскування палива, так і від частоти обертання вала двигуна, що дозволяє однозначно визначати технічний стан дизеля у разі відхилення кута випередження впорскування палива від нормативного значення.

Результати визначення за допомогою ФАДТ температури імпульсів ВГ в режимах холостого ходу за окремими циліндрами дизеля (рис. 4.31, 4.32 та 4.33) показують, що відхилення кута випередження впорскування палива від нормативного значення, як в бік збільшення так і в бік зменшення, призводять не тільки до збільшення усередненої за циліндрами двигуна температури ВГ, а й до збільшення нерівномірності її розподілу між циліндрами в усьому діапазоні частоти обертання вала двигуна.

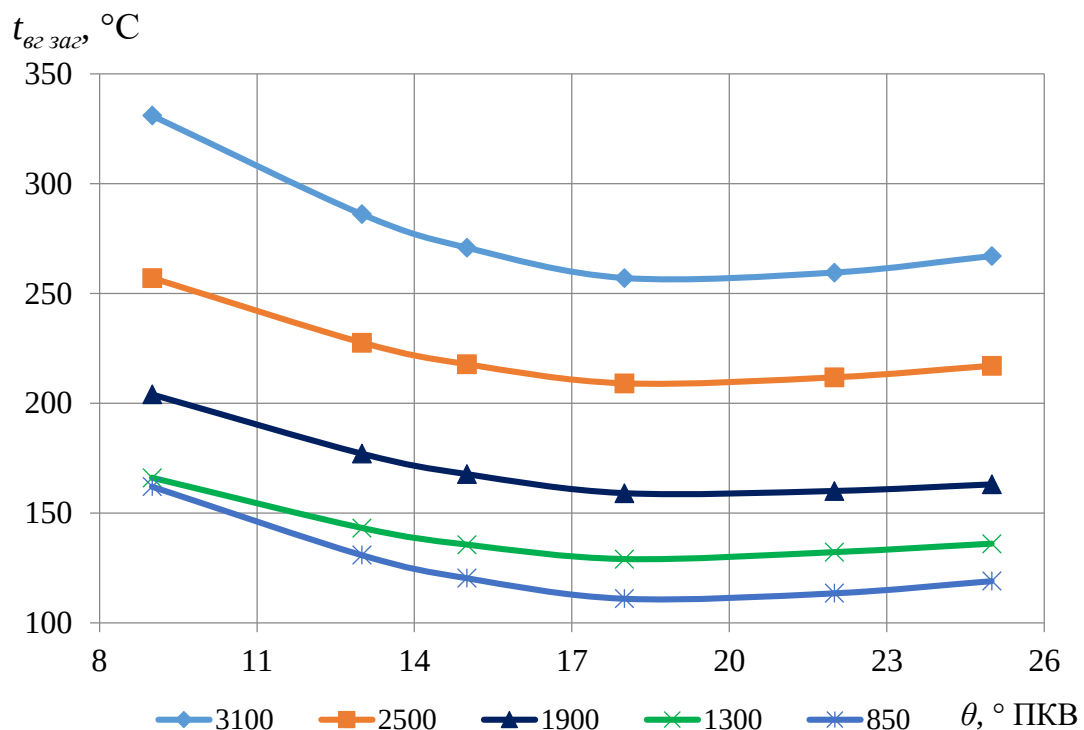


Рисунок 4.28 - Залежність температури відпрацьованих газів в режимі холостого ходу дизеля від кута випередження впорскування палива (θ)

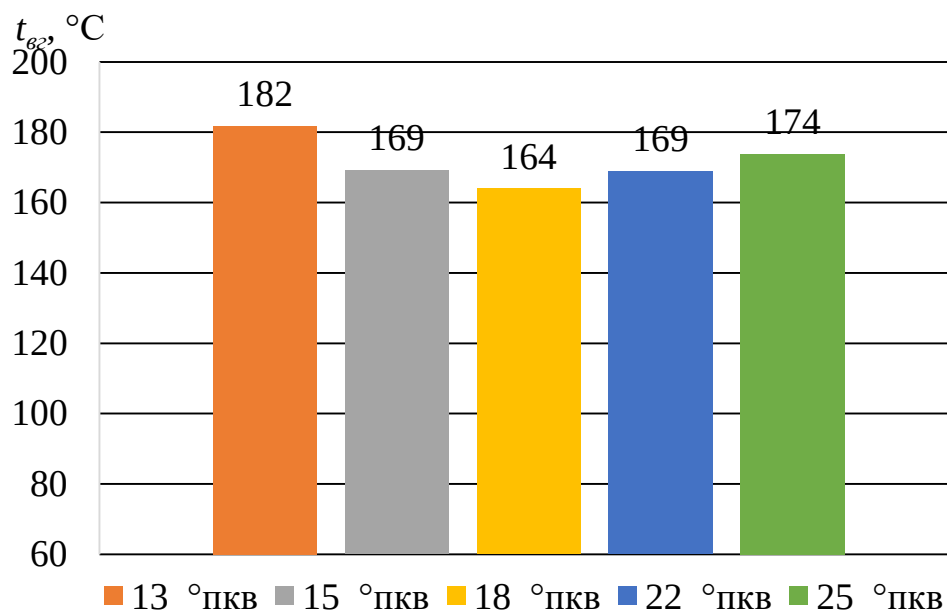


Рисунок 4.29 – Розподіл усередненої за окремими циліндрами дизеля температури ВГ, що визначена за допомогою ФАДТ, в режимі холостого ходу при частоті обертання вала двигуна 3100 хв^{-1} при різних кутах випередження впорскування палива

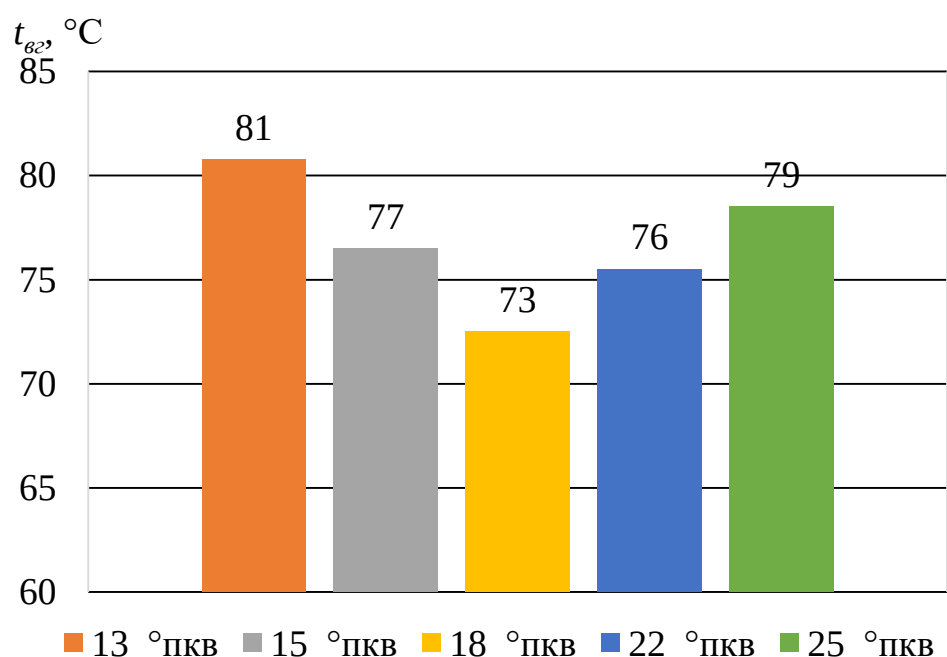


Рисунок 4.30 – Розподіл усередненої за окремими циліндрами дизеля температури ВГ, що визначена за допомогою ФАДТ, в режимі холостого ходу при частоті обертання вала двигуна 850 хв^{-1} при різних кутах випередження впорскування палива

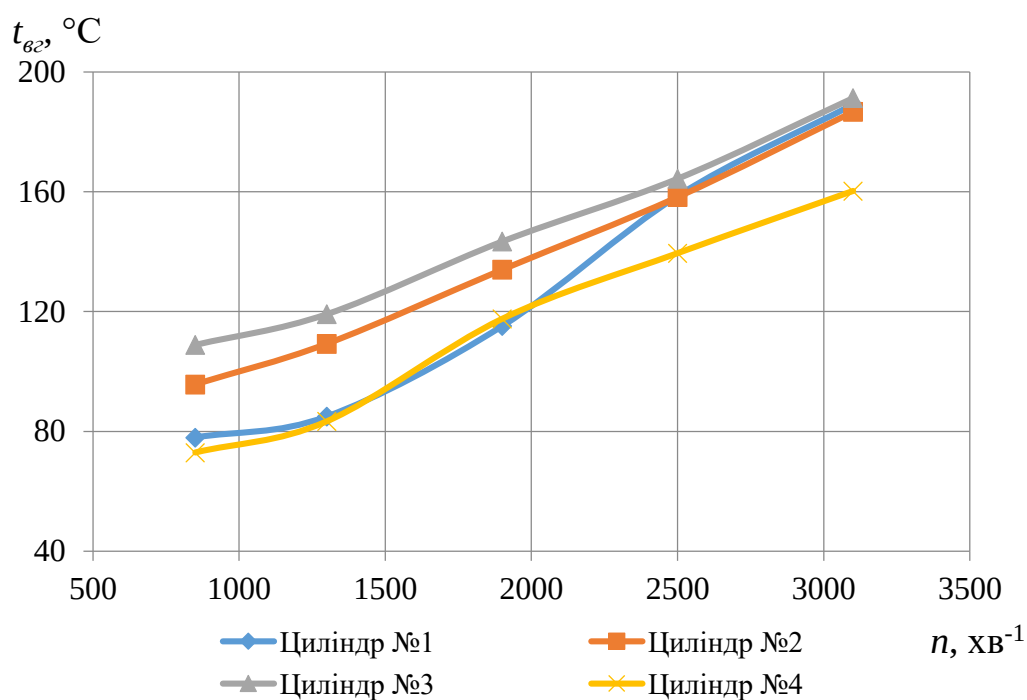


Рисунок 4.31 - Температура ВГ в режимах холостого ходу за окремими циліндрами дизеля, що визначена за допомогою ФАДТ, при куті випередження впорскування палива 13 ° ПКВ до ВМТ

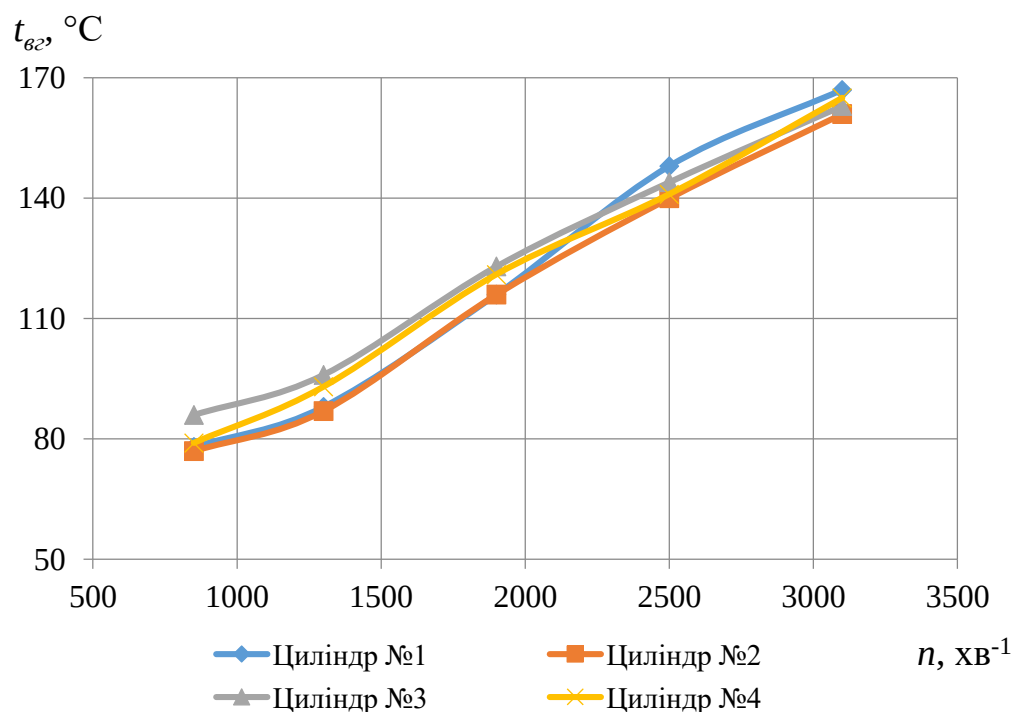


Рисунок 4.32 - Температура ВГ в режимах холостого ходу за окремими циліндрами дизеля, що визначена за допомогою ФАДТ, при куті випередження впорскування палива 18 ° ПКВ до ВМТ

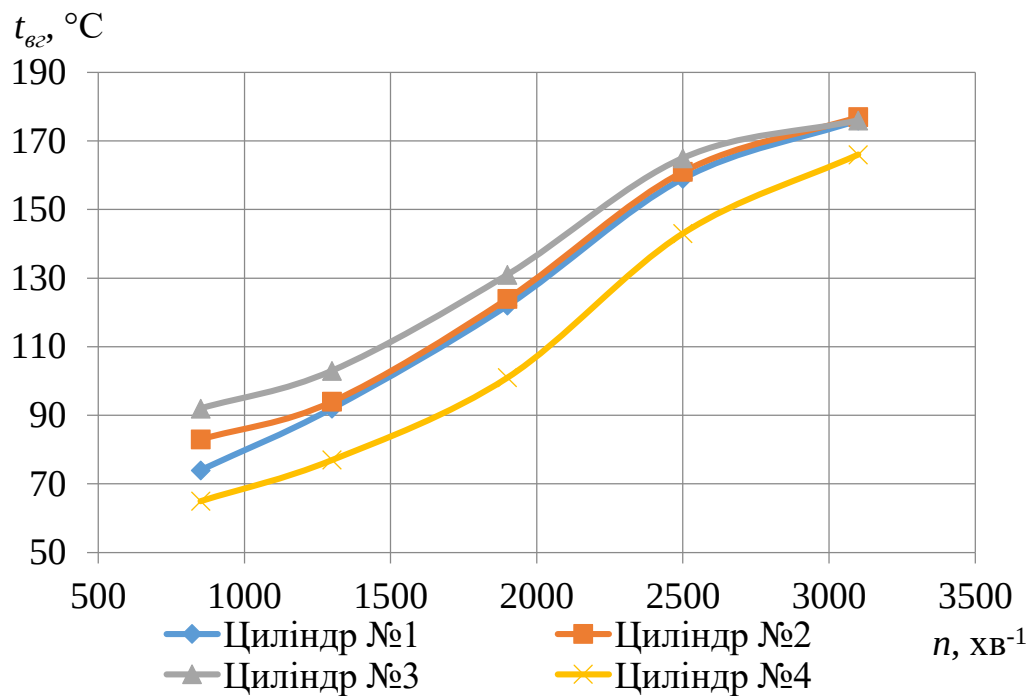


Рисунок 4.33 - Температура ВГ в режимах холостого ходу за окремими циліндрами дизеля, що визначена за допомогою ФАДТ, при куті випередження впорскування палива 25° ПКВ до ВМТ

Зміна тиску впорскування палива форсунками впливає як на якість розпилювання палива, так і на циклову подачу палива і на кут початку впорскування. Результати визначення впливу тиску впорскування палива форсункою на енергетичні, екологічні показники, паливну економічність та температуру ВГ дизеля Mercedes-Benz OM 615 наведено на рисунках 4.34 - 4.43.

Згідно з даними, наведеними на рисунках 4.34 - 4.38, відхилення тиску впорскування палива в меншу сторону від нормативного значення, яке становить 11,5 МПа, призводить до:

- зменшення $N_{етax}$ на 7,7%;
- зменшення $M_{ктаx}$ на 0,3%;
- збільшення $G_{нал}$ в режимі $N_{етax}$ на 2,6%, та на 1,3% в режимі $M_{ктаx}$;
- збільшення g_e на 11,1% і 1,7% відповідно в режимах $N_{етax}$ та $M_{ктаx}$;
- збільшення $T_{вг}$ на 12,9% і 2,4% відповідно в режимах $N_{етax}$ та $M_{ктаx}$;

- збільшення концентрацій у ВГ CO на 56,9% і 8,6% відповідно в режимах N_{emax} та M_{kmax} ;
- збільшення концентрацій у ВГ HC на 23,7% при N_{emax} та їх зменшення на 1,4% при M_{kmax} ;
- зменшення концентрацій у ВГ NO_x на 6,4% в режимах N_{emax} ;
- збільшення димності ВГ (N) на 16,0% (відн.) і 15,0% (відн.) відповідно в режимах N_{emax} та M_{kmax} .

Отримані результати свідчать, що зменшення тиску впорскування призводить до погіршення якості розпилювання палива, збільшення циклової подачі та певного зменшення кута випередження впорскування, що призводить до погіршення процесу згорання палива та, як наслідок, погіршенню екологічних показників, збільшення витрати палива, димності та температури відпрацьованих газів.

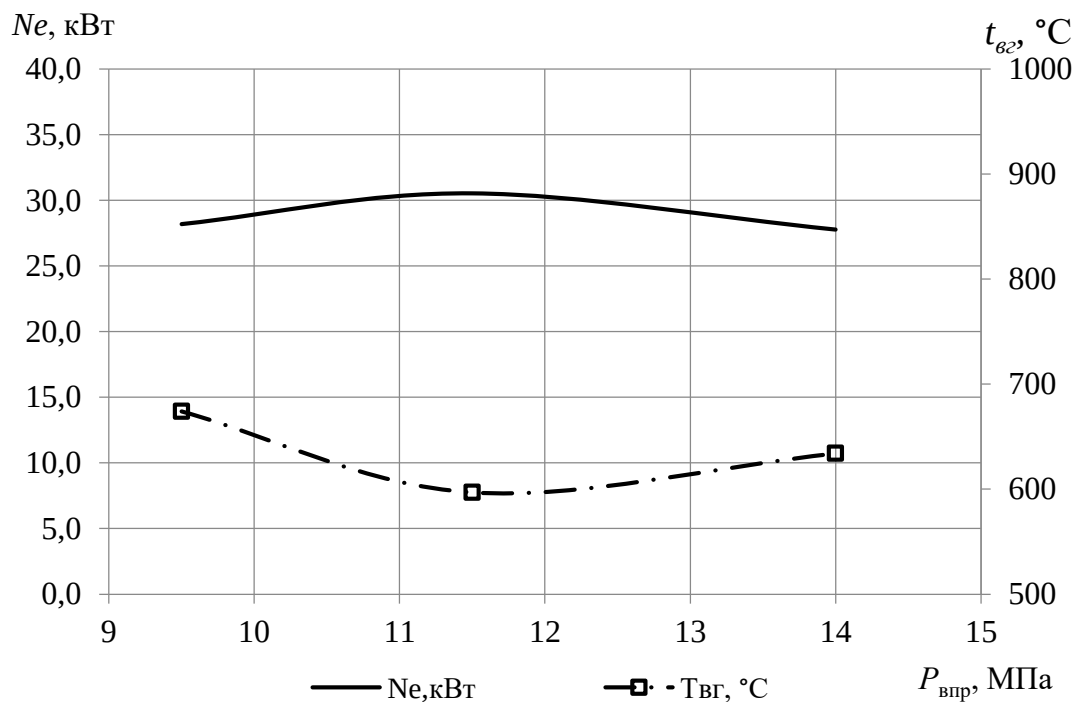


Рисунок 4.34 - Залежність максимальної потужності (N_e) та температури ВГ ($T_{вг}$) дизеля від тиску впорскування палива форсунками ($P_{впр}$)

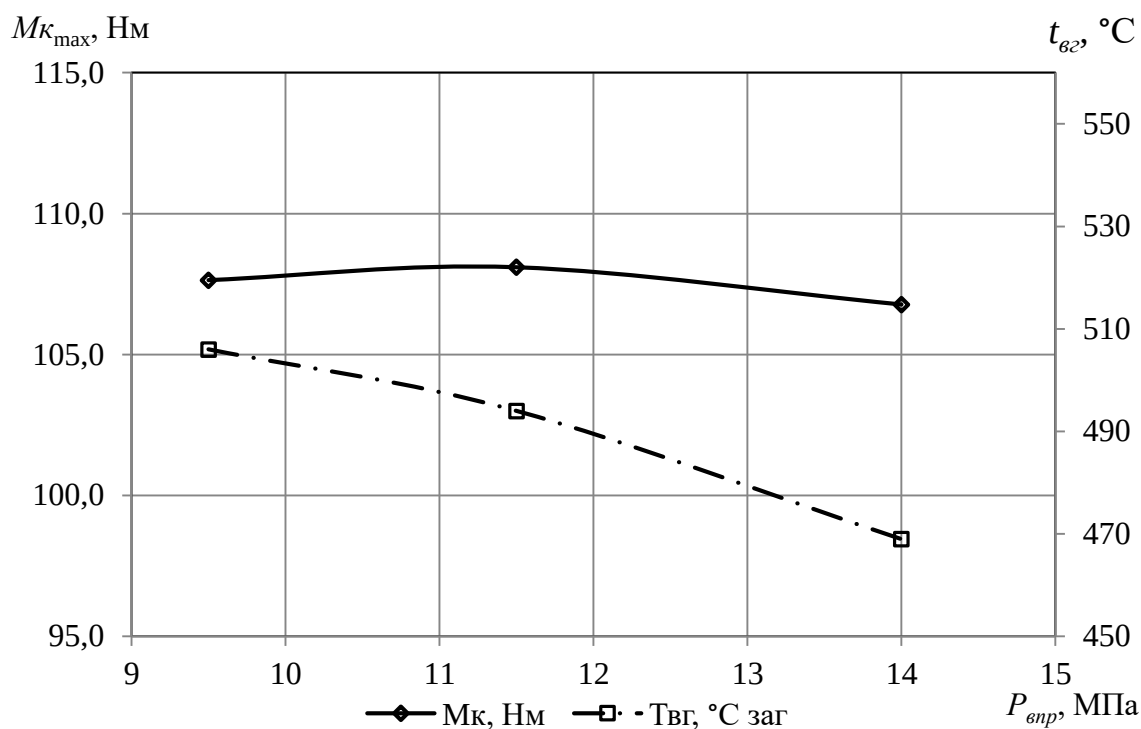


Рисунок 4.35 - Залежність максимального крутного моменту ($M_{\kappa_{\max}}$) та температури ВГ ($T_{BГ}$) дизеля від тиску впорскування палива форсунками ($P_{\text{впр}}$)

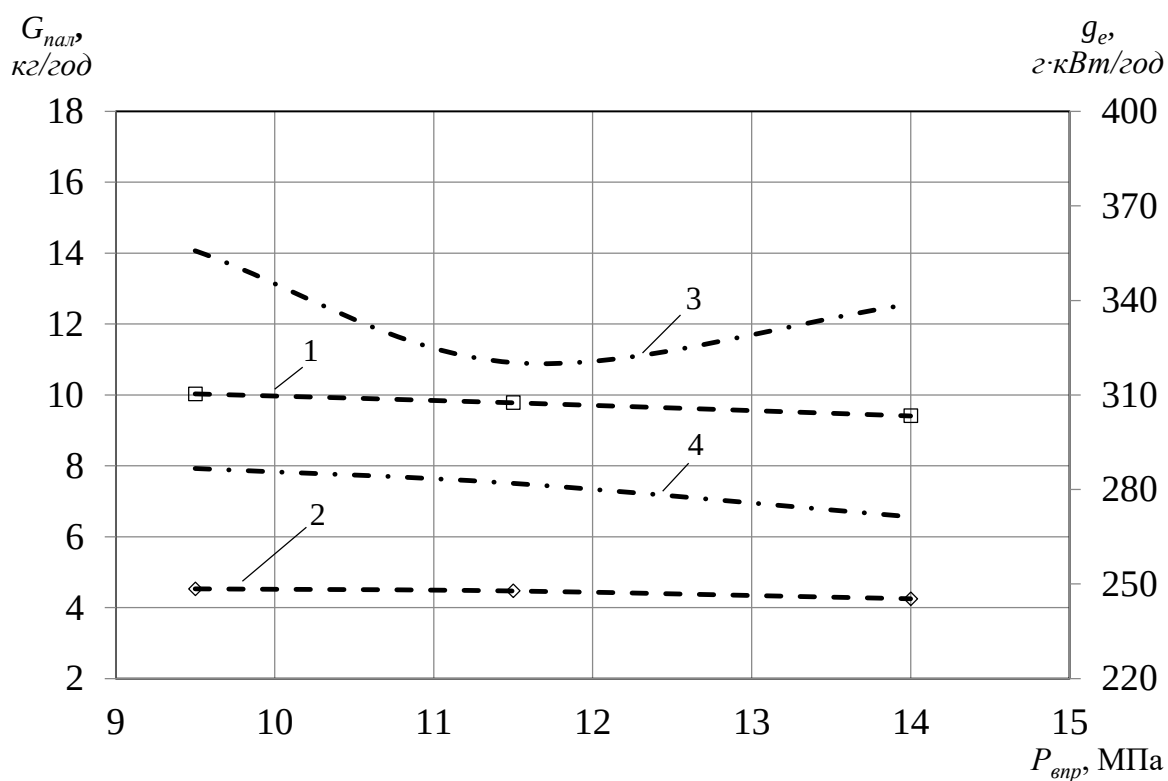


Рисунок 4.36 - Залежність масової годинної ($G_{\text{нал}}$) та питомої (g_e) витрат палива дизеля від тиску впорскування палива форсунками ($P_{\text{впр}}$), де: 1, 2 - $G_{\text{нал}}$, а 3, 4 - g_e відповідно в режимах $N_{\text{етат}}$ та $M_{\kappa_{\max}}$

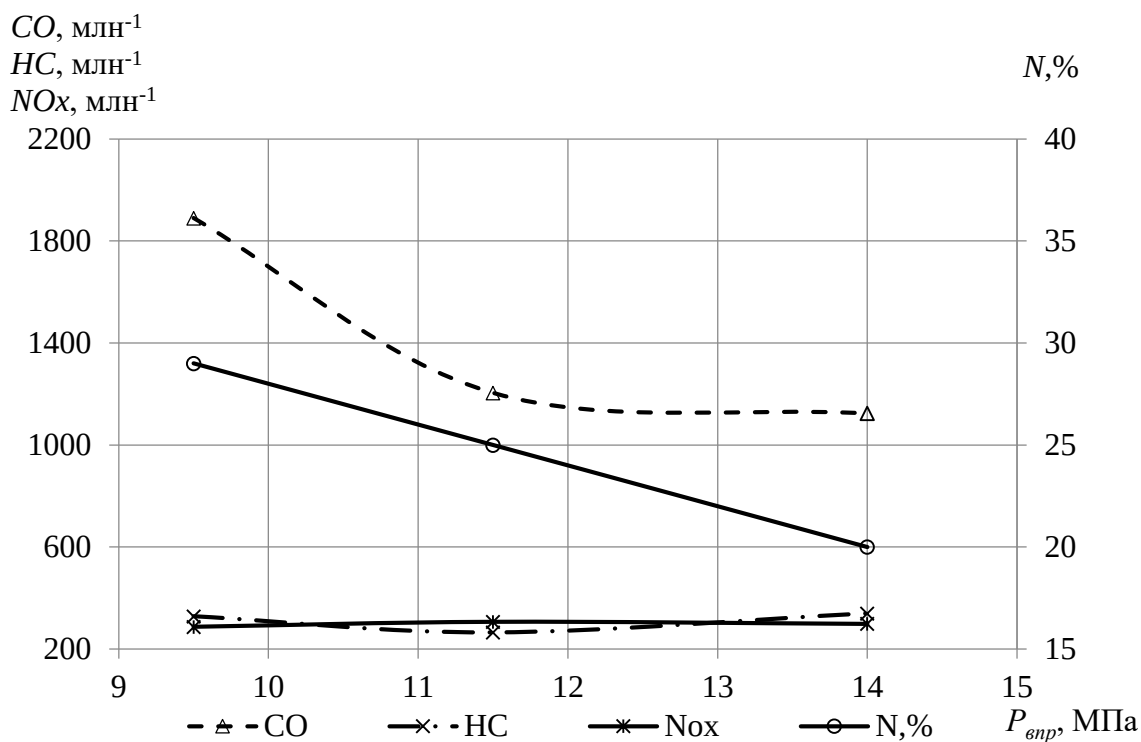


Рисунок 4.37 - Залежність концентрацій ШР дизеля в режимі максимальної потужності (N_e) від тиску впорскування палива форсунками ($P_{впр}$)

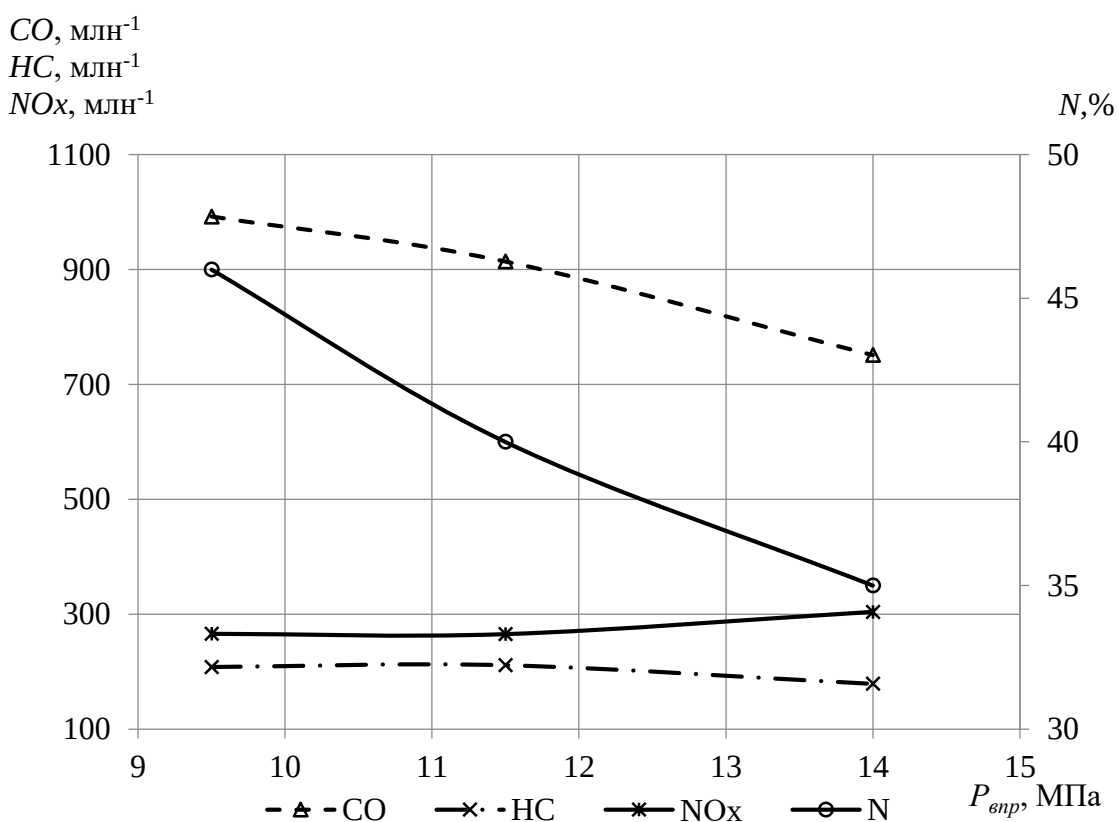


Рисунок 4.38 - Залежність концентрацій ШР дизеля в режимі максимального крутного моменту ($M_{кmax}$) від тиску впорскування палива форсунками ($P_{впр}$)

З іншої сторони, відхилення тиску впорскування палива в більшу сторону від нормативного значення призводить до наступних результатів:

- зменшення $N_{етax}$ на 9,1%;
- зменшення $M_{ктаx}$ на 1,2%;
- зменшення $G_{нал}$ в режимі $N_{етax}$ на 3,8%, та на 4,9% в режимі $M_{ктаx}$;
- збільшення g_e на 5,8% в режимі $N_{етax}$ і зменшення на 3,8% в режимі $M_{ктаx}$;
- збільшення $T_{ВГ}$ на 6,2% в режимі $N_{етax}$ і зменшення на 5,1% в режимі $M_{ктаx}$;
- зменшення концентрацій у ВГ СО на 6,7% і 17,8% відповідно в режимах $N_{етax}$ та $M_{ктаx}$;
- збільшення концентрацій у ВГ НС на 28,0% при $N_{етax}$ та їх зменшення на 15,3% при $M_{ктаx}$;
- зменшення концентрацій у ВГ NO_x на 2,7% в режимах $N_{етax}$ та їх збільшення на 14,5% при $M_{ктаx}$;
- зменшення димності ВГ (N) на 20,0% (відн.) і 12,5% (відн.) відповідно в режимах $N_{етax}$ та $M_{ктаx}$.

Таким чином, збільшення тиску впорскування палива навпаки призводить до покращення якості розпилювання палива, зменшення циклової подачі та кута випередження впорскування, що призводить до зменшення годинної витрати палива та димності відпрацьованих газів. В режимі $N_{етax}$ спостерігається збільшення питомої витрати палива внаслідок суттєвого зменшення $N_{етax}$, а також збільшення вуглеводнів та температури відпрацьованих газів за рахунок зменшення кута випередження впорскування палива.

В режимі холостого ходу (рис. 4.39 та 4.40) при відхиленнях тиску впорскування, як в більшу сторону так і в меншу, концентрації у ВГ СО та НС збільшуються, а NO_x , навпаки зменшуються, димність ВГ змінювалася в межах похибки вимірювання, а температура відпрацьованих газів має тенденцію до зменшення при підвищенні $P_{впр}$. Відповідний характер зміни температури ВГ спостерігається і за окремими циліндрами дизеля, при вимірюванні за допомогою ФАДТ в режимі холостого ходу (рис. 4.41 – 4.43).

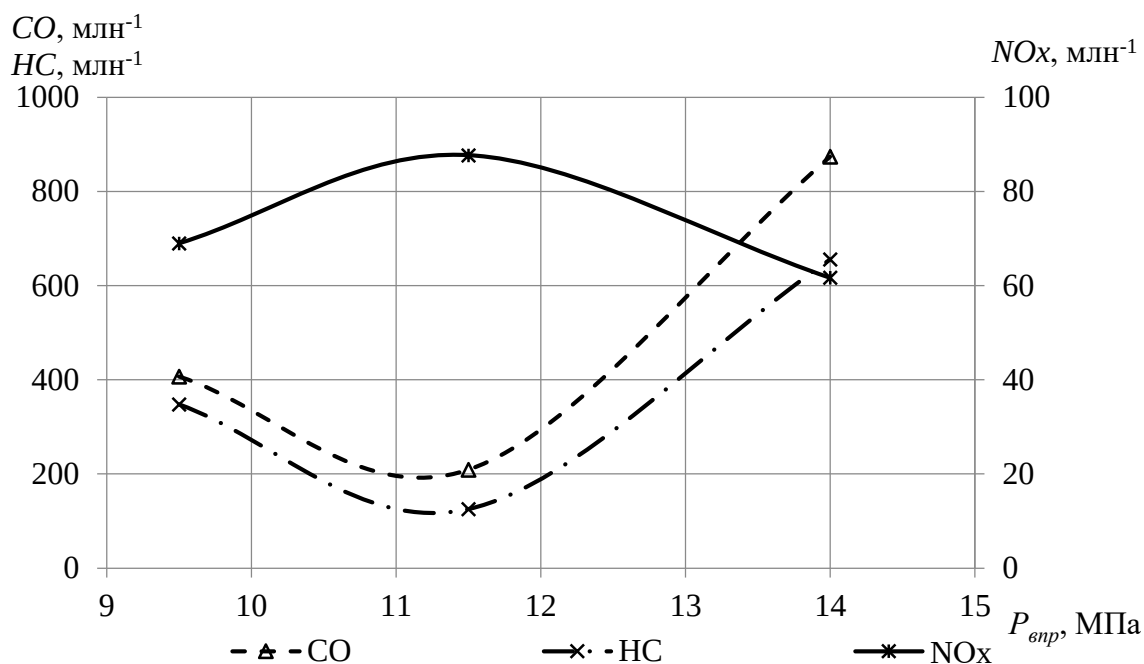


Рисунок 4.39 - Залежність концентрацій ШР дизеля в режимі холостого ходу від тиску впорскування палива форсунками ($P_{впр}$)

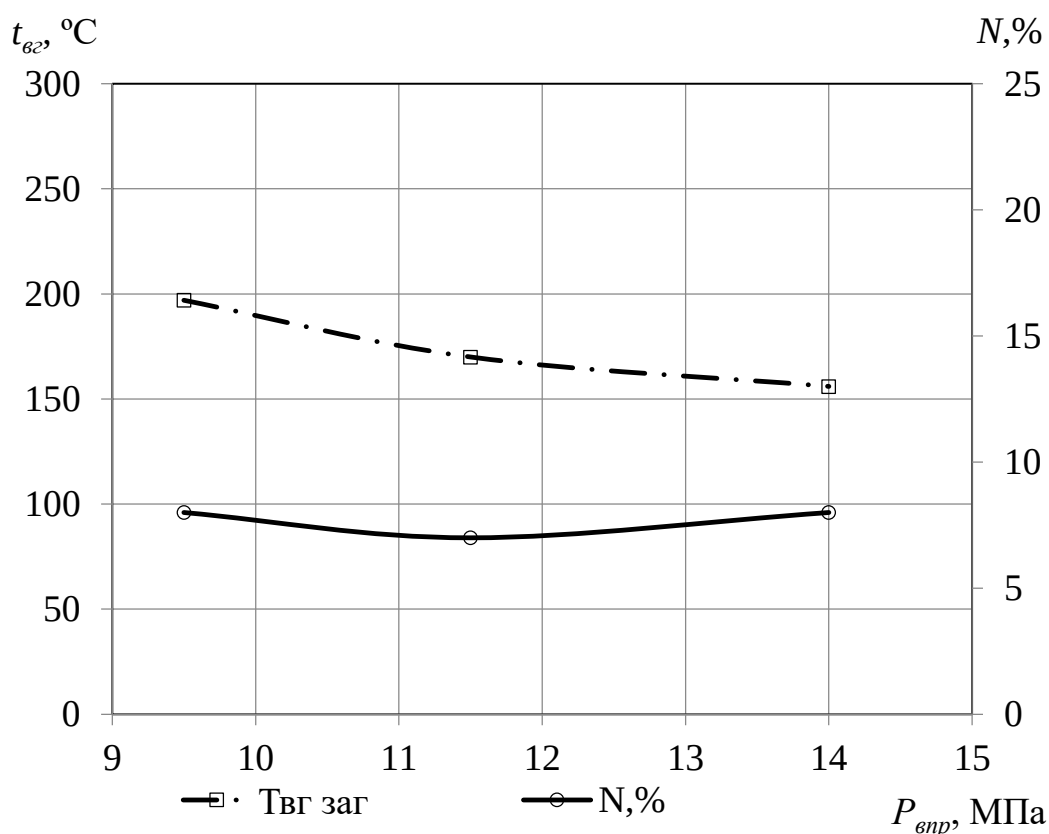


Рисунок 4.40 - Залежність димності (N) та температури ВГ (T_{BG}) дизеля в режимі холостого ходу від тиску впорскування палива форсунками ($P_{впр}$)

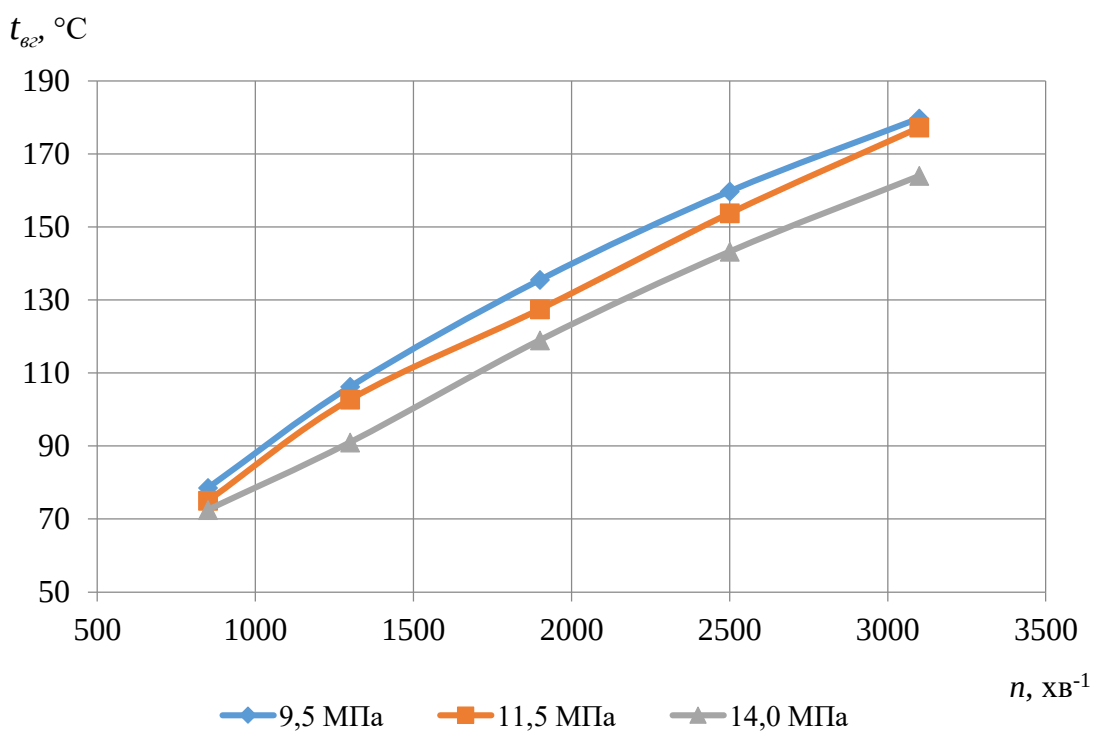


Рисунок 4.41 – Усереднена за окремими циліндрами дизеля температура ВГ в режимі холостого ходу, що визначена за допомогою ФАДТ, при зміні тиску впорскування палива

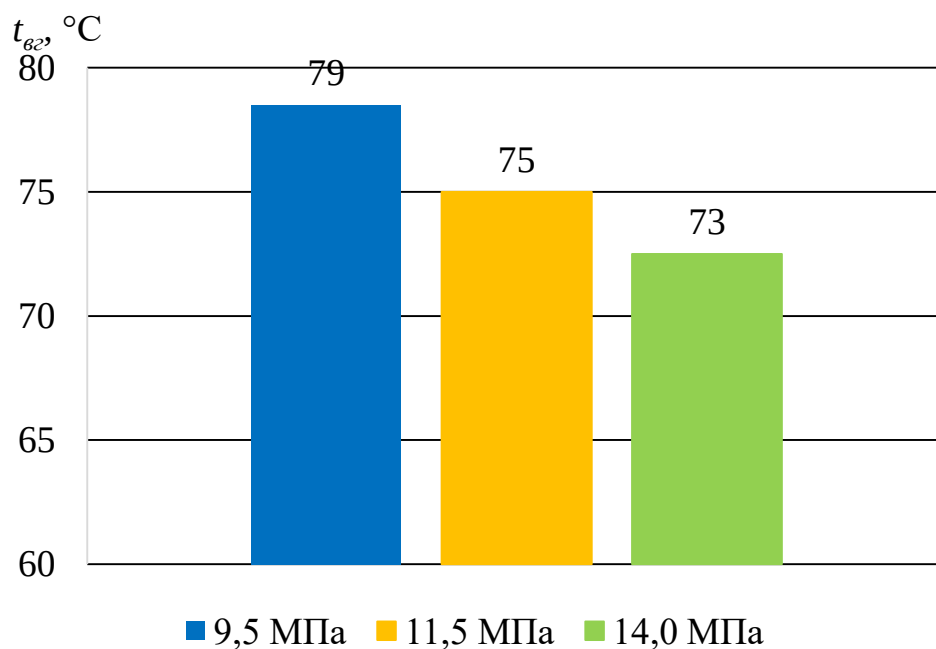


Рисунок 4.42 – Розподіл усередненої за окремими циліндрами дизеля температури ВГ, що визначена за допомогою ФАДТ, в режимі холостого ходу при частоті обертання вала двигуна 850 хв^{-1} при різних значеннях тиску впорскування палива

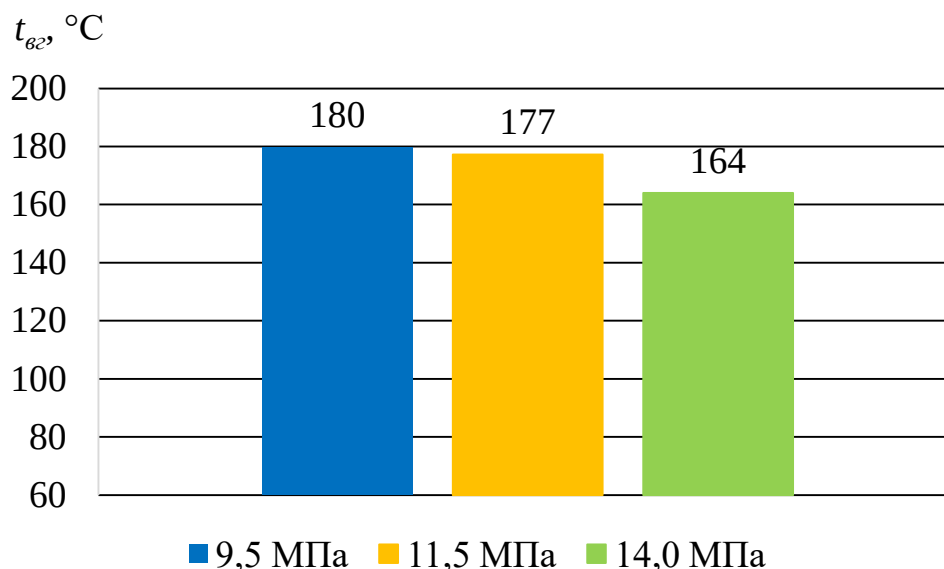


Рисунок 4.43 – Розподіл усередненої за окремими циліндрами дизеля температури ВГ, що визначена за допомогою ФАДТ, в режимі холостого ходу при частоті обертання вала двигуна 3100 хв^{-1} при різних значеннях тиску впорскування палива

4.7 Математична обробка та аналіз результатів експерименту

Розрахунок обсягів питомих викидів шкідливих (забруднюючих) речовин з відпрацьованими газами дизеля було виконано відповідно до Правил ООН № 49-02.

Для розрахунку обсягів викидів ШР необхідно знати витрату відпрацьованих газів. Визначення витрати відпрацьованих газів двигуна виконували за методом, який засновано на вимірюванні витрати повітря і палива дизеля відповідними засобами вимірювання і подальшим розрахунком витрати відпрацьованих газів за допомогою наступного рівняння:

$$G_{EXH} = G_{AIR} + G_{FUEL}, \quad (4.3)$$

де: G_{EXH} – масова годинна витрата відпрацьованих газів, кг/год;

G_{AIR} – масова годинна витрата повітря, кг/год;

G_{FUEL} – масова годинна витрата палива, кг/год.

Відповідно до методики розрахунків концентрації оксидів азоту (NO_x) у відпрацьованих газах дизеля були скориговані на вологий стан шляхом перемноження значень концентрацій NO_x на коефіцієнт поправки на вологість:

$$\frac{1}{1 + A(7H - 75) + B \times 1,8(T - 302)}, \quad (4.4)$$

де H – вологість повітря на впуску, грам H_2O на кг сухого повітря;

T – температура повітря, К;

$$A = 0,44 \frac{G_{FUEL}}{G_{AIR}} - 0,0038, \quad (4.5)$$

$$B = -0,116 \frac{G_{FUEL}}{G_{AIR}} + 0,0053, \quad (4.6)$$

$\frac{G_{FUEL}}{G_{AIR}}$ – відношення паливо / сухе повітря;

При якій:
$$H = \frac{6,211 \cdot R_a \cdot P_d}{P_a - P_d \cdot R_a \cdot 10^{-2}}, \quad (4.7)$$

де R_a – відносна вологість повітря навколишнього середовища, %;

P_d – тиск водяної пари в насиченому повітрі при температурі навколишнього середовища, кПа;

P_a – атмосферний тиск, кПа.

Розрахунок викидів шкідливих (забруднюючих) речовин в одиницях маси для кожного режиму роботи дизеля проводили за наступними рівняннями:

$$NOx_{mass} = 0,001587 \cdot NOx_{conc} \cdot G_{EXH}; \quad (4.8)$$

$$CO_{mass} = 0,000966 \cdot CO_{conc} \cdot G_{EXH}; \quad (4.9)$$

$$HC_{mass} = 0,000478 \cdot HC_{conc} \cdot G_{EXH}, \quad (4.10)$$

де NOx_{mass} – масові викиди оксидів азоту в одиницю часу, г/год;

CO_{mass} – масові викиди оксиду вуглецю в одиницю часу, г/год;

HC_{mass} – масові викиди вуглеводнів в одиницю часу, г/год;

NOx_{conc} – концентрація оксидів азоту у ВГ, $млн^{-1}$;

CO_{conc} – концентрація оксиду вуглецю ВГ, млн⁻¹;

HC_{conc} – концентрація вуглеводнів ВГ, млн⁻¹.

Сумарні питомі викиди шкідливих (забруднюючих) речовин за цикл випробовування розраховували наступним чином:

$$\overline{NOx} = \frac{\sum NOx_{mass,i} \times WF_i}{\sum (P_i - P_{aux,i}) \times WF_i}, \quad (4.11)$$

$$\overline{CO} = \frac{\sum CO_{mass,i} \times WF_i}{\sum (P_i - P_{aux,i}) \times WF_i}, \quad (4.12)$$

$$\overline{HC} = \frac{\sum HC_{mass,i} \times WF_i}{\sum P_i \times WF_i}, \quad (4.13)$$

де $\overline{NOx}$ – сумарні питомі викиди оксидів азоту, г/кВт·год;

$\overline{CO}$ – сумарні питомі викиди оксиду вуглецю, г/кВт·год;

$\overline{HC}$ – сумарні питомі викиди вуглеводнів, г/кВт·год;

P_i – корисна потужність двигуна на i -му режимі, кВт;

WF_i – коефіцієнт вагомості i -го режиму.

Відповідно до Правил ООН № 49-02 в розрахунках застосовували наступні коефіцієнти вагомості (табл. 4.6):

Розрахунок викидів твердих частинок виконували наступним чином:

$$PT = \frac{PT_{mass}}{\sum (P_i - P_{aux,i}) \times WF_i}, \quad (4.14)$$

$$PT_{mass} = \frac{P_f \times \overline{G}_{EDF}}{M_{SAM} \times 1000}, \quad (4.15)$$

$\overline{G}_{EDF}$ та M_{SAM} протягом всього циклу випробувань визначалися шляхом додавання середніх величин, отриманих для окремих режимів, за наступними рівняннями:

$$\overline{G}_{EDF} = \sum G_{EDF,i} \times WF_i; \quad (4.16)$$

$$M_{SAM} = \sum M_{SAM,i}; \quad (4.17)$$

Таблиця 4.6 - Коефіцієнти вагомості режимів випробовування

Номер режиму	Коефіцієнт вагомості (WF)
1	0,25/3
2	0,08
3	0,08
4	0,08
5	0,08
6	0,25
7	0,25/3
8	0,10
9	0,02
10	0,02
11	0,02
12	0,02
13	0,25/3

Ефективний коефіцієнт вагомості WF_E для кожного режиму розраховувався таким чином:

$$WF_{E,i} = \frac{M_{SAM,i} \times \bar{G}_{EDF}}{M_{SAM} \times G_{EDF,i}}, \quad (4.18)$$

Розрахунок приведених до нормальних атмосферних умов максимальної ефективної потужності та максимального ефективного моменту дизеля було виконано, згідно з вимогами Правил ООН № 49-02, відповідно до додатку 10 Правил ООН № 24-02 за наступними рівняннями:

$$P_o = \alpha \cdot P, \quad (4.19)$$

де P_o – приведена потужність (потужність при вихідних атмосферних умовах);

α – коефіцієнт поправки;

P – виміряна потужність.

Вихідні атмосферні умови:

температура (T_o): 298 К (25 °C);

тиск сухого повітря (P_{so}): 99 кПа.

Коефіцієнт поправки α розраховувався за наступною формулою:

$$\alpha = (f_a)^{f_m}, \quad (4.20)$$

де f_a – коефіцієнт що враховує атмосферні умови;

f_m – характеристичний параметр що враховує тип двигуна та його налаштування (для двигуна на якому проводилися стендові дослідження $f_m=1$).

Коефіцієнт f_a виражає вплив умов оточуючого середовища, таких як атмосферний тиск, температура та вологість повітря, на наповнення циліндрів двигуна повітрям. Формула визначення цього коефіцієнта залежить від типу двигуна.

Для двигуна на якому проводилися стендові дослідження (двигун без наддува) застосовували наступну формула:

$$f_a = \left(\frac{99}{P_s} \right) \left(\frac{T}{298} \right)^{0.7}, \quad (4.21)$$

Для розрахунків питомих викидів використали спеціально розроблену програму розрахунків питомих викидів шкідливих речовин, яку розроблено у програмному середовищі фірми *Borland* на мові *C++* з бібліотекою *ObjectWindows Library*. Текст програми наведено у Додатку Г.

Результати оцінювання впливу наведених вище несправностей на відповідність дизеля нормованим значенням питомих викидів шкідливих речовин, у тому числі твердим частинкам [118, 119], показують, що дизель найбільше відповідає нормативним значенням при штатних налаштуваннях кута випередження впорскування палива (табл. 4.7), тиску впорскування палива (табл. 4.8) та циклової подачі палива ПНВТ (табл. 4.9).

Збільшення кута випередження впорскування палива (табл. 4.7) призводить до збільшення, перш за все, питомих викидів оксиду вуглецю CO та оксидів азоту NO_x . При зменшенні кута, значно збільшуються питомі викиди оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC та твердих частинок PT , а питомі викиди оксидів азоту NO_x навпаки зменшуються. Ці зміни наглядно показані на рис. 4.44.

Зміна тиску впорскування палива (табл. 4.8 та рис. 4.45) від штатного налаштування, як в сторону збільшення так і в сторону зменшення,

призводить до значного погіршення питомих викидів оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC та твердих частинок PT , а питомі викиди оксидів азоту NO_x мають тенденцію до зменшення при зменшенні тиску впорскування.

Збільшення подачі палива (табл. 4.9 та рис. 4.46) від штатного налаштування призводить до значного підвищення питомих викидів оксиду вуглецю CO , вуглеводнів HC та твердих частинок PT . При цьому, питомі викиди оксидів азоту NO_x мають тенденцію до зменшення.

Таблиця 4.7 - Залежність питомих викидів ШР від кута випередження впорскування палива

$\theta, ^\circ$ ПКВ до ВМТ	NO_x , г/кВт·год	HC , г/кВт·год	CO , г/кВт·год	PT , г/кВт·год
9	2,42	17,02	16,31	8,934
13	2,76	7,64	11,70	3,329
15	3,12	1,36	7,00	0,517
18	3,08	1,02	5,54	0,306
22	3,12	1,31	7,76	0,319
25	3,25	1,01	12,91	0,291
Нормативне значення згідно з Правилами ООН № 49-02	8,0	1,1	4,5	0,36

Таблиця 4.8 - Залежність питомих викидів ШР від тиску впорскування палива

Тиск впорскування палива, МПа	NO_x , г/кВт·год	HC , г/кВт·год	CO , г/кВт·год	PT , г/кВт·год
9,5	2,74	1,37	6,42	0,510
11,5	3,08	1,02	5,54	0,306
14,0	3,08	1,39	5,35	0,587
Нормативне значення згідно з Правилами ООН № 49-02	8,0	1,1	4,5	0,36

Таблиця 4.9 - Залежність питомих викидів ШР від зміни подачі палива

Зміна $Q_{нал}$, %	NO_x , г/кВт·год	HC , г/кВт·год	CO , г/кВт·год	PT , г/кВт·год
норма	3,08	1,02	5,54	0,306
+ 2,5 %	2,77	1,41	7,59	0,346
+ 8,4 %	2,73	1,30	12,03	0,443
Нормативне значення згідно з Правилами ООН № 49-02	8,0	1,1	4,5	0,36

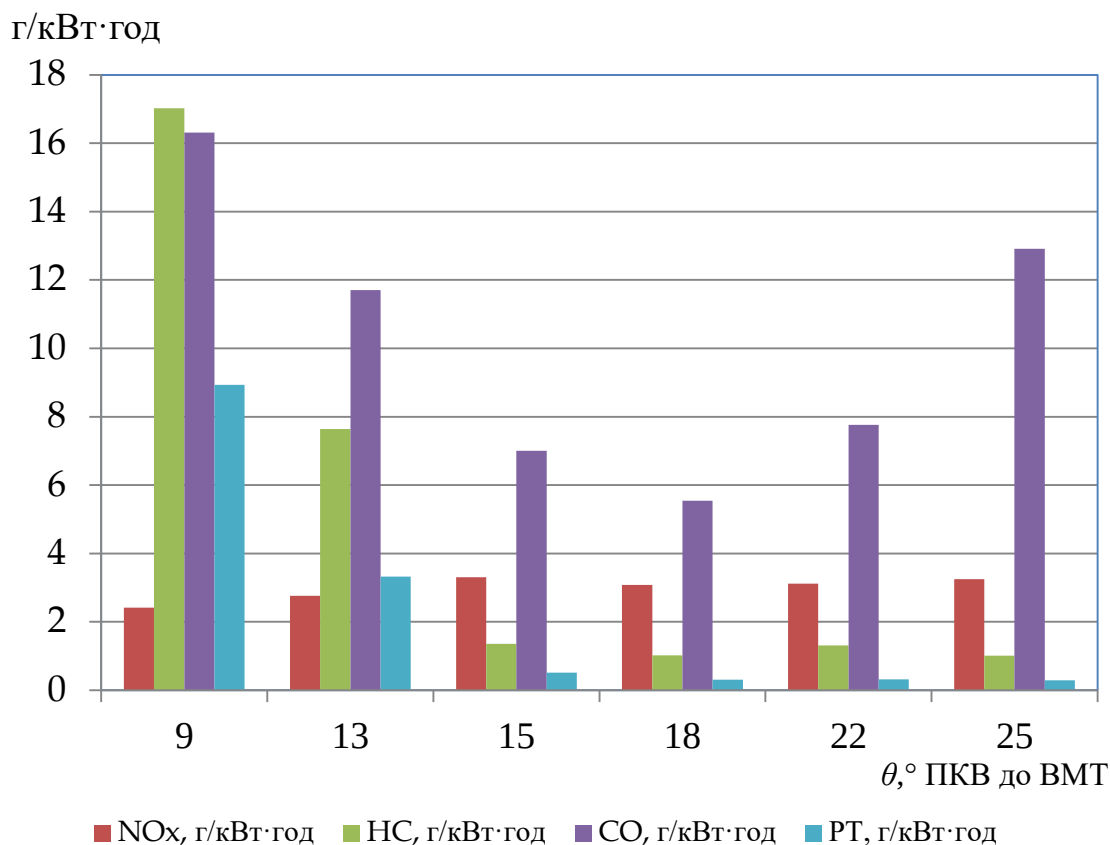


Рисунок 4.44 - Залежність питомих викидів ШР від кута випередження впорскування палива

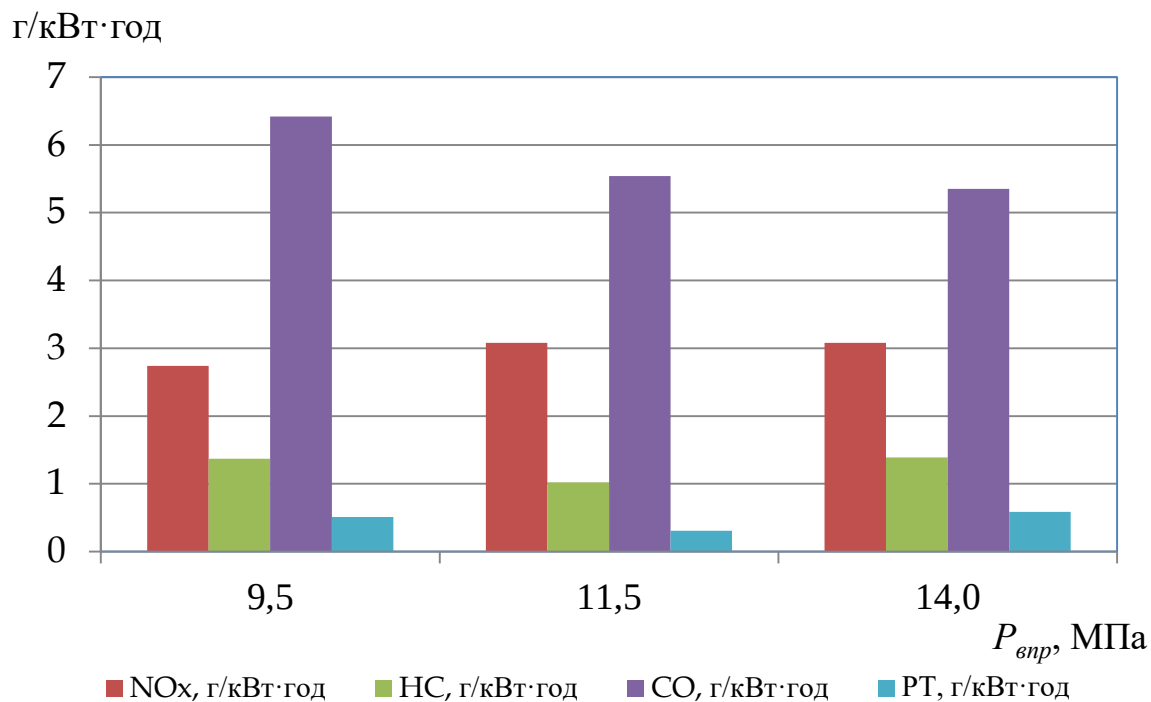


Рисунок 4.45 - Залежність питомих викидів ШР від тиску впорскування палива

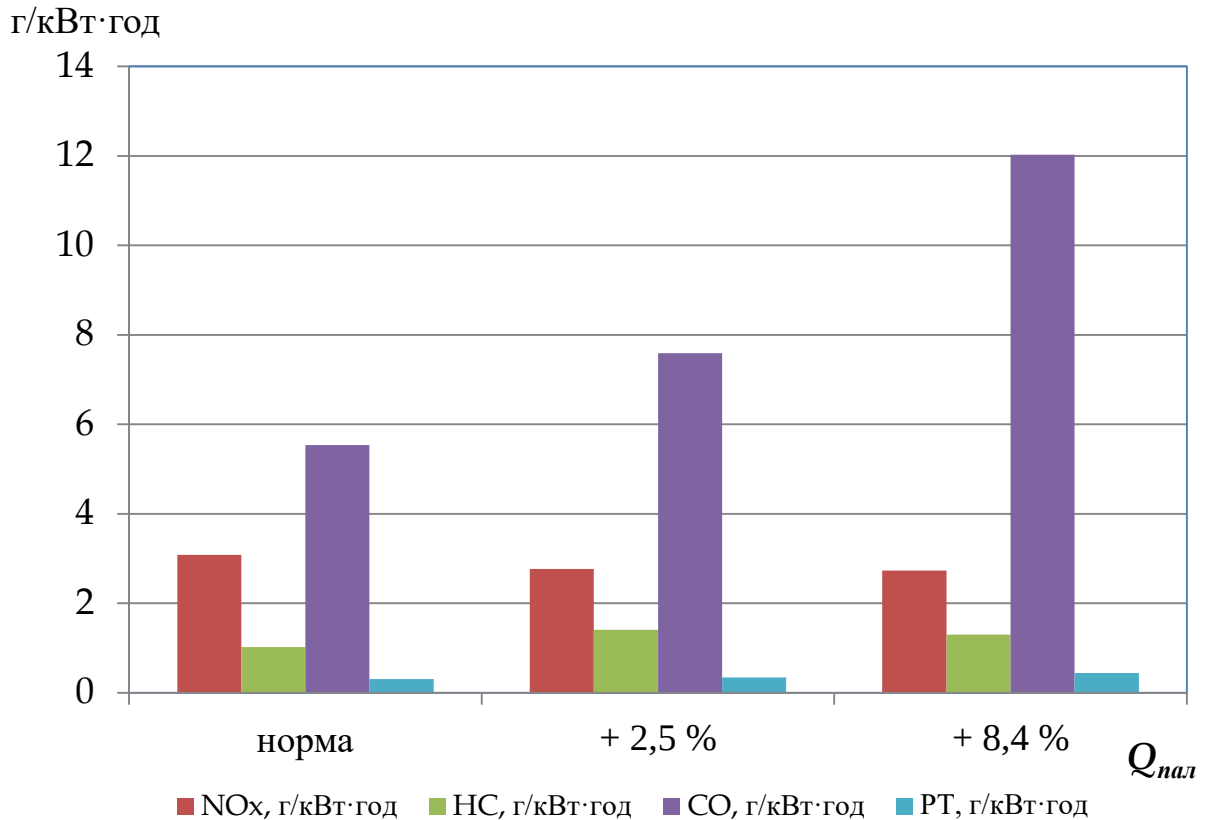


Рисунок 4.46 - Залежність питомих викидів ШР від зміни подачі палива

Слід зазначити, що колір фільтрів для аналізу вмісту у ВГ твердих частинок також надає певну інформацію щодо вмісту твердих частинок у ВГ.

Так, наприклад, при зміні кута випередження впорскування палива (рис. 4.47) значне збільшення вмісту твердих частинок спостерігається при зменшенні кута випередження впорскування палива, що відображається на кольорі фільтрів. При зменшенні кута випередження впорскування палива колір фільтра змінюється від сірого до чорного. Теж саме спостерігається і при зміні тиску впорскування палива форсунками (рис. 4.48) і при збільшенні циклової подачі палива (рис. 4.49). Згідно з результатами випробувань можна припустити, що зміна кольору фільтрів для твердих частинок відбувається пропорційно зміні вмісту твердих частинок у ВГ.

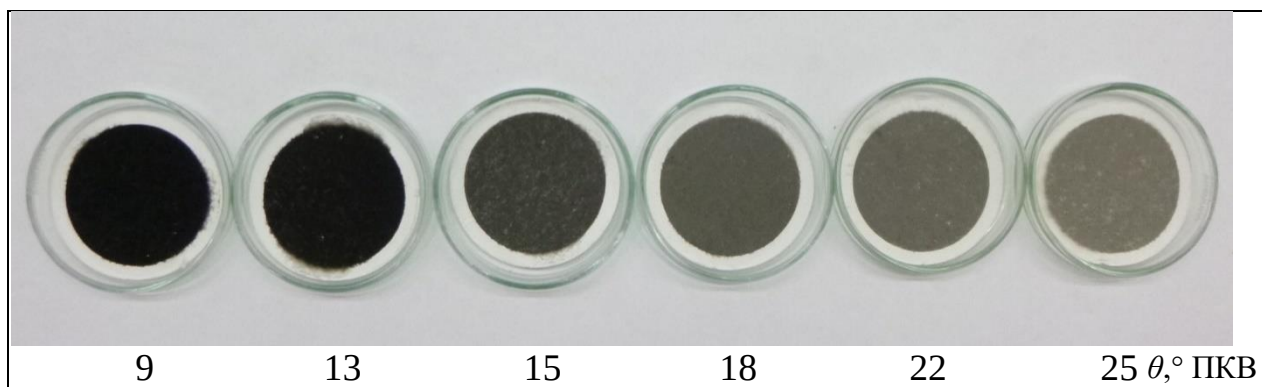


Рисунок 4.47 - Зовнішній вигляд фільтрів з твердими частинками, що відбиралися з ВГ при різних значеннях кута випередження впорскування палива.

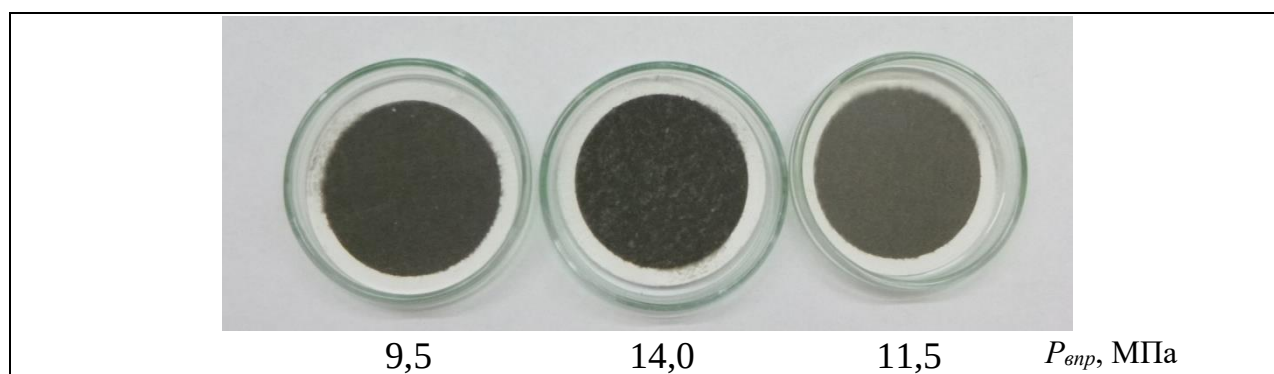


Рисунок 4.48 - Зовнішній вигляд фільтрів з твердими частинками, що відбиралися з ВГ при різних значеннях тиску впорскування палива.

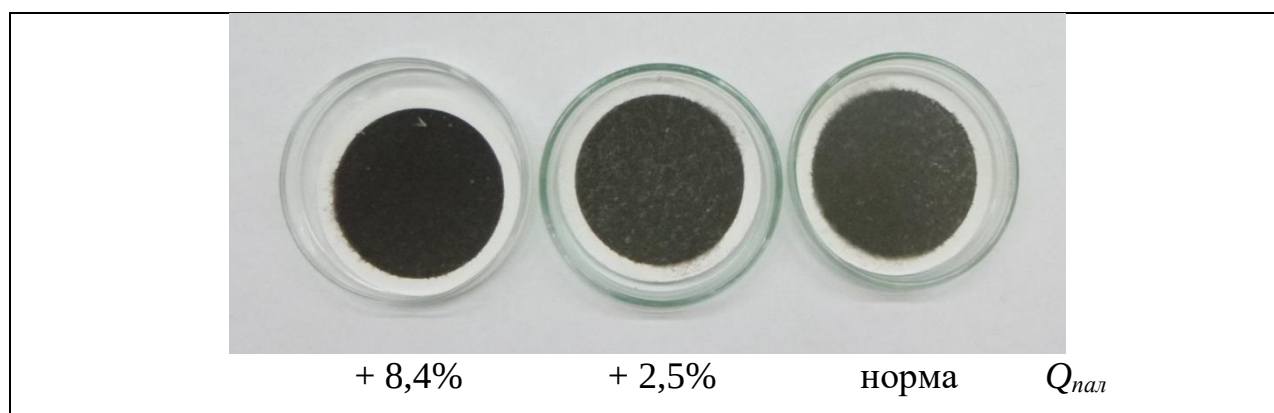


Рисунок 4.49 - Зовнішній вигляд фільтрів з твердими частинками, що відбиралися з ВГ при різних значеннях циклової подачі палива

4.8 Випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 в умовах експлуатації.

Метою випробування КТЗ з дизелем в умовах експлуатації є підтвердження роботоздатності способу експрес-діагностування дизелів за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ на виході з випускної труби та можливості визначення технічного стану дизеля окремо по циліндрах за допомогою ФАДТ з ПАРК.

Випробування в умовах експлуатації було проведено, як зазначалося вище, на автомобілі ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 з використанням розробленого програмованого технологічного процесу діагностування ДВЗ з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів (рис 4.50), який описано у розділі 5 дисертаційної роботи.



Рисунок 4.50 - Макетний зразок ФАДТ з ПАРК підключений до випускної труби КТЗ

Випробування КТЗ проводили при справному та несправному стані дизеля. Несправний ситан дизеля імітували зниженням тиску впорскування форсунки четвертого циліндра двигуна з 23,5 МПа до 13,5 МПа.

Визначення миттєвої температури ВГ дизеля виконували в режимах мінімальної ($n_{xx \min}$) та максимальної ($n_{xx \max}$) частоти обертання холостого ходу вала дизеля, а димність ВГ в режимі вільного прискорення за ДСТУ 4276:2004.

При випробуванні дизеля на кожному з режимів діагностування реєстрували частоту збуджуючих коливань f_{36} та осцилограму сигналу ФАДТ, за якими визначали «базове» значення температури і миттєві значення зсуву фаз сигналу ФАДТ (рис. 4.51 та 4.53). Далі, відповідно до залежностей наведених на рис. 3.16 та 3.18, визначали миттєві значення температурних імпульсів ВГ кожного циліндра дизеля згідно з порядком їх роботи (рис. 4.52 та 4.54).

Результати випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 в умовах експлуатації за допомогою ФАДТ з визначенням температури імпульсів ВГ окремо по циліндрах дизеля наведено в таблиці 4.10.

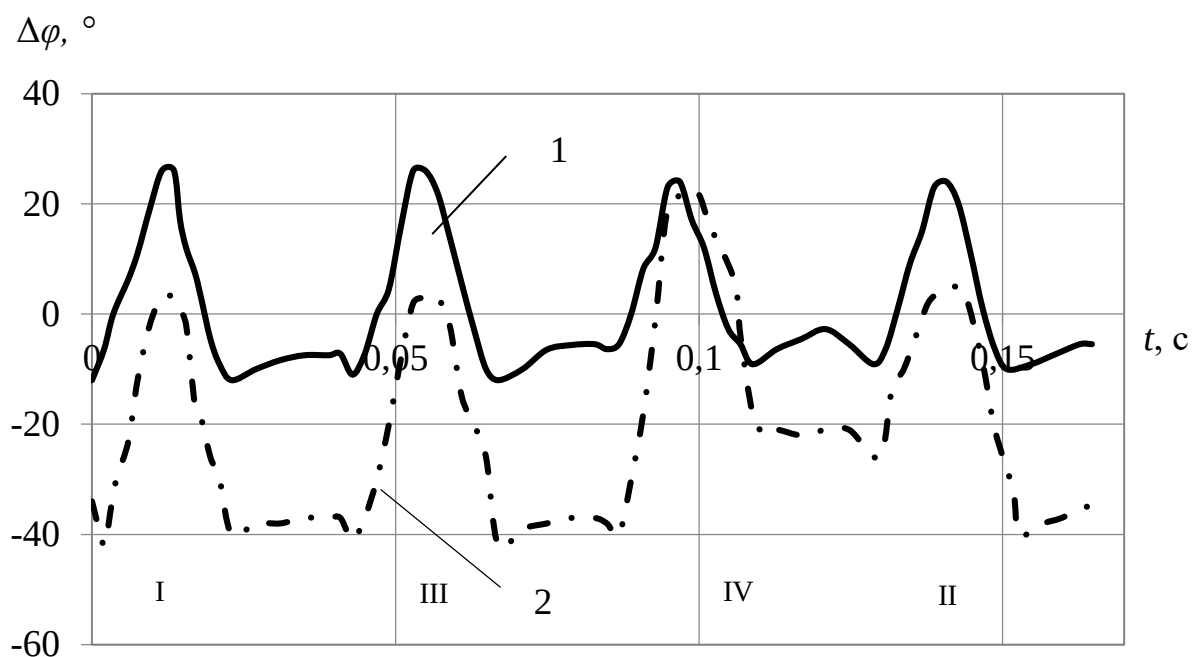


Рисунок 4.51 - Залежність кута зсуву фаз сигналу ФАДТ відповідно по I-му, III-му, IV-му, та II-му циліндрах двигуна в режимі $n_{xx \min}$. 1 – справний стан, 2 – при зниженому тиску впорскування у IV-му циліндрі дизеля

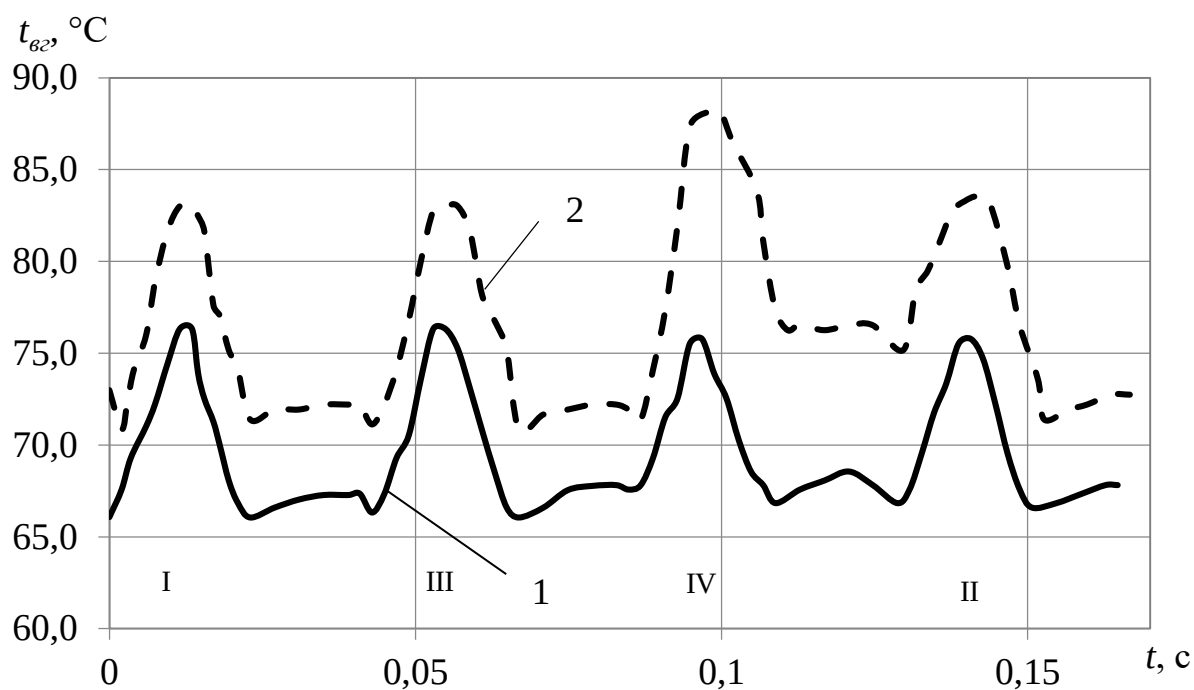


Рисунок 4.52 - Залежність температури ВГ дизеля Д-245.7Е2 в режимі $n_{xx \min}$ на виході із випускної труби відповідно по I-му, III-му, IV-му, та II-му циліндрах двигуна. 1 – справний стан, 2 – знижений тиск впорскування у IV-му циліндрі дизеля

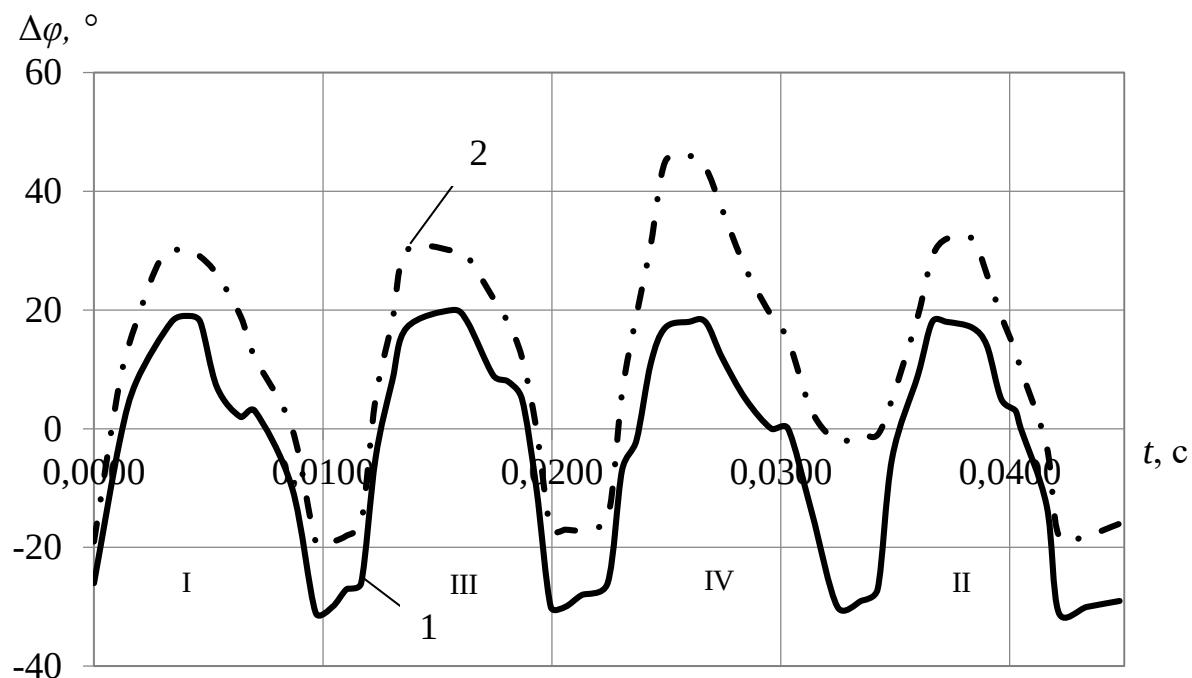


Рисунок 4.53 - Залежність кута зсуву фаз сигналу ФАДТ відповідно по I-му, III-му, IV-му, та II-му циліндрах двигуна в режимі $n_{xx \max}$. 1 – справний стан, 2 – при зниженому тиску впорскування у IV-му циліндрі дизеля

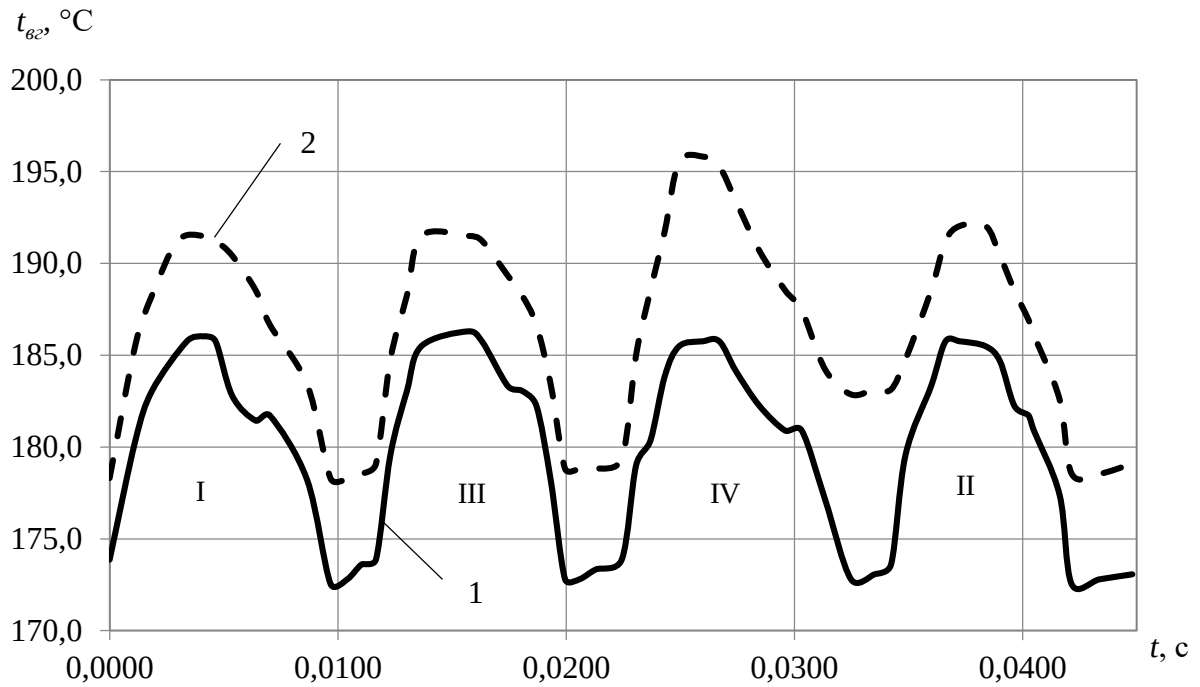


Рисунок 4.54 - Залежність температури ВГ дизеля Д-245.7Е2 в режимі $n_{\text{xx max}}$ на виході із випускної труби відповідно по I-му, III-му, IV-му, та II-му циліндрах двигуна. 1 – справний стан, 2 – при зниженому тиску впорскування у IV-му циліндрі дизеля

Таблиця 4.10 – Результати визначення температури імпульсів ВГ окремо по циліндрах дизеля на виході з випускної труби КТЗ за допомогою ФАДТ

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

Результати випробування свідчать, що температура імпульсів ВГ при зменшенні тиску впорскування з 23,5 МПа до 13,5 МПа одного із циліндрів призводить до збільшення температури імпульса ВГ не тільки несправного циліндра, а й інших циліндрів також, як в режимі $n_{\text{xx min}}$ (рис. 4.52) так і в режимі $n_{\text{xx max}}$ (рис. 4.54). Усереднене значення температури імпульсів ВГ за

всіма циліндрами збільшується на $7,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в режимі $n_{xx\text{ min}}$ та на $6,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в режимі $n_{xx\text{ max}}$ (табл. 4.10), а значення температури імпульса ВГ несправного циліндра є більшим по відношенню до середнього значення трьох інших циліндрів на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (3,9%) та $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ (2%) відповідно в режимі $n_{xx\text{ min}}$ та в режимі $n_{xx\text{ max}}$.

Результати визначення димності ВГ в режимі вільного прискорення за ДСТУ 4276:2004 (рис. 4.55) свідчать про те, що при наявності несправності форсунки одного з циліндрів димність ВГ збільшилася з 23 % до 33 %, та залишилася у межах нормативного значення, яке становить 72,5 % ($3,0\text{ м}^{-1}$). Таким чином, результати випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 за допомогою ФАДТ в умовах експлуатації демонструють, що діагностування за температурою імпульсів ВГ окремо по циліндрах дизеля є більш інформативним ніж стандартизована процедура визначення технічного стану дизеля за димністю ВГ в режимі вільного прискорення.

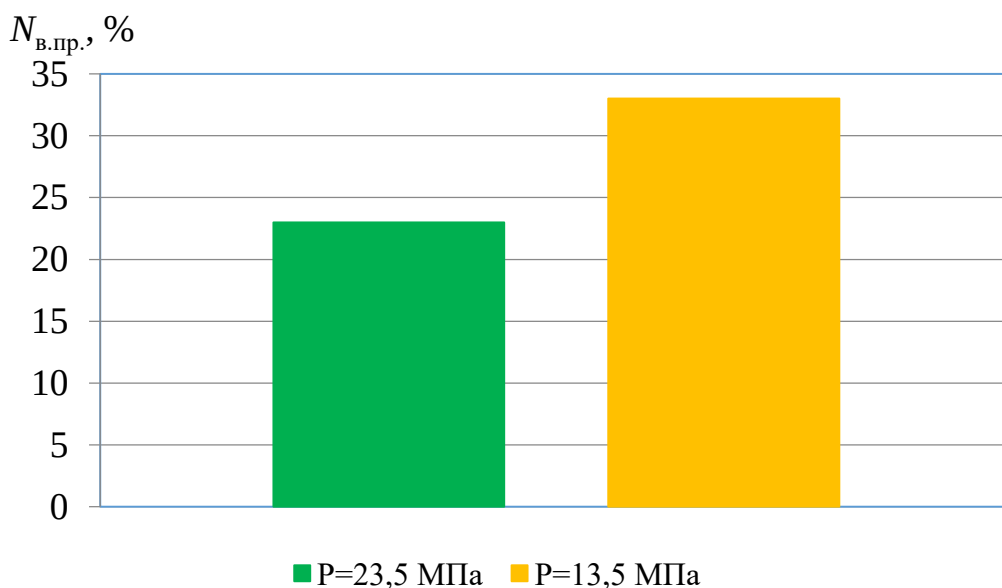


Рисунок 4.55 - Залежність димності ВГ дизеля Д-245.7Е2 автомобіля ГАЗ-3309 виміряної в режимі вільного прискорення при тиску впорскування палива що відповідає справному стану та при заниженому тиску впорскування

З метою розробки рекомендацій щодо використання удосконаленого способу експрес-діагностування дизелів додатково було визначено залежність димності (N) ВГ дизеля Д-245.7Е2 автомобіля ГАЗ-3309 в режимі вільного прискорення від теплового стану двигуна (температури охолоджуючої рідини).

Згідно з результатами випробування (рис. 4.56) встановили, що найбільше значення димності ВГ спостерігається на непрогрітому двигуні, при прогріванні дизеля до температури охолоджуючої рідини $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ димність ВГ стрімко знижується та при подальшому прогріванні майже не змінюється. Таким чином, при проведенні експрес-діагностування дизеля за димністю ВГ необхідно прогрівати двигун до температури охолоджуючої рідини не нижче $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

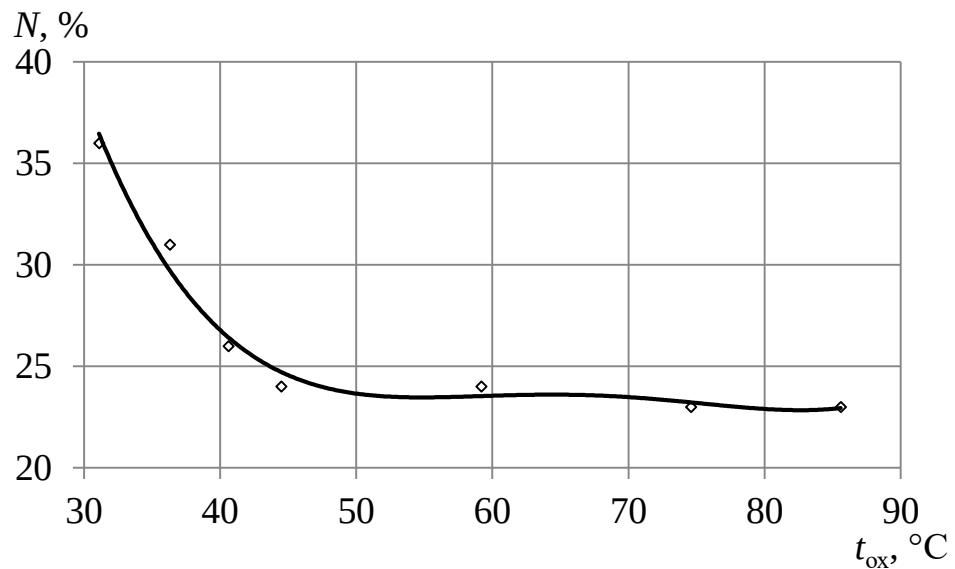


Рисунок 4.56 - Залежність димності (N) ВГ дизеля Д-245.7Е2 автомобіля ГАЗ-3309 в режимі вільного прискорення від температури охолоджуючої рідини двигуна (t_{ox})

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

4.9 Висновки до розділу 4

1. Визначені мета і задачі, складена програма та розроблена методика експериментальних досліджень, що включає проведення стендового випробування дизеля Mercedes-Benz OM 615 та автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2 в умовах експлуатації.

2. Проведені експериментальні дослідження з визначення впливу характерних відмов системи живлення дизелів на показники дизеля Mercedes-Benz OM 615 показали, що відхилення технічного стану дизеля від номінальних значень експлуатаційних параметрів призводять до зміни максимальної потужності, максимального крутного моменту, витрати палива, викидів шкідливих речовин, димності та температури відпрацьованих газів.

3. Експериментально визначено вплив характерних відмов системи живлення двигуна паливом на його енергетичні і екологічні показники, визначено їх зв'язок з температурою ВГ. Оцінено вплив цих відмов на відповідність дизеля нормованим значенням питомих викидів шкідливих речовин відповідно до стандартизованої процедури Правил ООН № 49-02.

4. Результати досліджень доводять, що зміна кута випередження впорскування палива, що має місце в експлуатації, призводить до зміни всіх основних показників роботи дизеля, а відхилення його від оптимального значення, як у бік збільшення та зменшення, призводить до підвищення температури відпрацьованих газів.

Зміна тиску впорскування палива форсунками впливає як на якість розпилювання палива, так і, опосередковано, на циклову подачу та кут початку впорскування палива, що спричиняє погіршення екологічних показників, збільшення витрати палива, димності та температури відпрацьованих газів. Збільшення тиску впорскування палива навпаки призводить до покращення якості розпилювання палива, зменшення циклової подачі та кута випередження впорскування, і призводить зменшення витрати палива, димності та температури відпрацьованих газів. В режимі холостого ходу димність та температура відпрацьованих газів має схильність до

зменшення з підвищенням тиску впорскування палива.

Збільшення циклової подачі палива призводить до незначного збільшення максимальної потужності та крутного моменту, годинної та питомої витрат палива, збільшуються викиди шкідливих речовин, димність та температура відпрацьованих газів.

5. Під час стендових випробовувань дизеля при різних його несправностях визначено режими контролювання технічного стану двигуна за температурою відпрацьованих газів, які відповідають умовам експлуатації.

6. Експериментально визначено вплив теплового стану дизеля, який визначався за температурою охолодної рідини на виході із двигуна, на значення показника димності ВГ в режимі вільного прискорення. Встановлено, що з метою діагностування, температура охолодної рідини не повинна бути меншою 60 °С.

7. Проведено експериментальні дослідження дизеля Mercedes-Benz OM 615 в режимах холостого ходу за різної частоти обертання вала двигуна, які свідчать про необхідність коригування значень температурних імпульсів ВГ дизеля в залежності від температури повітря оточуючого середовища.

8. Вперше запропоновано методику розрахунку коефіцієнта поправки значень температурних імпульсів ВГ під час діагностування.

9. Експериментально встановлено, що коригування значень температурних імпульсів ВГ є необхідним тільки при значеннях температури повітря оточуючого середовища, за яких вона має суттєвий вплив на зміну температури ВГ на виході з системи випуску КТЗ. Для дизеля Mercedes-Benz OM 615 такими значеннями середовища є температура повітря нижча за 16 °С.

10. Результатами випробування автомобіля ГАЗ-3309 з дизелем Д-245.7Е2, проведеного за розробленим програмованим технологічним процесом експрес-діагностування дизелів, підтверджено можливість визначення в умовах експлуатації технічного стану як дизеля в цілому, так і окремих його циліндрів за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ на виході з випускної труби за допомогою ФАДТ з ПАРК.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ
УДОСКОНАЛЕНОГО СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ
ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ**5.1 Аналіз виконаних теоретичних та експериментальних досліджень з метою побудови технологічного процесу експрес-діагностування ДВЗ**

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 ВГ кожного циліндра окремо, можна розділити відмови системи паливоподачі, механізму газорозподілу та циліндро-поршневої групи, а також побічно судити про потужність, що віддається кожним циліндром.

Аналіз літературних джерел дозволив зробити припущення, що для цілей експрес-діагностування технічного стану дизелів в умовах експлуатації по швидкодії, точності та складності реєстрації температурного імпульсу найбільше відповідає діагностування за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ за допомогою фазоакустичного датчика температури з проточним акустичним резонатором коливань.

Проведені експериментальні дослідження розробленого та виготовленого макетного зразка ФАДТ з ПАРК підтвердили відповідність його характеристик за швидкодією та точністю вимірювання цілям експрес-діагностування дизелів в умовах експлуатації.

Результати експериментальних стендових досліджень дизеля підтвердили вплив несправностей системи живлення на його енергетичні, екологічні показники, паливну економічність, та визначено їх зв'язок з температурою ВГ. Доведено, що температура ВГ в режимах холостого ходу двигуна є стабільним та інформативним показником, який дозволяє діагностувати в умовах експлуатації технічний стан дизеля в цілому, а також

визначити (локалізувати) несправність в окремому циліндрі дизеля в режимах холостого ходу за миттєвими значеннями температури імпульсів ВГ на виході з випускної труби за допомогою ФАДТ з ПАРК.

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

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

5.2 Розробка програмованого технологічного процесу діагностування ДВЗ на основі оптимізованого алгоритму діагностування з використанням фазоакустичного датчика миттєвої температури відпрацьованих газів

За результатами вибору раціональної послідовності контролю параметрів дизеля у розділі 2 дисертаційної роботи побудували оптимізований алгоритм діагностування при контролі роботоздатності дизелів КТЗ 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 $T_{\text{вг}}$) і U_{15} (димність відпрацьованих газів K). 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 ВГ в режимах холостого ходу двигуна,

удосконалений шляхом застосування фазоакустичного датчика температури;
– другий – стандартизований за димністю ВГ у режимі вільного прискорення згідно з ДСТУ 4276:2004.

Реалізація цього оптимізованого алгоритму діагностування (експрес-діагностування) дизелів при контролі роботоздатності КТЗ 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.

Необхідність розроблення нового технологічного процесу діагностування ДВЗ або його перероблення (доопрацювання чи внесення змін) виникає при появі нових конструкцій двигунів, їх систем, нових способів (методів) та засобів діагностування.

Аналіз літературних джерел показує, що розробкою технологічних процесів діагностування за Радянських часів займалися заводи-виробники транспортних засобів та їх двигунів, а також, профільні науково-дослідні установи. В сучасних умовах розробка технологічних процесів діагностування покладена лише на виробників транспортних засобів, їх двигунів та систем. Вони, як правило, обмежуються розробкою таблиць або матриць для пошуку несправностей [21, 49, 120, 121], які надають в інструкціях з експлуатації. Приклади деяких з них наведено на рисунках 5.1, 5.2, 5.3. Діагностування двигунів тільки за такими таблицями або матрицями має певні недоліки, які можуть призводити до помилок в результатах діагностування та, як наслідок, зниження якості діагностування та збільшення часу і витрат на визначення технічного стану та пошук несправностей двигуна. До таких недоліків, насамперед, може бути віднесено:

- відсутність методик проведення діагностування;
- відсутність посилань та вимог до необхідних засобів діагностування

(діагностичного обладнання);

- відсутність порядку (алгоритму) перевірки технічного стану та пошуку несправностей двигуна у разі наявності декількох несправностей та/або симптомів, що унеможлиблює оптимізацію виконання діагностування;
- потреба у висококваліфікованому персоналі, який має досвід діагностування двигунів даного типу;
- виявлення несправностей двигуна виконується за симптомами, які виявляються, як правило, за зовнішніми ознаками органолептичним методом та можуть мати суб'єктивний характер, що не дає можливості використовувати ці таблиці та матриці для визначення технічного стану двигуна та пошуку несправностей у разі відсутності зовнішніх ознак таких симптомів або неможливості їх однозначного виявлення.

										Признаки неисправностей и их причины	
										Затрудненный запуск холодного двигателя	
										Затрудненный пуск горячего двигателя	
										Неустойчивый холостой ход	
										Перебои в работе двигателя под нагрузкой	
										Падение мощности двигателя	
										Повышенный расход топлива	
										Повышенная дымность, черный выхлоп	
										Повышенная дымность, сизый выхлоп	
										«Жесткая» работа дизеля	
										Двигатель не развивает оборотов	
										Двигатель идет «вразнос»	
										Подсос воздуха в топливную систему	
										Неисправен электромагнитный клапан	
										Малая пусковая подача, неисправен ТНВД	
										Неисправен ТНВД	
										Засорены топливопроводы, загустело топливо	
										Забит топливный фильтр	
										Загрязнен воздушный фильтр	
										Забиты трубопроводы «обратки»	
										Ранний впрыск топлива	
										Поздний впрыск топлива	
										Нарушения регулировки подачи	
										Неисправна форсунка (форсунки)	
										Неисправна система предпускового подогрева	
										Нарушены зазоры в приводе клапанов	
										Низкая компрессия, износ ЦПГ	
										Повреждение одного из цилиндров	
										Неисправен турбокомпрессор	
										Забит нейтрализатор ОГ	

Рисунок 5.1 - Загальна матриця пошуку несправностей дизельного двигуна [106]

Неисправность, внешнее проявление		Методы устранения
1 Дизель не запускается		
1.1	Воздух в топливной системе	Прокачайте систему насосом ручной подкачки топлива. Устраните подсос воздуха в топливной системе
1.2	Неисправен топливный насос	Снимите топливный насос с дизеля и отправьте в мастерскую для ремонта
2 Дизель не развивает мощности		
2.1	Рычаг управления топливным насосом не доходит до упора	Отрегулируйте тяги управления топливным насосом
2.2	Засорился фильтрующий элемент фильтра тонкой очистки топлива	Замените фильтрующий элемент фильтра тонкой очистки топлива
2.3	Неисправны форсунки	Выявите неисправные форсунки, промойте распылители и прочистите их сопловые отверстия, при необходимости замените распылители
2.4	Неправильно установлен угол опережения впрыска топлива	Установите рекомендуемый угол опережения впрыска топлива
2.5	Засорен воздухоочиститель дизеля	Проведите техническое обслуживание воздухоочистителя
2.6	Неисправен топливный насос	Снимите топливный насос с дизеля и отправьте в мастерскую для ремонта
2.7	Снизилось давление наддува	Снимите турбокомпрессор с дизеля и отправьте в мастерскую для ремонта
3 Дизель неустойчиво работает на холостом ходу		
3.1	Попадание воздуха в топливную систему	Прокачайте систему насосом ручной подкачки топлива. Устраните подсос воздуха в топливной системе
3.2	Не отрегулирована пружина холостого хода в топливном насосе	Отрегулируйте пружину холостого хода
3.3	Неравномерность подачи топлива секциями насоса	Снимите топливный насос с дизеля и отправьте в мастерскую для ремонта

Рисунок 5.2 - Фрагмент таблиці можливих несправностей двигуна Д245.7Е2 та методів їх усунення [121]

Признак						Причина	Проверить	Признак				
X	X	X	X		X	Недостаток воздуха	Чистоту воздушного фильтра. Заужен шланг подачи воздуха, неплотные (ослабленные) соединения.	X	X			
X	X				X	Падение давления наддува	Зауженное (поврежденное, неплотное, ослабленное) соединение между турбокомпрессором и дизелем		X			
X	X				X	Падение давления в выхлопе	Выпускной трубопровод (уплотнение) – ослаблено, повреждено, неплотное					
X	X			X	X	Высокое давление в выпускном трубопроводе	Препятствия в выпускном трубопроводе, поврежден выпускной трубопровод					
		X	X			Высокое давление картерных газов	Чистоту сапунов дизеля	X	X			X
			X		X	Недостаточная смазка	Чистоту подводящего трубопровода турбокомпрессора					
		X	X	X		Чрезмерная смазка	Выводящий трубопровод масла из турбокомпрессора сужен	X	X			
X	X					Низкая компрессия	Состояние клапанов, поршней и поршневых колец					
		X	X	X		Масло в камере сгорания	Состояние клапанов и направляющих, износ поршневых колец	X				
X	X					Плохой впрыск	Топливный насос и распылители форсунок					
X	X				X	Содержание инородных частиц	Воздухоочиститель (комплектность, чистоту)			X		
X	X				X	Инородные частицы в выхлопе	Поврежден корпус турбины, недостающая часть колеса турбины				X	
					X	Вибрация	Установку турбокомпрессора на дизель			X	X	
X	X	X	X	X	X	Турбокомпрессор неисправен	Снимите турбокомпрессор и отдайте его в ремонт	X	X	X	X	X
Падение мощности Черный дым Синий дым Чрезмерный расход масла Масло в выпускном трубопроводе Шумный турбокомпрессор												
Неисправность дизеля								Неисправность турбокомпрессора				

Рисунок 5.3 - Матрица ідентифікації несправностей дизеля Д245.7Е2 [121]

Розробка технологічного процесу передбачає побудову та опис програми і методики діагностування, а також побудову технологічної карти операцій діагностування.

Діагностування КТЗ 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 на холостому ходу;
- 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 (збільшення частоти обертання холостого ходу двигуна від мінімальної до максимальної при положенні важіля управління подачею палива, що відповідає максимальній подачі палива), що імітує роботу двигуна під навантаженням, яке виникає внаслідок дії моменту інерції від інерційних мас ДВЗ.

Як вже було зазначено, експрес-діагностування КТЗ з дизелями за температурою ВГ проводиться в режимах холостого ходу, тому при розробці методики діагностування було прийнято рішення поєднати її з методикою

діагностування дизелів за димністю ВГ в режимі вільного прискорення згідно з ДСТУ 4276:2005 (Додаток Д рис. Д.1 та Д.2).

У загальному вигляді запропонованою методикою експрес-діагностування передбачається:

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

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 КТЗ (Рис. 5.4).

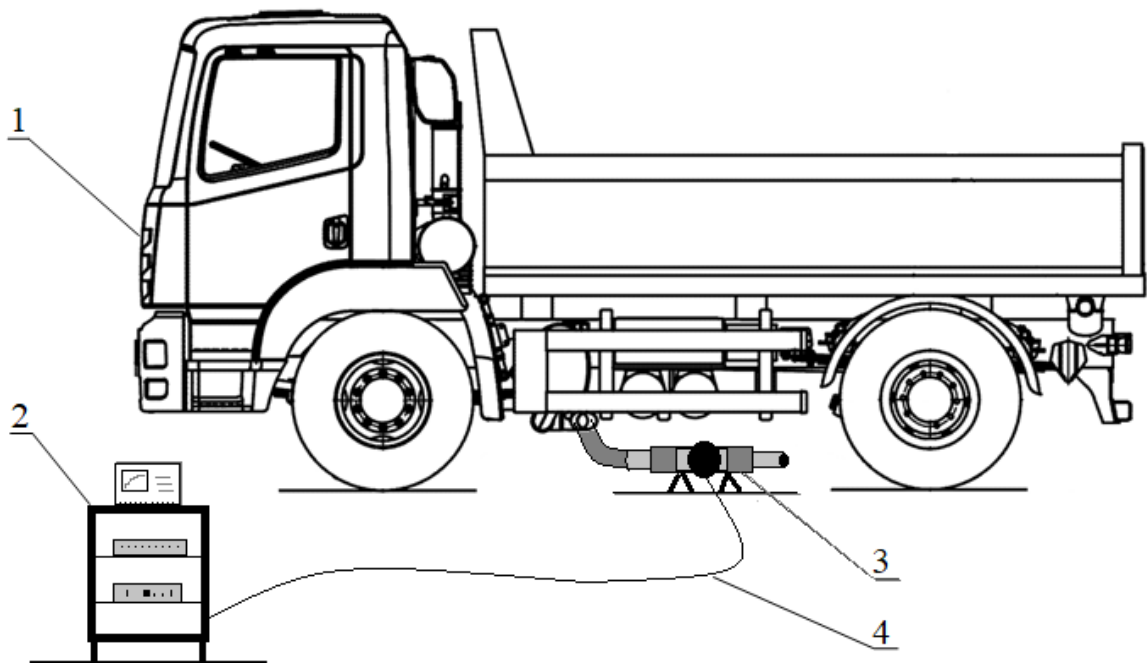


Рисунок 5.4 - Схема діагностування КТЗ з дизелем при контролі роботоздатності з використанням фазо-акустичного датчика температури: 1 – КТЗ; 2 – стойка з обладнанням ФАДТ та комп'ютером з програмним забезпеченням; 3 – ФАДТ з ПАРК; 4 – кабель датчика

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 КТЗ;
5. датчик опорного сигналу першого циліндра для синхронізації температурних імпульсів відпрацьованих газів, що виходять із випускної труби КТЗ, з порядком роботи циліндрів дизеля;
6. термометр для вимірювання температури повітря оточуючого середовища з метою коригування значень температурних імпульсів ВГ;
7. комплект перехідних насадок для під'єднання фазоакустичного датчика температури ВГ до випускних труб КТЗ різного діаметру (у разі необхідності).

Якщо на даному діагностичному пості передбачається проведення не тільки експрес-діагностування з визначення технічного стану дизелів (рис. 5.4), а й операції з пошуку та локалізації несправностей, а також виконання регулювальних робіт, то необхідно передбачити на цьому посту наявність відповідного контрольно-діагностичного, допоміжного обладнання та інструменту.

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 пробоїв випускної системи транспортного засобу та відсутності нещільностей у з'єднаннях, які призводять до витoku відпрацьованих газів.

2. Перевірку теплового стану дизеля КТЗ. 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 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 КТЗ 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 КТЗ:

1. Підключення до виходу випускної системи КТЗ фазоакустичного датчика температури ВГ.

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 ВГ при діагностуванні ДВЗ 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 ВГ на даному режимі буде утворюватись резонанс ($f_0=f_{зб}$). Для кожного значення температури ВГ відповідає своя певна (резонансна) частота збуджуючих звукових коливань ($f_{зб}$). При роботі ДВЗ на кожному з режимів діагностування реєструють частоту збуджуючих коливань $f_{зб}$ та сигнал фазового дискримінатора 5 (рис. 3.1).

Оброблення та аналізування результатів діагностування КТЗ.

Миттєві значення температурних імпульсів ВГ кожного циліндра визначаються шляхом додавання чи віднімання (в залежності від напрямку зсуву фаз) значень температурних імпульсів, отриманих відповідно до сигналу фазового дискримінатора 5 (Рис. 3.1), до (чи від) температури, яка відповідає заданій частоті збуджуючих коливань ($f_{зб}$). Отримані значення температурних імпульсів ВГ співставляють з відповідними їм, згідно з порядком роботи, циліндрами за допомогою сигналу датчика опорного сигналу першого циліндра ДВЗ.

Аналізують відхилення отриманих значень температур імпульсів ВГ 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 КТЗ виконується шляхом порівняння отриманих миттєвих значень температурних імпульсів ВГ 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 ВГ слід порівнювати з кривими, що наведено на рисунках 4.23 – 4.33, 4.42 та 4.43.

Під час діагностування дизеля за димністю ВГ 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 вимірних значень показника димності у режимі вільного прискорення.

Оброблення та аналізування результатів діагностування КТЗ.

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.

Встановлення висновку щодо технічного стану КТЗ.

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.

5.3 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

діагностичного параметру, режимів діагностування та алгоритму пошуку і локалізації несправностей для кожного з КТЗ 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 ДВЗ 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. 5.2 цього розділу дисертаційної 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 КТЗ (або ДВЗ) відсутня інформація щодо методики діагностування, нормованих значень діагностичного параметра та алгоритмів пошуку і локалізації несправностей двигуна, виникає необхідність самостійного вирішення технічних задач.

Принаймі, але не обмежуючись цим, 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 КТЗ відповідно до запропонованого в дисертаційній роботі програмованого технологічного процесу діагностування ДВЗ 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 КТЗ та процесу діагностування;
- організувати аналіз отриманої діагностичної інформації з метою корегування (за необхідності) нормованих значень діагностичного параметру, режимів діагностування, технологічного процесу діагностування тощо.

5.4 Економічна та екологічна ефективність удосконалення способу експрес-діагностування транспортних дизелів

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

Аналіз літературних джерел [122, 123] 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 КТЗ, 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 КТЗ [124 - 128].

Соціальною ефективністю від впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування є підвищення задоволеності споживачів транспортних послуг внаслідок зменшення кількості відмов КТЗ 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 КТЗ 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 [2, 124, 128 - 130]) 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.

5.4.1 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 [122 – 125]. 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 КТЗ, 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 КТЗ 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 ФАДТ визначалися шляхом аналізу вартості придбання, згідно з інформацією отриманою в магазинах через мережу Інтернет [131 - 135], та/або виготовлення його складових частин. Таким чином, розрахунок вартості ФАДТ 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 ФАДТ.

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

Ноутбука – 6000 грн.

Вартість робіт зі збирання ФАДТ може становити – 1000 грн.

Разом загальна вартість виготовлення ФАДТ 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 КТЗ визначили економічний ефект та термін окупності витрат, які пов'язані з виготовленням ФАДТ.

Відповідно до «Методики определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений» [136], під економічним ефектом розуміється різниця між додатковим доходом, який може бути отриманий завдяки зменшенню витрат, перш за все на придбання палива, внаслідок постійного підтримання КТЗ у технічно-справному стані, і витратами пов'язаними з виготовленням ФАДТ, 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 КТЗ 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 ФАДТ.

Термін окупності витрат – це прогнозний період часу, який необхідний

для того, щоб доходи, які отримані від економії палива шляхом підтримання КТЗ у технічно справному стані, повністю покрили витрати на виготовлення ФАДТ.

У літературних джерелах [126, 136] запропоновано до використання для розрахунку прогнозованого терміну окупності спрощену математичну залежність:

$$T = \frac{K_d}{\Delta Pt}, \quad (5.1)$$

де T – термін окупності;

K_d – додаткові капітальні вкладення в нове обладнання (загальна вартість виготовлення ФАДТ), грн;

ΔPt – 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 (ΔPt), який отримують від економії палива, розраховується за наступною формулою [126]:

$$\Delta Pt = (C_{\text{пал}1} - C_{\text{пал}2}) \cdot L, \quad (5.2)$$

де $C_{\text{пал}1}$ – затрати на паливо до впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування, грн/1000 км;

$C_{\text{пал}2}$ – 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 ФАДТ, 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 (ΔPt), який отримують від економії палива, визначали шляхом добутку базової лінійної норми витрати палива КТЗ на коефіцієнт відносної зміни питомої витрати палива та на середньорічний пробіг парку КТЗ цього типу:

$$\Delta Pt = q \cdot \delta_{\bar{g}_e} \cdot L, \quad (5.3)$$

де q – базова лінійна норма витрати палива КТЗ, л/100 км;

$\delta_{\bar{g}_e}$ – 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 ($U8$, $U9$ та $U12$), 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:

$$\delta_{\bar{g}_e} = \frac{\bar{g}_{\text{еспр}} \cdot (1 - \sum W_{i\text{неспр}}) + \sum \bar{g}_{ei\text{неспр}} \cdot W_{i\text{неспр}}}{\bar{g}_{\text{еспр}}} \cdot 100, \quad (5.4)$$

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 аналогічно розрахунку сумарних питомих викидів шкідливих речовин (формули 3.17 – 3.18), а саме за рівнянням:

$$\overline{g_e} = \frac{\sum g_{e,i} \cdot WF_i}{\sum N_{ei} \cdot WF_i}, \quad (5.5)$$

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

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

WF_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 5.1.

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» [137], становить для ГАЗ-3309 – 17,0 л/100 км; середньорічний пробіг одного КТЗ прийняли 50000 км; кількість КТЗ в автопарку становить 20; середня вартість дизельного палива на АЗС України станом на 08.08.2018 становила 27,20 грн [138].

Отримані значення розміру середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів КТЗ при різних ступенях технічних несправностей наведені у табл. 5.2.

У разі одночасного впливу декількох несправностей на технічний стан дизеля КТЗ значення середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення ФАДТ змінюються в залежності від ступеня несправності та ймовірності її появи.

Таблиця 5.1 – 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 θ , ° 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

Таблиця 5.2 – Значення розміру середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів КТЗ при різних ступенях технічних несправностей

№	Параметр, що змінювався		ΔPt , тис. грн/рік	T, міс.
1	Кут випередження впорскування палива θ , ° 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 КТЗ відхилення параметрів роботи паливної системи не повинні значно відхилятися від нормативних, для розрахунку середньорічного доходу та терміну окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів КТЗ, прийняли мінімальні значення відхилень параметрів, а саме: кут випередження впорскування палива (θ) - 22° ПКВ до ВМТ; тиск впорскування палива – 9,5 МПа; відносне збільшення подачі палива – 2,5 %. Таким чином, для автомобіля ГАЗ-3309 розрахунковий середньорічний дохід та термін окупності витрат становить:

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

Аналіз математичних залежностей 5.3 та 5.4, а також результатів розрахунків наведених у табл. 5.1 та 5.2, 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 КТЗ, 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 КТЗ з дизелем за розробленим технологічним процесом удосконаленого способу експрес-діагностування транспортних дизелів з використанням ФАДТ та проведено їх порівняльний аналіз з витратами часу на діагностування КТЗ з дизелем за типовим технологічним процесом «Диагностирования и регулирования автомобилей МАЗ-500А, КрАЗ-256Б и КамАЗ-5320 на топливную экономичность и дымность отработавших газов» (ТП 200 УССР 94-25-85) [127].

Результати порівняльного аналізу трудомісткості робіт (витрат часу) на

діагностування, які наведено у таблиці 5.3, свідчать, що витрати часу на діагностування КТЗ 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 5.3 – Результати порівняльного аналізу трудомісткості робіт (витрат часу) на діагностування КТЗ 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 $t_{\text{вг}}$	-	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:		85,4	50,1

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

5.4.2 Розрахунок екологічного ефекту впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів за температурою відпрацьованих газів

Окрім економічного ефекту, який отримують автотранспортні підприємства, метою впровадження удосконаленого способу експрес-діагностування є екологічна ефективність, яка виражається зменшенням екологічних збитків, що завдаються навколишньому довкіллю забрудненням повітря, земельних та водних ресурсів шкідливими та забруднюючими речовинами від викидів автомобільного транспорту. Як вже було зазначено, автомобільний транспорт – один з найважливіших компонентів суспільного та економічного розвитку, що споживає значну кількість ресурсів і чинить серйозний вплив на навколишнє середовище.

Екологічний збиток – це грошова оцінка негативних змін навколишнього середовища внаслідок його забруднення. Цей збиток включає додаткові витрати на забезпечення життєдіяльності суспільства внаслідок змін у навколишньому середовищі, на відновлення природного середовища до первинного стану, а також, майбутні витрати суспільства внаслідок незворотної втрати певних ресурсів планети.

Розрахунок збитку, що завдано шкідливими викидами дизелями КТЗ, виконали з використанням методики «Розрахунку розмірів відшкодування збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря» [139], рекомендацій щодо узагальненої оцінки збитків від забруднення атмосфери "Временной типовой методикой определения

экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды" [140] та інших підходів до узагальненої оцінки екологічного збитку від токсичності ВГ ДВЗ [92, 130].

Відповідно до методики [139], розмір збитків за наднормативний викид однієї тони забруднюючої речовини в атмосферне повітря розраховується на основі розміру мінімальної заробітної плати, установленної на дату виявлення порушення, помноженої на коефіцієнт 1,1, з урахуванням відповідних регулювальних коефіцієнтів і показника відносної агресивності кожної забруднюючої речовини:

$$З = \sum (G_{\text{шр.}i} \cdot A_i) \cdot 1,1\P \cdot K_T \cdot K_{zi}, \quad (5.6)$$

де $З$ - розмір збитків, грн;

$G_{\text{шр.}i}$ - масові викиди i -тої забруднюючої речовини, що викинута в атмосферне повітря наднормативно за розрахунковий період;

A_i - безрозмірний показник відносної агресивності (небезпечності) i -тої забруднюючої речовини;

$1,1\P$ - розмір мінімальної заробітної плати (Π) на дату виявлення порушення на одну тонну умовної забруднюючої речовини, помноженої на коефіцієнт (1,1), грн/т;

K_T - коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості;

K_{zi} - коефіцієнт, що залежить від рівня забруднення атмосферного повітря населеного пункту i -тою забруднюючою речовиною. Для розрахунків приймаємо $K_{zi} = 1$.

Значення масових викидів i -тої забруднюючої речовини ($G_{\text{шр.}i}$), що потрапляють в атмосферне повітря з ВГ дизеля, було розраховано за формулами 3.14, 3.15, 3.16 та 3.21 розділу 3 дисертаційної роботи під час визначення питомих викидів шкідливих речовин відповідно до Правил ООН № 49-02. Результати розрахунку $G_{\text{шр.}i}$ наведено у табл. 5.4.

Для приведення агресивності шкідливих речовин до агресивності оксиду вуглецю (CO), показник відносної агресивності якого прийнято за 1, були застосовані, відповідно до наведених у літературних джерелах [92, 124, 130], показники відносної агресивності A_i , значення яких наведено у табл. 5.5.

Відповідно до законодавчо встановленого рівня [141], для розрахунку розміру екологічного збитку було прийнято мінімальну заробітну плату (П) у розмірі 3723 грн.

Коефіцієнт, що враховує територіальні соціально-екологічні особливості (K_T), залежить від чисельності мешканців населеного пункту, його народногосподарського значення і розраховується за формулою:

$$K_T = K_{нас} \cdot K_{\phi}, \quad (5.7)$$

де $K_{нас}$ - коефіцієнт, що залежить від чисельності жителів населеного пункту та визначається згідно з табл. 5.6;

K_{ϕ} - коефіцієнт, що враховує народногосподарське значення населеного пункту та визначається згідно з табл. 5.7.

Таблиця 5.4 – Значення масових викидів i -тої забруднюючої речовини ($G_{шр.i}$), усереднених за випробувальний цикл Правил ООН № 49-02, відповідно до несправностей дизеля

№	Параметр, що змінювався		G_{NOx} , г/год	G_{HC} , г/год	G_{CO} , г/год	G_{PT} , г/год
1	Кут випередження впорскування палива θ , ° ПКВ до ВМТ	9	21,8	153,33	146,95	80,49
2		13	26,0	71,94	110,09	31,34
3		15	32,2	13,19	68,13	5,03
4		18	29,82	9,84	53,65	2,96
5		22	30,57	12,84	76,09	3,13
6		25	31,32	9,70	124,30	2,80
7	Тиск впорскування $P_{вп}$, МПа	9,5	26,9	13,45	63,10	5,01
8		14,0	29,9	13,45	51,86	5,69
9	Подача палива $Q_{пал}$ (збільшення відносно справногo стану), %	2,5	26,94	13,74	73,81	3,37
10		8,4	26,86	12,85	118,42	4,37

Таблиця 5.5 – Значення показників відносної агресивності A_i шкідливих речовин, що визначалися під час досліджень

№	Шкідлива речовина	A_i
1	Оксид вуглецю, CO	1,0
2	Вуглеводні НС	3,16
3	Оксиди азоту (за масою), NO_x	41,1
4	Тверді частинки, ТЧ	200,0

Таблиця 5.6 – Значення коефіцієнта, що залежить від чисельності жителів населеного пункту

№	Чисельність населення, тис.чол.	$K_{нас}$
1	до 100	1,00
2	100,1 - 250	1,20
3	250,1 - 500	1,35
4	500,1 - 1000	1,55
5	більше 1000	1,80

Таблиця 5.7 – Значення коефіцієнта, що враховує народногосподарське значення населеного пункту

№	Тип населеного пункту	K_ϕ
1	Організаційно-господарські та культурно-побутові центри місцевого значення з перевагою аграрно-промислових функцій (районні центри, міста, селища районного підпорядкування) та села	1,00
2	Багатофункціональні центри, центри з перевагою промислових і транспортних функцій (республіканський та обласні центри, міста державного, республіканського, обласного значення)	1,25
3	Населені пункти, віднесені до курортних	1,65

Загальний розмір екологічних збитків розраховується як сума розмірів збитків за наднормативний викид в атмосферне повітря кожної забруднюючої речовини. Для розрахунку розміру екологічного збитку за нормативні викиди шкідливих речовин в атмосферне повітря прийняли викиди, що отримані за випробувальним циклом Правил ООН № 49-02 при штатних (оптимальних) регулюваннях систем двигуна OM 615.

У зв'язку з тим, що поява несправностей має випадковий характер, в роботі запропоновано враховувати у розрахунках розміру екологічного збитку не тільки вплив відмов на викиди шкідливих речовин, 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 3, п. 2.5, розділу 2.

Враховуючи дані таблиць 2.1, 2.2, 5.4 – 5.8 було розраховано розміри екологічних збитків при експлуатації КТЗ з дизелем при різних технічних несправностей та при різних кількостях КТЗ в автопарку. Дані розрахунків наведені у табл. 5.8 та графічно зображено на рис. 5.5, 5.6 та 5.7.

Позначення технічної несправності ($\Sigma \text{ неспр}_{\theta; P_{вп}; Q_{пал}}$) показує у числовому значенні, відповідно до табл. 5.4, перемінну параметру (θ – кута випередження впорскування палива; $P_{вп}$ – тиску впорскування палива форсункою; $Q_{пал}$ – відносну зміну подачі палива).

Аналіз отриманих результатів (табл. 5.8 та рис. 5.5) показує, що на розмір збитків від викидів шкідливих речовин значною мірою впливає ступінь несправності (величини відхилення регулювань систем двигуна від нормативного значення) дизеля. Чим більше відхилення показника від нормативного значення, тим більший екологічний збиток наносить експлуатація КТЗ з несправним дизелем, причому ця залежність є нелінійною, а - поліноміальною.

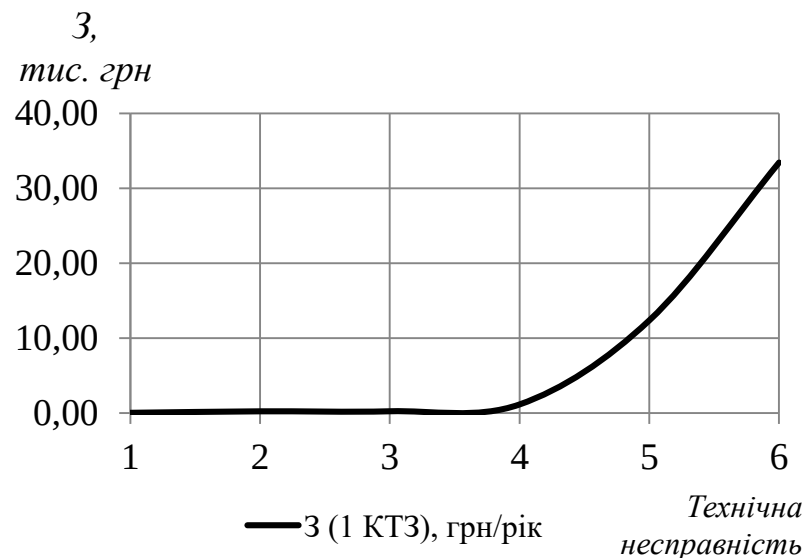


Рисунок 5.5 – Розмір екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря одного КТЗ від зміни кута випередження впорскування палива. Номер технічної несправності відповідає: 1 – 18 ° ПКВ до ВМТ; 2 - 22° ПКВ до ВМТ; 3 - 25° ПКВ до ВМТ; 4 - 15° ПКВ до ВМТ; 5 - 13° ПКВ до ВМТ; 6 - 9° ПКВ до ВМТ

Таблиця 5.8 – Результати розрахунку масових викидів забруднюючих речовин ($G_{\text{вир.}i}$), сумарних масових викидів забруднюючих речовин приведених до СО ($\Sigma G_{\text{вир.}i} \cdot A_i$) та розміру збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря (З).

Технічна несправність	$G_{\text{вир.}NO_x}$, г/год	$G_{\text{вир.}HC}$, г/год	$G_{\text{вир.}CO}$, г/год	$G_{\text{вир.}PT}$, г/год	$\Sigma G_{\text{вир.}i} \cdot A_i$, г/год	З _(1 ктЗ) , тис. грн/рік	З _(20 ктЗ) , тис. грн/рік	З _(100 ктЗ) , тис. грн/рік
Σ неспр _{9;115;0}	29,82	26,11	64,23	11,75	3722,6	33,43	668,57	3342,84
Σ неспр _{13;115;0}	29,82	16,88	60,05	6,18	2574,7	12,35	246,96	1234,81
Σ неспр _{15;115;0}	30,09	10,22	55,29	3,19	1963,1	1,12	22,32	111,61
Справний стан	29,82	9,84	53,65	2,96	1902,3	0,00	0,00	0,00
Σ неспр _{22;115;0}	29,91	10,18	56,19	2,98	1913,2	0,20	4,00	20,01
Σ неспр _{25;115;0}	29,99	9,82	61,66	2,94	1913,7	0,21	4,16	20,81
Σ неспр _{9;95;2,5}	29,82	26,59	66,50	11,84	3744,5	33,83	676,6	3382,98
Σ неспр _{13;95;2,5}	29,82	17,36	62,32	6,27	2596,6	12,75	254,99	1274,94
Σ неспр _{15;95;2,5}	30,09	10,70	57,56	3,28	1985,0	1,52	30,35	151,74
Σ неспр _{18;95;2,5}	29,82	10,32	55,92	3,05	1924,2	0,40	8,02	40,11
Σ неспр _{22;95;2,5}	29,91	10,66	58,47	3,07	1935,1	0,60	12,03	60,15
Σ неспр _{25;95;2,5}	29,99	10,32	63,93	3,05	1939,2	0,68	13,54	67,69
Σ неспр _{18;140;0}	29,82	9,93	53,65	3,03	1963,1	1,12	22,32	111,61
Σ неспр _{18;95;0}	29,82	9,93	53,88	3,01	1915,7	0,25	4,91	24,56
Σ неспр _{18;115;2,5}	29,82	10,24	55,70	3,00	1912,6	0,19	3,78	18,91
Σ неспр _{18;115;8,4}	29,82	10,15	60,22	3,10	1913,9	0,21	4,25	21,23
Σ неспр _{13;140;8,4}	29,82	9,93	66,62	6,39	2601,0	12,83	256,60	1283,00

Результати щодо впливу кількісного складу автопарку КТЗ на розмір екологічних збитків, які наведено у табл. 5.8 та рис. 5.6, 5.7 і 5.8, свідчать про те, що кількість КТЗ в автопарку прямо пропорційно впливає на збільшення екологічних збитків. Суттєвий вплив справляє зміна кута випередження впорскування палива, особливо при значному відхиленні від нормативного значення, та збільшення подачі палива. При одному і тому ж значенні параметра технічної несправності вплив кількості КТЗ на розмір екологічних збитків має лінійну залежність (рис. 5.7 та 5.8).

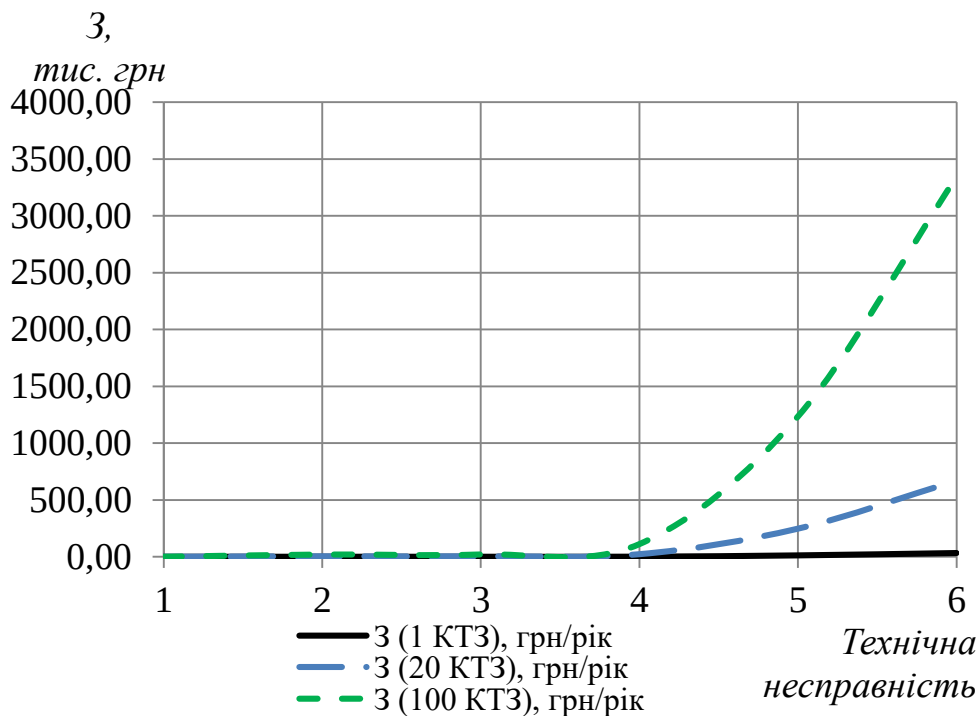


Рисунок 5.6 – Розмір екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від зміни кількості КТЗ автопарку. Номер технічної несправності відповідає зміні кута випередження впорскування палива та становить: 1 – 18 ° ПКВ до ВМТ; 2 - 22° ПКВ до ВМТ; 3 - 25° ПКВ до ВМТ; 4 - 15° ПКВ до ВМТ; 5 - 13° ПКВ до ВМТ; 6 - 9° ПКВ до ВМТ

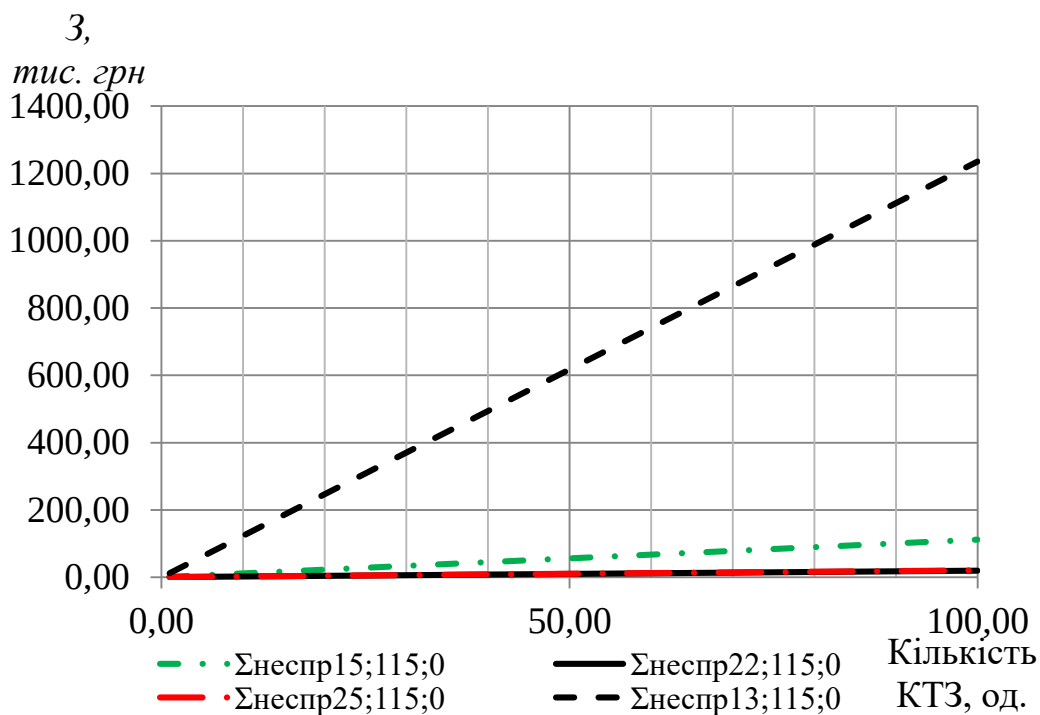


Рисунок 5.7 – Порівняння зміни розміру екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря в залежності від ступеня зміни кута випередження впорскування палива та кількості КТЗ автопарку

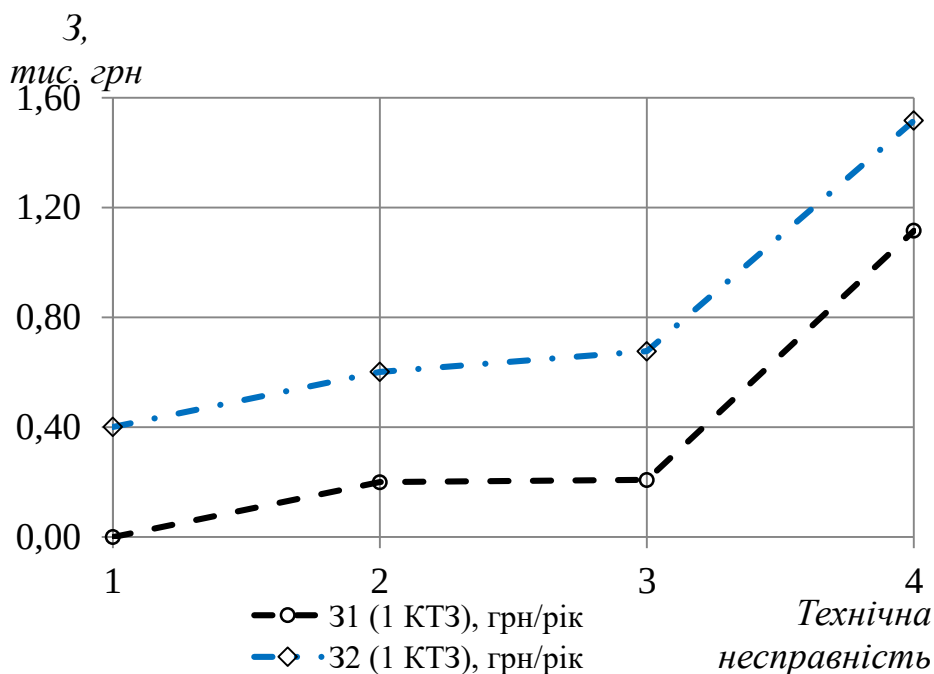


Рисунок 5.8 – Зміна розміру екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря одного КТЗ при одночасній наявності декількох несправностей (Z_2) по відношенню до розміру екологічних збитків отриманого при зміні кута випередження впорскування палива (Z_1)

У разі одночасної наявності декількох несправностей дизеля КТЗ (Z_2 рис. 5.8), значення розміру екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря одного КТЗ по відношенню до розміру екологічних збитків отриманих при зміні кута випередження впорскування палива (Z_1) залежить більшою мірою від ймовірності появи та ступені несправностей. Z_1 отримано при технічних несправностях що відповідають позначенням: 1 - $\Sigma_{\text{неспр}_{18;115;0}}$; 2 - $\Sigma_{\text{неспр}_{22;115;0}}$; 3 - $\Sigma_{\text{неспр}_{25;115;0}}$; 4 – $\Sigma_{\text{неспр}_{15;115;0}}$ (зміна тільки кута випередження впорскування палива), а Z_2 отримано при технічних несправностях що відповідають позначенням: 1 - $\Sigma_{\text{неспр}_{18;95;2,5}}$; 2 - $\Sigma_{\text{неспр}_{22;95;2,5}}$; 3 - $\Sigma_{\text{неспр}_{25;95;2,5}}$; 4 – $\Sigma_{\text{неспр}_{15;95;2,5}}$ (одночасне врахування зміни кута випередження впорскування палива, тиску впорскування палива форсункою (P_{en}) та відносного збільшення подачі палива ($Q_{\text{пал}}$). Точка 1 для Z_1 відповідає технічно справному стану дизеля.

Значення кута випередження впорскування палива (θ), що відповідає 22° , 25° та 15° ПКВ до ВМТ (точки 2, 3 та 4 лінії Z_1) відповідають розміру екологічних збитків 0,20; 0,21 та 1,15 тис. грн/рік відповідно. При наявності декількох несправностей дизеля КТЗ (лінія Z_2) річний екологічний збиток збільшується для точок 1, 2 та 4 на 0,4 тис. грн., а для точки 4 на 0,47 тис. грн. У відносному співвідношенні екологічний збиток збільшився: для точки 2 – у три рази, для точки 3 – більш ніж у три рази, а для точки 4 – на 35,7 %.

5.5 Висновки до розділу 5

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 КТЗ.

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

4. Запропоновано методики розрахунку розміру екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря та прогнозного терміну окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів КТЗ.

Вперше запропоновано враховувати ймовірності появу несправностей дизелів КТЗ при розрахунках економічної та екологічної ефективностей від впровадження удосконаленого способу діагностування.

Встановлено, що прогнозні розмір екологічних збитків та термін окупності витрат залежать від кількісного показника масових викидів забруднюючих речовин з відпрацьованими газами, ступеня несправностей (величини відхилення регулювань систем двигуна від нормативного значення) дизеля, кількості несправностей, що прийнято до розрахунків, та ймовірностей їх появи.

Також, встановлено прямо пропорційний вплив на прогнозні розмір екологічних збитків та термін окупності витрат кількості автомобілів в автопарку і середньорічного пробігу парку автомобілів.

5. Розрахований розмір екологічних збитків за наднормативні викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря становить від 190 до 33830 грн. на рік у розрахунку на один автомобіль.

6. Розрахований прогнозний термін окупності витрат на виготовлення ФАДТ при впровадженні в експлуатації удосконаленого способу діагностування дизелів, на прикладі вантажного автомобіля ГАЗ-3309, складає: у розрахунку на один автомобіль – 66 місяців, а для автопарку кількістю КТЗ 20 одиниць – 3,3 місяці.

ВИСНОВКИ

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

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

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

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

5. Встановлено, що при експрес-діагностуванні з ФАДТ необхідно коригувати значення температури (температурних імпульсів) ВГ дизеля в залежності від температури повітря оточуючого середовища. Вперше

запропоновано методику розрахунку коефіцієнта поправки значень температурних імпульсів ВГ під час діагностування.

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

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

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

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

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

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Статистичний щорічник України за 2015 рік. Офіц. вид. – К.: Державна служба статистики України, - 2016. - 574 с.
2. Хилько М.І. Екологічна безпека України: Навчальний посібник. / М. І. Хилько. – К., 2017. – 267 с.
3. 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>.
4. Исследовать и разработать методы и технические средства диагностирования автомобильных двигателей по параметрам отработавших газов. / Руководитель темы О.Д. Климбуш. // Научно-технический отчёт. ГосавтотрансНИИпроект. Тема 0.54.04. - №76015013. – К., 1976. – 111с.
5. Исследование и оценка выходных параметров дизельных двигателей ЯМЗ-236 и ЯМЗ-238, применяемых для диагностирования их технического состояния. / Руководитель работы Б.В. Левинсон. // Научно-технический отчёт. ГосавтотрансНИИпроект. Тема 054.381. - №71070834; Инв. № Б247659. – К., 1972. – 61с.
6. Исследование диагностических симптомов и разработка аппаратуры для диагностики дизельных двигателей ЯМЗ-236, ЯМЗ-238. / Руководитель темы Я.И. Несвитский. // Научно-технический отчёт. КАДИ. Тема № 68/5. - № 71011481; Инв. № Б104016. – К., 1970. – 107 с.
7. Климбуш О.Д. Исследование и выбор диагностических параметров автомобильных дизелей семейства ЯМЗ: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / О.Д. Климбуш. - К., КАДИ, - 1973. – 213 с. ил.
8. Разработать и создать типовой пост для диагностирования дизельных двигателей грузовых автомобилей и автобусов. Раздел: Разработка методики диагностирования дизельных двигателей ЯМЗ по температуре отработавших

газов. / Руководитель работы Б.В. Левинсон. // Научно-технический отчёт. ГосавтотрансНИИпроект. Тема № 9/5. – К., 1973. – 23 с.

9. Разработать и освоить методы и технические средства диагностирования автомобильных двигателей с целью снижения токсичности отработавших газов. / Руководитель темы О.Д. Климпуш. // Заключительный отчёт. ГосавтотрансНИИпроект. Тема 0.54.04. – К., 1980. – 65с.

10. Говорущенко Н.Я. Основы эксплуатационной диагностики автомобилей / Н.Я. Говорущенко, А.В. Гогайзель, Б.И. Климец. - Х.: ХАДИ, 1967. – 131 с.

11. ГОСТ 20911-89 Техническая диагностика. Термины и определения.

12. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения.

13. ДСТУ 3649-97 Засоби транспортні дорожні. Експлуатаційні вимоги безпеки до технічного стану та методи контролю.

14. ГОСТ 25044-81 Техническая диагностика. Диагностирование автомобилей, тракторов, сельскохозяйственных, строительных и дорожных машин. Основные положения.

15. Ждановский Н.С. Диагностика автотракторных двигателей / Н.С. Ждановский, В.А. Аллилуев, А.В. Николаенко, Б.А. Улитовский. - Л.: Колос, 1977. – 264 с.

16. Мирошников Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал. - М.: Транспорт, 1977. – 263 с.

17. Малкин В.С. Техническая эксплуатация автомобилей: Теоретические и практические аспекты. Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / В.С. Малкин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 288 с.

18. Кибернетика и диагностика. Выпуск I. // Сборник работ Рижский политехнический институт. – Рига: Издательство «Звайгзне», 1966. – 119с.

19. Техническая диагностика. // Труды I Всесоюзного совещания по технической диагностике. - М.: Издательство «Наука», 1972. – 368 с.

20. ГОСТ 23435-79 Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров.

21. Губертус Гюнтер. Диагностика дизельных двигателей. - М.: ЗАО "КЖИ" За рулём", 2004. – 176 с.

22. Разработать и создать автоматизированную станцию комплексного диагностирования технического состояния автомобилей с дизельными двигателями с использованием электронных управляющих систем с пропускной способностью 15 – 20 автомобилей в смену: Этап I. Симптоматика неисправностей дизельных двигателей. / Руководитель темы О.Д. Климуш. // Научно-технический отчёт. ГосавтотрансНИИпроект. - №75055016. – К., 1974. – 66 с.

23. Ерохов В.И. Системы впрыска легковых автомобилей: эксплуатация, диагностика, техническое обслуживание и ремонт / В.И. Ерохов. - М.: Астрель, 2003. – 159 с.

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

25. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов / А.С. Орлин, М.Г. Круглов. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1985. – 456 с.

26. Архангельский В.М., Вихерт М.М. и др. Автомобильные двигатели. Учебник для вузов / В.М. Архангельский, М.М. Вихерт и др. – М.: Машиностроение, 1967. – 496 с.

27. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Справочник / Б.Н. Файнлейб. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с. ил.

28. Рекомендации по методам технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания поршневых. Методические рекомендации МР 609-14-85. - Горьковский филиал ВНИИНМАШ. - 1986. -15 с.

29. Чигринец А.Д. Бесконтактная тепловая диагностика транспортных машин / А.Д. Чигринец. - К.: Высшая школа, 1989. – 168 с.
30. Канарчук В.Е. Диагностирование топливной системы дизеля по его тепловому излучению / В.Е. Канарчук, Г.Н. Гелетуха, И.И. Попельши // Автомобильная промышленность. № 9 – М.: Машиностроение, 1986. – С. 12 - 13.
31. Грехов Л.В. Топливная аппаратура дизелей с электронным управлением. Учебно-практическое пособие / Л.В. Грехов. - М.: Легион-Автодата, 2003. – 176 с. ил.
32. Hambright Robert. Diagnostics of diesel engines using exhaust smoke / SAE Prepr. – 1976. - № 760833.- 8p.
33. ГОСТ 14846-81 Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.
34. ГОСТ 18509-88 Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний.
35. Болдин А.П. Диагностика автомобильных двигателей при помощи спектрального анализа отработанного масла. Надёжность и диагностика. ч.І. – М.: МАДИ, 1969.
36. 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.
37. Стефановский Б.С. Испытания двигателей внутреннего сгорания / Б.С. Стефановский, Е.А. Скобцов, Е.К. Корси и др. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
38. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. Учебник для вузов / И.Я. Райков. – М., Высшая школа, 1975. – 320 с.
39. Белов П.М. Двигатели армейских машин. Часть первая. Теория / П.М. Белов, В.Р. Бурячко, Е.И. Акатов. – М., Воениздат, 1971. – 512 с.
40. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни: Підручник / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2004. – 476 с.

41. Колчин А.И. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей: Учеб.пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. - 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 2002. – 496 с.

42. Орлин А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, В.И. Ивин, М.Г. Круглов и др. – 3-е изд. – М.: Машиностроение, 1971. – 400 с.

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

44. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згоряння: 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.

45. 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.

46. 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. Тріфонов. - К.: НТУ, 2015. – 244 с.

47. Ждановский Н.С. Бестормозные испытания тракторных двигателей / Н.С. Ждановский. – Л.: Машиностроение, 1966. – 178 с.

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

49. Казедорф Ю. Системы впрыска дизельных двигателей / Ю. Казедорф, Э. Войзетшлегер; Перевод с нем. ООО «СтарСПб». – М.: ООО «Книжное издательство «За рулём», 2012. – 320 с.

50. Голубков Л.Н. Топливные насосы высокого давления распределительного типа: Учебное пособие / Л.Н. Голубков, А.А. Савастенко, М.В. Эммиль. - 4-е изд., перераб. – М.: «Легион-Автодата», 2000. - 176 с.

51. 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.

52. Канарчук В.Е. Экспресс-диагностирование двигателей инфракрасным радиометром / В.Е. Канарчук, Г.Н. Гелетуха, И.И. Попельш, В.И. Рябый // Автомобильная промышленность. № 4 – М.: Машиностроение, 1985. – С. 21.

53. Попельш И.И. Разработка метода термометрической диагностики ДВС: автореферат дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10. “Эксплуатация автомобильного транспорта” / И.И. Попельш - К., - 1993. – 27 с.

54. Патент №2511801 С2 Російська Федерація, МПК G01M 15/04 (2006.01), G01M 15/10 (2006.01), «Способ диагностики двигателя внутреннего сгорания» / В.Е Колпаков, Л.В. Тишкин / (Російська Федерація); Заявник і патентовласник: Санк-Петербургский государственный аграрный университет, Державний № 2012117023/06; заявл. 26.04.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. №10.

55. Исследование мгновенной температуры выпускных газов / Рук. Работы М.Г. Круглов. // Отчет. МВТУ им. Н.Э. Баумана. Тема 32-2/68. - № 172000443; Инв. № Б154344. - Г., - 1972. – 168 с.

56. 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.

57. Исследование областей применения быстродействующих акустических систем регулирования авиационных двигателей и путей оценки работоспособности газовых турбин авиационных ГТД в эксплуатационных условиях / Рук. Работы В.Секистов. // Отчёт. КВВАИУ. Тема №2775. - 1976. - 188 с.

58. 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.

59. 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.

60. 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.

61. 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.

62. 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.

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

64. Воронин В.В. Временные отношения на множестве дефектов // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. - 2001. - № 6. - С.67 – 69.

65. Воронин В.В. Анализ причинно-следственных отношений на множестве возможных дефектов // Информатика и системы управления. - 2001. - №1. - С. 65-73.

66. Воронин В.В. Формальное преобразование соответствий между дефектами и их диагностическими показателями // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-14: Сб. трудов международ. науч. конф. Т.2. Смоленск, - 2001. - С.124-127.

67. Воронин В.В. Распределение вероятностей на множестве формальных дефектов // Известия вузов. Приборостроение. - 2001. - №5. - С.57 – 61.

68. Брюле Д.Д. Отыскание неисправностей в технических устройствах / Д.Д. Брюле, Р.А. Джонсон, Е.Д. Клетский // Зарубежная радиоэлектроника. - 1961. - № 7. - С.42-58.

69. Поспелов Д.А. Логико-лингвистические модели в системах управления / Д.А. Поспелов. - М: Энерго-издат, 1981. - 231 с. ил.

70. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. - М.: Наука, 1986. - 288 с.

71. Биргер Н.А. Техническая диагностика / Н.А. Биргер. - М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.

72. Горелик А.Л. Методы распознавания / А.Л. Горелик, В.А. Скрипкин. - М.: Высш. шк., 1984. – 208 с.

73. Пархоменко П.П. Основы технической диагностики. Оптимизация алгоритмов диагностирования, аппаратные средства. Кн. 1 / П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян. - М.: Энергия, 1981. – 464 с.

74. Грундспенькис Я.А. Построение топологической модели объекта / Я.А. Грундспенькис, З.П. Маркович, Я.Я. Осис. // Кибернетика и диагностика. Рига: Зинатне, - 1972. - Вып.5. - С.19-35.

75. Шалобанов С.В. Структурные методы диагностирования линейных непрерывных систем управления / С.В. Шалобанов. - Хабаровск: Изд-во Хабар.гос. техн. ун-та, 1997. – 87 с.

76. Ксенз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств / С.П. Ксенз. - М: Радио и связь, 1989. – 248 с.

77. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. - М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.

78. Гулеев В.А. Диагностирование программного обеспечения микропроцессорных систем / В.А. Гулеев, Ю.М. Коростиль. - К.: Техніка, 1991. – 138 с.

79. Введение в техническую диагностику / [Г.Ф. Верзаков, Н.В. Киншт, В.И. Рабинович, Л.С. Тимонен]; ред. К.Б. Карандеева. - М.: Энергия, 1968. - 224 с.

80. Согомонян Е.С. Контроль работоспособности и поиск неисправностей в функционально связанных системах / Е.С. Согомонян // Автоматика и телемеханика. – 1964. – Т. 25, № 6. – С. 5 – 10.

81. Протопопов В.А. Инженерные методы технической диагностики состояния авиационного оборудования летательных аппаратов / В.А. Протопопов. - К.: КВВАИУ, 1973. – 79 с.

82. Горохов В. Г. Логика и техника: от теории электрических цепей к наносистемотехнике. - Режим доступа: http://iphras.ru/uplfile/logic/log18/LI-18_Gorokhov.pdf

83. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Издательство «Статистика», 1974. – 192 с.

84. Гутаревич Ю.Ф. Диагностирование технического состояния бензиновых двигателей / Ю.Ф. Гутаревич, К.И. Луковкин, В.А. Рубцов. // Двигателестроение. - 1985. - № 2. - с. 31 – 32.

85. Левин М.И. Автоматическая техническая диагностика, её аспекты, проблемы и место в комплексной системе автоматизации дизелей / М.И. Левин. // Двигателестроение. - 1979. - № 11. - с. 27–32.

86. Туренко А.Н. Проектирование диагностического обеспечения транспортных машин: учеб. пособие / А.Н. Туренко, В.Д. Мигаль, Л.А. Рыжих. – Х.: Майдан, 2016. – 392 с.

87. 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.

88. 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.

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

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

91. https://abc.vvsu.ru/books/tehn_akspl_sil_agreg/page0008.asp

92. Двигуни внутрішнього згоряння: 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.

93. Бухмиров В.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнышкова // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2009. –102 с.

94. <https://ru.wikipedia.org/wiki>

95. <https://www.dpva.ru>

96. <http://www.car-tales.ru>

97. Кухлинг Х. Справочник по физике. Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.

98. Авторське свідоцтво №1012045 А СРСР, МПК G01K 11/22, G01K 13/02, «Струйно-акустический датчик температуры» / И.И. Власов, И.Т. Султанов, Н.П. Урахчинский / (СРСР); Заявник і патентовласник: Казанский авиационный институт им. Туполева, заявл. 06.04.1981; опубл. 15.04.1983, Бюл. №14.

99. Авторське свідоцтво №688997 СРСР, МПК H04R 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.

100. Сергеев А.Г. Метрологическое обеспечение автомобильного транспорта / А.Г. Сергеев. - М.: Транспорт, 1988. - 247 с.

101. Белкин И.М. Средства линейно-угловых измерений. Справочник / И.М. Белкин. – М.: Машиностроение, 1987. – 368 с.

102. <http://cito-web.yspu.org/link1/lab/lab9/node3.html>

103. <https://bourabai.ru/metrology/metrology14.htm>

104. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування Руководства по выражению неопределенности измерений (РМГ 43-2001, IDT).

105. Сиденко В.М. Основы научных исследований / В.М. Сиденко, И.М. Грушко. – Х.: Вища школа, 1977. – 200 с.

106. Беляев В.П. Испытания автомобилей: учебное пособие. / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. - 293 с.

107. Кушвид Р.П. Испытания автомобиля: учебник / Р.П. Кушвид. – М.:МГИУ, 2011. – 351 с.

108. Лиханов В.А. Снижение токсичности автотракторных дизелей / В.А. Лиханов, А.М. Сайкин // - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Колос, 1994. – 224 с.

109. Правила ООН № 49-02. Єдині технічні приписи, щодо офіційного затвердження двигунів із запалюванням від стиснення і двигунів, які працюють на природному газі, а також двигунів із примусовим запалюванням, які працюють на зрідженому нафтовому газі (ЗНГ), і дорожніх транспортних засобів, оснащених двигунами із запалюванням від

стиснення, двигунами, що працюють на природному газі, і двигунами з примусовим запалюванням, що працюють на ЗНГ відносно викидуваних ними забруднюючих речовин.

110. ГОСТ 21393-75 Автомобили с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. Требования безопасности.

111. Правила ЕЭК ООН № 24. Единообразные предписания, касающиеся: I. Официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ; II. Официального утверждения автотранспортных средств в отношении установки на них двигателей с воспламенением от сжатия, официально утвержденных по типу конструкции; III. Официального утверждения автотранспортных средств с двигателями с воспламенением от сжатия в отношении выброса видимых загрязняющих веществ; IV. Измерения мощности двигателей с воспламенением от сжатия.

112. Коледа С.И. Мерседес: Покупка, эксплуатация, техническое обслуживание / С.И. Коледа, Г.С. Китурко. – Мн.: ООО «Лазурак», 1995. – 216 с.

113. Х.Р. Этцольд, Mercedes W123. Обслуживание, устройство, ремонт. Серия «Это делается так...», том 56, 57. – Санкт-Петербург: «ЕТС», 1997. – 188 с.

114. ДСТУ ГОСТ 10578:2003 Насоси паливні дизелів. Загальні технічні умови.

115. ГОСТ 10579-88 Форсунки дизелей. Общие технические условия.

116. Гурьянов В.В. Расчёт температур сжатого воздуха и поверхности трубопроводов в питающей части автомобильной пневмосистемы / В.В. Гурьянов. // Исследование конструкций и эксплуатационных свойств автомобилей. Сборник научных трудов МАДИ, 1986. - С. 107 – 113.

117. Система для удаления конденсата из глушителя двигателя. ВИНТИ, Поршневые и газотурбинные двигатели. Экспресс-информация, 1988, - №23, рефераты 110-113, - С.1-20.

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

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

120. <http://www.delicaclub.ru/forum/uploads/post-124-1141287308.jpg>

121. Дзели Д-243, Д-245 и их модификации. Руководство по эксплуатации 243-0000100РЭ. [Електронний ресурс]. – Минск, 2009. - Режим доступу: <http://www.po-mmz.minsk.by/catalogue/engines/view/1/>

122. Сафронов Э.А. Транспортные системы городов и регионов. Учебное пособие / Э.А. Сафронов. – М.: Изд-во АСВ, 2007. – 272 с.

123. Горяинов А.Н. Транспортная диагностика. Книга 1. Научные основы транспортной диагностики (диагностический подход в системах транспорта): Монография / А.Н. Горяинов. – Харьков: НТМТ, 2014. – 291 с.

124. 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.

125. 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.

126. Руководство по диагностике технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта. РД 200 УССР 90-82.

127. Технологический процесс диагностирования и регулирования автомобилей МАЗ-500А, КрАЗ-256Б и КамАЗ-5320 на топливную экономичность и дымность отработавших газов. ТП 200 УССР 94-25-85.

128. Рибіна О. І. Методичні особливості оцінки економічного збитку від впливу залізничного транспорту / О. І. Рибіна // Mechanism of Economic Regulation. - 2012. - № 3. - С. 143-149. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mre_2012_3_19

129. 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.

130. Шимова О.С. Экономическая Эффективность мероприятий по сохранению биологического разнообразия / О.С. Шимова, О.Н. Лопачук, В.М. Байчоров; под общ. Ред. О.С. Шимовой. – Минск: Беларус. Навука, 2010. – 123 с. - Режим доступу: <https://books.google.com.ua>

131. <https://prom.ua/p61291270-gromkogovoritel-demsh.html>

132. <https://showmarket.com.ua/product/drayiver-dlya-kolokola-big-tsu-75-p3799/#tab=3>

133. <https://showmarket.com.ua/product/translyacionnyyi-usilitel-moschnosti-sky-sound-sk-108-100w-8om-80w-100v--p20166/>

134. <http://mlab.org.ua/shop/shop-price.html>

135. <https://rozetka.com.ua/notebooks/c80004/filter/sort=cheap/>

136. Методика (основные положения) определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. // - Москва: ВНИИПИ. 1986.

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

138. <https://index.minfin.com.ua/markets/fuel/dt>

139. Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. // Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 10.12.2008 N 639. - Електронний ресурс. Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0048-09>

140. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды / А.С. Быстров и др. – М.: Экономика, 1986. – 96 с.

141. Закон України Про Державний бюджет України на 2018 рік від 07.12.2017 р., № 2246-VIII. / (Верховна Рада України. Бібліотека офіційних видань). - Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2246-19>

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових фахових виданнях

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

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

Публікації апробаційного характеру

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

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

13. Колобов К.С. Розробка засобу експрес-діагностування двигунів колісних транспортних засобів. // Жерновий А.С., Колобов К.С. / LXV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів

університету. – К: НТУ, 2009. -440с., С.57.

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

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

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

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

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

Свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір

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

Патенти на корисну модель

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

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.

Апробація результатів дисертації.

Теоретичні, методичні та практичні положення дисертаційної роботи представлені та доповідались на 2-х міжнародних та 7 всеукраїнських науково-технічних конференціях:

- 63 науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2007 р., м. Київ (доповідь);

- LXIV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2008 р., м. Київ (публікація тез);

- LXV науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2009 р., м. Київ (публікація тез);

- LXVI науково-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2010 р., м. Київ (доповідь);

- LXVIII науково-практична конференція науково-педагогічних

працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету, НТУ, 2012 р., м. Київ (публікація тез);

- міжнародній українсько-польській конференції «Покращення конструктивних та експлуатаційних показників автомобілів та двигунів», НТУ, 2012 р., м. Київ (доповідь);

- LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2017 р., м. Київ (доповідь);

- LXXIV наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, НТУ, 2018 р., м. Київ (доповідь);

- 16-й міжнародній науково-технічній конференції «Наука – освіті, виробництву, економіці», БНТУ, 2018, м. Мінськ (публікація тез).

СВІДОЦТВА ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

УКРАЇНА



СВІДОЦТВО
про реєстрацію авторського права на твір

№ 83350

Стаття "Дослідження впливу несправностей систем та механізмів дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів"

(вид, назва твору)

Автор(и) Колобов Костянтин Сергійович

(повне ім'я, псевдонім (за наявності))

Дата реєстрації 30.11.2018

Державний секретар Міністерства економічного розвитку і торгівлі України О. Ю. Перевезенцев





**МІНІСТЕРСТВО ЕКОНОМІЧНОГО РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ УКРАЇНИ
(Мінекономрозвитку України)**

вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, тел. 523-93-94, факс 226-31-81
Web: <http://www.me.gov.ua>, e-mail: meconomy@me.gov.ua, код ЄДРПОУ 37508596

Р І Ш Е Н Н Я

ПРО РЕЄСТРАЦІЮ АВТОРСЬКОГО ПРАВА НА ТВІР

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України розглянуло заяву

Колобов Костянтин Сергійович, вул. Бальзака, 20, кв. 57, м. Київ, 02225
(повне ім'я автора, адреса)

заявка від 28.11.2018 № 85162

про реєстрацію авторського права на твір і прийняло рішення зареєструвати авторське право на твір Стаття "Дослідження впливу несправностей систем та механізмів дизеля на його екологічні, енергетичні показники та температуру відпрацьованих газів";
Колобов Костянтин Сергійович

(вид, повна, скорочена (за наявності) назва твору, повне ім'я, псевдонім (за наявності) автора (ів))

Внесення відомостей до Державного реєстру свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір та видача свідоцтва будуть здійснені за умови сплати збору за оформлення і видачу свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір відповідно до п.3 постанови Кабінету Міністрів України від 27 грудня 2001 року № 1756 "Про державну реєстрацію авторського права і договорів, які стосуються права автора на твір".

Якщо протягом трьох місяців від дати одержання заявником рішення про реєстрацію авторського права на твір Управління державних реєстрацій Департаменту інтелектуальної власності Міністерства економічного розвитку і торгівлі України не одержало документ про сплату збору за оформлення і видачу свідоцтва у розмірі та порядку, визначених законодавством, або копію документа, що підтверджує право на звільнення від сплати зазначеного збору, заявка вважається відхиленою і реєстрація авторського права та публікація відомостей про реєстрацію Управлінням державних реєстрацій Департаменту інтелектуальної власності Міністерства економічного розвитку і торгівлі України не проводиться.

Державний секретар
Міністерства економічного розвитку
і торгівлі України



О. Ю. Перевезенцев

ПАТЕНТИ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ



(11) 117911

(19) UA

(51) МПК

G01M 15/04 (2006.01)

G01M 15/10 (2006.01)

(21) Номер заявки: u 2017 01386

(22) Дата подання заявки: 14.02.2017

(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.07.2017

(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: 10.07.2017, Бюл. № 13

(72) Винахідники:

Жерновий Анатолій
Сергійович, UA,
Колобов Костянтин
Сергійович, UA

(73) Власники:

Жерновий Анатолій
Сергійович,
вул. Тимошенка, 6-а, кв. 10, м.
Київ, 04212, UA,
Колобов Костянтин
Сергійович,
вул. Бальзака, 20, кв. 57, м.
Київ, 02225, UA

(54) Назва корисної моделі:

СПОСІБ ДІАГНОСТУВАННЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ТЕМПЕРАТУРОЮ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

(57) Формула корисної моделі:

Спосіб діагностування двигунів внутрішнього згоряння за температурою відпрацьованих газів (ВГ) в якому двигун виводять на номінальний тепловий режим, за допомогою тепловізора вимірюють температурне поле на поверхні випускного колектора, визначають конфігурацію випускного колектора і коефіцієнт, що враховує особливості руху ВГ у випускному колекторі, розраховують фактичну температуру відпрацьованих газів для кожного циліндра, та встановлюють конкретне місце або кілька місць несправностей в двигуні, який відрізняється тим, що у режимах холостого ходу проводиться діагностування ДВЗ за миттєвими значеннями температурних імпульсів кожного циліндра, які визначаються на виході із випускної труби за допомогою фазоакустичного датчика температури, миттєві значення температурних імпульсів порівнюються з еталонними значеннями, і за їх різницею визначається технічний стан двигуна як в цілому, так і окремо кожного циліндра.



(11) **117912**(19) **UA**

(51) МПК

G01K 11/22 (2006.01)**G01K 11/24 (2006.01)**(21) Номер заявки: **u 2017 01387**(22) Дата подання заявки: **14.02.2017**(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: **10.07.2017**(46) Дата публікації відомостей про видачу патенту та номер бюлетеня: **10.07.2017, Бюл. № 13**(72) Винахідники:
**Жерновий Анатолій
Сергійович, UA,
Колобов Костянтин
Сергійович, UA**(73) Власники:
**Жерновий Анатолій
Сергійович,
вул. Тимошенка, 6-а, кв. 10, м.
Київ, 04212, UA,
Колобов Костянтин
Сергійович,
вул. Бальзака, 20, кв. 57, м.
Київ, 02225, UA**

(54) Назва корисної моделі:

АКУСТИЧНИЙ ДАТЧИК МИТТЄВОЇ ТЕМПЕРАТУРИ ПУЛЬСУЮЧИХ ПОТОКІВ ГАЗІВ

(57) Формула корисної моделі:

Акустичний датчик миттєвої температури пульсуючих потоків газів, що містить резонатор прямокутної форми у перерізі, який має дифузор на впуску та конфузор на випуску, випромінювач акустичних коливань, з'єднаний звуководом з бічною поверхнею резонатора, приймач акустичних коливань, який з двох сторін з'єднано приймаючими звуководами з камерою резонатора, який відрізняється тим, що оснащений компенсуючим каналом (трубопроводом), через який у протифазі підводиться пульсуючий тиск газів з камери резонатора до тильної порожнини діафрагми випромінювача.

ПРОГРАМА РОЗРАХУНКІВ ПИТОМИХ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ

```
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Unit1.h"
#include <math.h>
#include <stdio.h>
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"

TForm1 *Form1;
void GetValue();
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent *Owner)
    : TForm(Owner)
{
    //-----
    // VPAS module
    // розрахунок результатів випробування за циклом Правил ООН №49-02

    // Колобов К.С.
    // виробник двигуна - Mercedes-Benz
    // модель (тип) двигуна: OM-615
    // заводський номер двигуна - б/н

    //#####
    // розрахунок викидів:
    //#####

    // кількість режимів
    int NOPi = 13;

    // параметри двигуна
    float V_engine;           // робочий об'єм ДВС (л)
    float n_rpm[13];          // частота обертання к.в. ДВЗ, об/хв
    float Ne[13];              // потужність ДВЗ, кВт
    float Mk[13];              // крутний момент, Нм

    // концентрации загрязняющих веществ, ppm:
    float C_CO[13];            // монооксид вуглецю
    float C_CO_coerced[13];    // *****
    float C_CH[13];            // вуглеводні
    float C_NOx[13];            // оксиди азоту
    float C_NOx_coerced[13];    // *****
    float A_NOx[13];           // коефіцієнт приведення для NOx:
```



```

// атмосферні умови:
float Pa[13];           // атмосферний тиск, кПа
float Pd[13];           // тиск водяної пари, кПа
float Ra[13];           // относительная влажность воздуха, %
float Pha[13];          // тиск насиченого водяного пара, кПа
float T_t_C[13];        // температура на вході в двигун, град. С
float T_t_K[13];        // температура на вході в двигун, град. К
const float B0 = 101.3; // стандартное атмосферное давление, кПа
const float T0 = 273.15; // температура воздуха при которой
air_dens_norm = 1,293 кг/м3, К

// масові викиди, г/час :
float M_CO[13];         // монооксид вуглецю
float M_CH[13];         // вуглеводні
float M_NOx[13];        // оксиди азоту

// масові витрати, кг/час
float G_exh_gases[13];  // відпрацьованих газів
float G_air[13];        // повітря
float G_air_row[13];    // *****
float G_fuel[13];       // палива
float G_fuel_row[13];   // виміряне (неприведене) значення

float fuel_density;     // густина палива

float K_ponderability[13]; // фактор вагомості режима (коэффициент
К)
/*
K_ponderability[0] = 0.0833;
K_ponderability[1] = 0.08;
K_ponderability[2] = 0.08;
K_ponderability[3] = 0.08;
K_ponderability[4] = 0.08;
K_ponderability[5] = 0.25;
K_ponderability[6] = 0.0833;
K_ponderability[7] = 0.10;
K_ponderability[8] = 0.02;
K_ponderability[9] = 0.02;
K_ponderability[10] = 0.02;
K_ponderability[11] = 0.02;
K_ponderability[12] = 0.0833;
*/

float specific_emission_CO;
float specific_emission_CH;
float specific_emission_NOx;

float M_sum_CO = 0.0;
float M_sum_CH = 0.0;

```

```

float M_sum_NOx = 0.0;

float Ne_Ki_sum = 0.0;

float H[13], A[13], B[13], K[13], E[13], Kw[13], Ffn[13], Kw2[13];

int i;

// Файлы для збереження даних

FILE *f_1 = fopen("t13m_R49.dat", "w+");
FILE *f_2 = fopen("res13m_R49.dat", "w+");
FILE *f_air_cons = fopen("res_air_cons.dat", "w+");

#####
##### Розрахунок#####
#####

GetValue(); // завантаження вихідних даних

//-----
// Приведення значень:
//-----
for (i = 0; i < NOPi; i++) {
    Ne[i] = (Mk[i] * n_rpm[i]) / 9550;
}
for (i = 0; i < 13; i++) {
    T_t_K[i] = T_t_C[i] + T0;
}
for (i = 0; i < 13; i++) {
    Pha[i] = exp(log(6.11213) + (17.5043 * T_t_C[i]) / (241.2 +
T_t_C[i])) * 0.1;
}
for (i = 0; i < 13; i++) {
    H[i] = (6.220 * Ra[i] * Pha[i]) / (Pa[i] - Pha[i] * (Ra[i] *
pow(10, -2)));
}
Label8->Caption = H[2];

for (i = 0; i < 13; i++) {
    Kw2[i] = (1.608 * H[i]) / (1000 + (1.608 * H[i]));
}
Label3->Caption = Kw2[2];

for (i = 0; i < 13; i++) {
    Ffn[i] = 1.969 / (1 + G_fuel_row[i] / G_air_row[i]);
}
Label1->Caption = Ffn[2];

for (i = 0; i < 13; i++) {

```

```

        E[i] = G_fuel_row[i] / (G_air_row[i] - (H[i] / 1000));
    }
    Label7->Caption = E[2];

    for (i = 0; i < 13; i++) {
        Kw[i] = (1 - (Ffn[i] * E[i])) - Kw2[i];
    }
    Label2->Caption = Kw[2];

    for (i = 0; i < 13; i++) {
        C_CO_coerced[i] = Kw[i] * C_CO[i];
    }
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        A[i] = 0.309 * E[i] - 0.0266;
    }
    Label6->Caption = A[2];

    for (i = 0; i < 13; i++) {
        B[i] = (-0.209 * E[i]) + 0.00954;
    }
    Label5->Caption = B[2];

    for (i = 0; i < 13; i++) {
        K[i] = 1 / (1 + A[i] * (H[i] - 10.71) + B[i] * (T_t_K[i] -
298)));
    }
    Label4->Caption = K[2];

    // приведення витрати палива:
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        G_fuel[i] = G_fuel_row[i];
    }
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        G_air[i] = G_air_row[i];
    }
    // G_air - look for upper calc/// */
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        G_exh_gases[i] = G_air[i] + G_fuel[i];
    }
    //-----
    // корегування оксидів азоту
    //-----
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        C_NOx_coerced[i] = C_NOx[i] * K[i]; //
    }
    //-----
    // розрахунок масових викидів:
    //-----
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        M_CO[i] = 0.000966 * C_CO[i] * G_exh_gases[i];
    }

```



```

        M_CH[i] = 0.000479 * C_CH[i] * G_exh_gases[i];
        M_NOx[i] = 0.001587 * C_NOx_coerced[i] * G_exh_gases[i];
    }
    //-----
    // розрахунок числителя (по каждому компоненту выбросов) и
знаменателя формулы розділу
    //-----
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        M_sum_CO += M_CO[i] * K_ponderability[i];
        M_sum_CH += M_CH[i] * K_ponderability[i];
        M_sum_NOx += M_NOx[i] * K_ponderability[i];
    }
    //-----
    //-----
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        Ne_Ki_sum += Ne[i] * K_ponderability[i];
    }
    //-----
    // питомі викиди (г/кВт*год):
    //-----
    specific_emission_CO = M_sum_CO / Ne_Ki_sum;
    specific_emission_CH = M_sum_CH / Ne_Ki_sum;
    specific_emission_NOx = M_sum_NOx / Ne_Ki_sum;
    //-----
    // Запис значень до файлу:
    //-----
    for (i = 0; i < 13; i++) {
        fprintf(f_1, "\n %-4.2f %-4.0f %-4.2f %-5.2f %-4.2f %-5.2f \
            %-4.0f %-4.3f %-4.3f %-4.3f %-4.3f %-4.3f %-4.0f \
            %-4.0f %-4.3f %-4.0f %-4.2f",
            Mk[i], n_rpm[i], Ne[i], G_air[i], G_fuel[i],
G_exh_gases[i],
            C_NOx[i], A[i], B[i], E[i], H[i], K[i],
            C_NOx_coerced[i], C_CH[i], Kw[i], C_CO_coerced[i],
K_ponderability[i]);
    }
    fprintf(f_2, "\n %6.2f %6.2f %6.2f \
        %4.2f %4.2f %4.2f",
        M_sum_NOx, M_sum_CH, M_sum_CO,
        specific_emission_NOx, specific_emission_CH,
specific_emission_CO);

    fclose(f_1);
    fclose(f_2);
    fclose(f_air_cons);
}
//-----
//-----

```

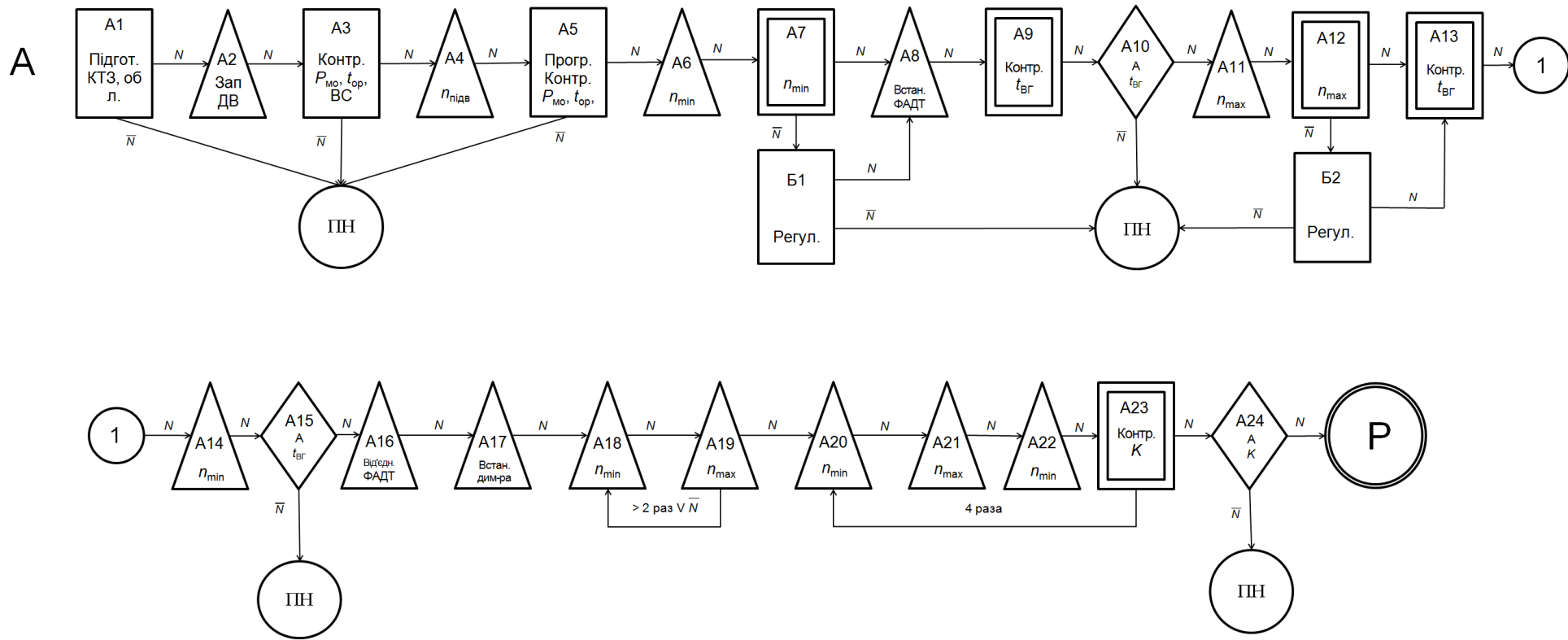


Рисунок Д.1 - Програма діагностування дизеля за температурою та димністю ВГ з метою встановлення технічного стану дизеля

Таблиця Д.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 роботоздатності
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_{mo}) 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_{min}) в режимі хх

A7	- перевірка значення мінімальної частоти обертання колінчатого вала дизеля ($n_{\text{підв}}$) в режимі хх
A8	- встановлення (підключення до ВС КТЗ) ФАДТ
A9	- вимірювання миттєвих значень температури імпульсів ВГ
A10	- аналіз результатів вимірювання температури імпульсів ВГ
A11	- встановлення максимальної частоти обертання колінчатого вала дизеля (n_{max}) в режимі хх
A12	- перевірка значення максимальної частоти обертання колінчатого вала дизеля (n_{max}) в режимі хх
A13	- вимірювання миттєвих значень температури імпульсів ВГ
A14	- встановлення мінімальної частоти обертання колінчатого вала дизеля (n_{min}) в режимі хх
A15	- аналіз результатів вимірювання температури імпульсів ВГ
A16	- від'єднання ФАДТ від КТЗ
A17	- встановлення (підключення до ВС КТЗ) димоміра
A18...A23	- вимірювання димності ВГ в режимі вільного прискорення від n_{min} до n_{max} з попереднім повторенням циклу у кількості не менше двох раз, з інтервалами не більше 15 с між циклами. Замір димності під час виконання останніх чотирьох циклів
A24	- аналіз результатів вимірювання димності ВГ
Б1	- регулювання мінімальної частоти обертання колінчатого вала дизеля (n_{min}) в режимі хх
Б2	- регулювання максимальної частоти обертання колінчатого вала дизеля (n_{max}) в режимі хх
ПН	- пошук несправностей у тому числі проведення регулювань

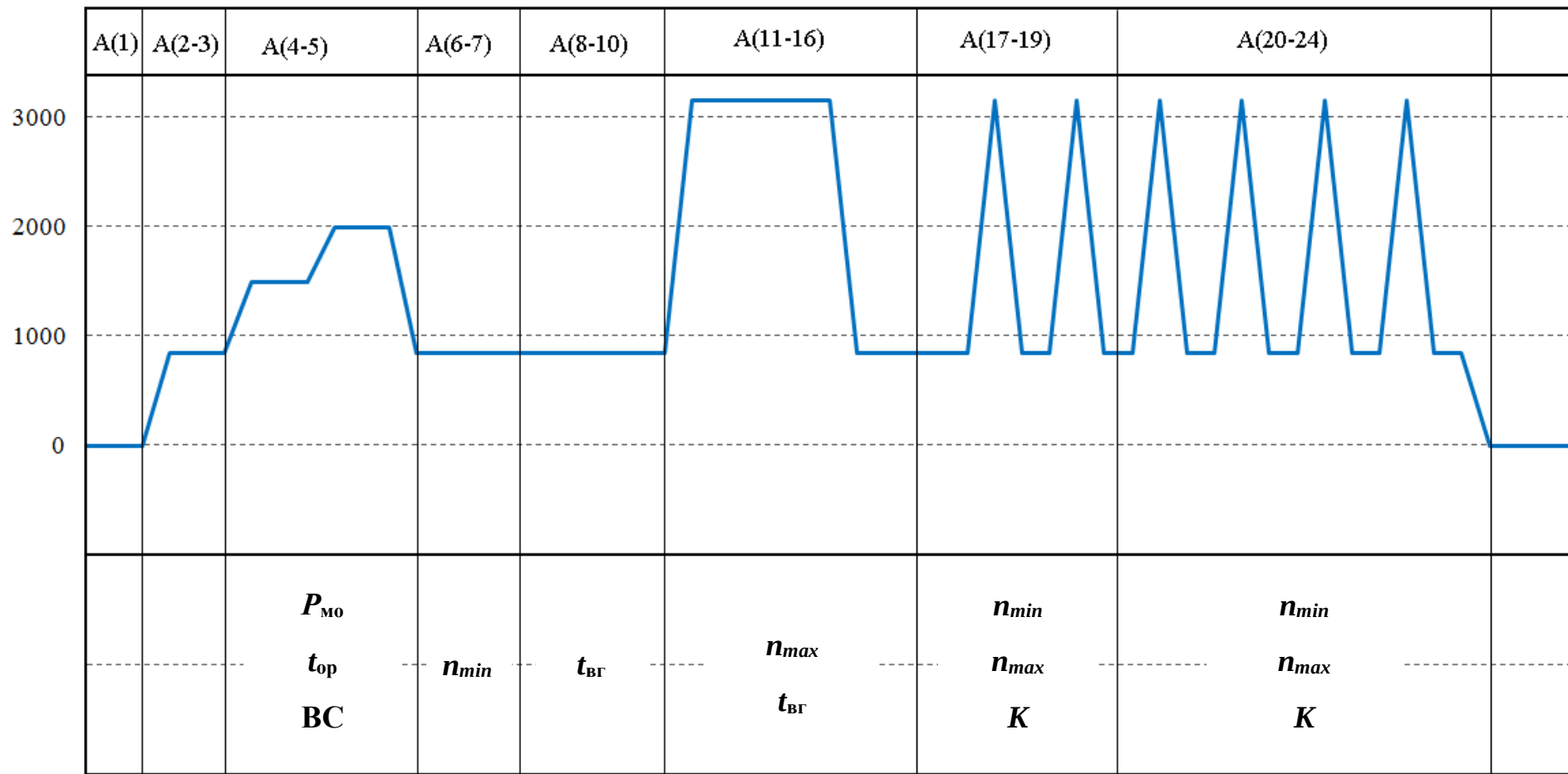


Рисунок Д.2 – Графік опробування КТЗ під час контролювання роботоздатності дизеля

АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ



Приватне акціонерне товариство «АвтоКрАЗ»

вул. Київська, 62, м. Кременчук, Полтавська обл., Україна, 39631, Код ЄДРПОУ 05808735

тел.: +38(0536)766200, факс: +38(0536)766208, e-mail: info@kraz.ua, www.autokraz.com.ua



26.05.2017 № 145/67-BC/C На № _____ Від _____

Довідка

про впровадження результатів досліджень, виконаних в дисертаційній роботі Колобова Костянтина Сергійовича на тему: "Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів".

Результати досліджень, що приведені в дисертаційній роботі Колобова К.С., присвячені вдосконаленню процесу діагностування дизельних двигунів транспортних засобів. У дисертаційній роботі наведено теоретичні дослідження та практичні результати щодо побудови діагностичної моделі двигуна, розробки оптимізованого алгоритму і технологічного процесу діагностування, визначення впливу відмов на технічний стан двигуна, його енергетичні, екологічні показники і паливну економічність, а також запропоновано спосіб експрес-діагностування дизеля за температурою відпрацьованих газів в умовах експлуатації.

Наведені у дисертаційній роботі методи математичного моделювання та отримані практичні результати щодо побудови логіко-ймовірнісної діагностичної моделі пошуку відмов та несправностей двигунів внутрішнього згоряння на основі функціонально-логічних схем і ймовірностей відмов вузлів та елементів двигунів, та розробки оптимізованого алгоритму і технологічного процесу діагностування при контролі працездатності і пошуку відмов двигунів внутрішнього згоряння, прийняті для впровадження при розробці технічної документації на транспортні засоби виробництва ПрАТ «АвтоКрАЗ», у тому числі і в технологічний процес технічного обслуговування та діагностування автомобілів КрАЗ.

Заступник технічного директора
ПрАТ «АвтоКрАЗ», канд. техн. наук



С.В. Дунь

ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ АВТОЗАВОД

14007, Україна, м. Чернігів,
 проспект Миру, 312
 тел./факс: +38(04622) 5-33-38
 email: avtocher@gmail.com



14007, Ukraine, Chernigiv,
 Myru Avenue, 312
 tel./fax: +38(04622) 5-33-38
 email: avtocher@gmail.com

ДОВІДКА

про використання результатів дисертаційної роботи Колобова К. С. на тему:
**«УДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ЕКСПРЕС-ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО
 СТАНУ ТРАНСПОРТНИХ ДИЗЕЛІВ».**

Дисертаційна робота Колобова Костянтина Сергійовича на тему «Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів» присвячена вдосконаленню процесу діагностування дизелів транспортних засобів, підвищенню економічної та екологічної ефективності автомобілів в умовах експлуатації за рахунок використання запропонованого способу експрес-діагностування дизеля за температурою відпрацьованих газів.

Наведені в дисертаційній роботі Колобова К.С. матеріали теоретичних та практичних досліджень стосовно побудови діагностичної моделі двигуна, розробки оптимізованого алгоритму і технологічного процесу діагностування, визначення впливу характерних відмов системи живлення двигуна на енергетичні, екологічні показники, витрату палива та температуру відпрацьованих газів, а також, стосовно діагностування дизеля за температурою відпрацьованих газів в умовах експлуатації, свідчать про доцільність використання запропонованого в роботі способу експрес-діагностування при контролі працездатності та пошуку відмов дизелів.

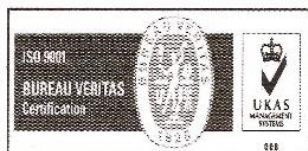
До використання і врахування у технологічних процесах технічного обслуговування та ремонту автобусів корпорації «Еталон» прийняті:

- модель діагностування технічного стану дизелів та методика побудови оптимізованого алгоритму діагностування при контролі працездатності та пошуку відмов;
- результати експериментальних досліджень впливу відмов дизеля на його енергетичні, екологічні, економічні показники та температуру відпрацьованих газів;
- методика розробки програмованого технологічного процесу діагностування дизеля;
- методика оцінювання економічної та екологічної ефективності діагностування при його впровадженні.
- рекомендації щодо впровадження удосконаленого технологічного процесу діагностування транспортних засобів в експлуатації.

Генеральний директор



В.В. Купцов



р/р 26005000037274 Фін. 47 Укресімбанк, м. Чернігів
 Код банку 322313, ЄДРПУ 32601556

