

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

УДК 629.35:681.518.54:63

ПОГОДЖЕНО

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Декан механіко-технологічного

Завідувач кафедри

факультету

технічного сервісу та енергетичного

менеджменту імені

М. П. Момотенка

Братішко В. В.

Роговський І.Л.

(підпис)

(ПБ)

(підпис)

(ПБ)

2022 р.

2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Удосконалення тестового діагностування систем живлення і  
машини автомобілів КРАЗ в умовах АПК

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма «Автомобільний транспорт»

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

доктор технічних наук, професор

Войтюк Валерій Дмитрович

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

Роговський Іван Леонідович

Виконав

Низенко Анатолій Юрійович

КИЇВ – 2022

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технічного сервісу та  
інженерного менеджменту

імені М. П. Момотенка, д.т.н., проф.

Роговський І. Л.

2021 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ  
РОБОТИ СТУДЕНТУ

Низенку Анатолію Юрійовичу

Спеціальність 274 «Автомобільний транспорт»

Освітня програма Автомобільний транспорт

Магістерська програма Автомобільний транспорт

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської роботи «Удосконалення тестового діагностування систем  
живлення і мащення автомобілів КраЗ в умовах АПК»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «21» грудня 2021 р. № 2217

«С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 25.10.2022

Вихідні дані до магістерської роботи науково-технічна література; результати

науково-дослідних робіт по літературних джерелах по вивченню технології  
удосконалення тестового діагностування систем живлення і мащення  
автомобілів КраЗ в умовах АПК

Перелік питань, що підлягають дослідженню.

1. Стан проблеми і постановка задач дослідження.

2. Теоретичні дослідження.

3. Експериментальні дослідження.

4. Реалізація удосконалення тестового діагностування систем живлення і  
мащення автомобілів КраЗ в умовах АПК

5. Оцінка економічної ефективності технічних рішень.

Перелік графічного матеріалу електронна презентація на 15 слайдах

Дата видачі завдання «15» листопада 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доктор технічних наук, професор

Роговський Іван Леонідович

Завдання прийняв до виконання

Низенко Анатолій Юрійович

(підпис)

## ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ	5
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ	12
1.1. Роль мобільних енергетичних засобів в підвищенні ефективності реалізації виробничих процесів	12
1.2. Аналіз статистичних даних кількості відмов систем ДВЗ мобільних енергетичних засобів	17
1.3. Напрями та реалізація конструктивного вдосконалення систем і механізмів двигунів автомобілів КРАЗ	19
1.4. Аналіз і синтез методів і засобів діагностування	29
РОЗДІЛ 2 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ОСНОВНИХ СИСТЕМ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ КРАЗ	40
2.1. Концепція вдосконалення методів і засобів технічного діагностування основних систем ДВЗ	40
2.2. Модель формування цільової функції забезпечення працездатності машин при використанні зовнішніх і вбудованих засобів діагностування	61
2.3. Модель формування цільової функції по обґрунтуванню методів і засобів діагностування двигунів КРАЗ	64
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ КРАЗ	68
3.1. Алгоритм розробки тестових методів і засобів діагностування системи живлення автотракторних ДВЗ	68
3.2. Обґрунтування тестових методів і засобів діагностування елементів системи впуску	74
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

## СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

НУБІП України

АБС – антиблокувальна система гальм;

АКБ – акумуляторна батарея;

ВМТ – верхня мертва точка;

НУБІП України

ГРМ – газорозподільний механізм;

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння;

Д – діагностування;

ДД – датчик детонації;

НУБІП України

ДТискуП – датчик тиску повітря;

ДДиНУО – датчик динамічного тиску оливи;

ДТО – датчик тиску оливи;

ДВО – датчик витрати оливи;

НУБІП України

ДМВП – датчик масової витрати повітря;

ДП – діагностичний параметр;

ДПДЗ – датчик положення дросельної заслінки;

ДПКВ – датчик положення колінчастого вала;

ДПРВ – датчик положення розподільного валу;

НУБІП України

ДТемпВ – датчик температури впуску;

ЩО – щоденне обслуговування;

КВП – контрольно-вимірювальні прилади;

КПА – контрольно-перевірочна апаратура;

НУБІП України

КСЗ – контактна система запалювання;

КШМ – кривошипно-шатунний механізм;

МПСЗ – мікропроцесорна система запалювання;

МСУД – мікропроцесорна система управління двигуном;

МХ – механічний;

НУБІП України

МЕЗ – мобільний енергетичне засіб;

НМТ – нижня мертва точка;

НЕМП – ненавмисні електромагнітні перешкоди;

НУБІП України

ОД – об'єкт діагностування;

ПОС – прилади освітлення і сигналізації;

НП – напівпровідниковий;

РДП – регулятор додаткового повітря;

РВ – режим використання;

НУБІП України

РХХ – регулятор ходостого ходу;

СВП – система впорскування палива;

СД – система діагностування;

СЗ – система запалювання;

НУБІП України

СК – система контролю;

КТД – кошти технічного діагностування;

СП – система подачі палива;

СТО – станція технічного обслуговування;

НУБІП України

СЧМ – складова частина машини;

ППС – паливно-повітряна суміш;

ТО і ТР – технічне обслуговування та поточний ремонт;

Треж – тестовий режим;

ТЗ – технічний стан;

НУБІП України

ТУ – технічні умови;

УЗС – ультразвукова система;

УОЗ – кут випередження запалювання;

УР – умова працездатності;

НУБІП України

ФЕ – фільтруючий елемент;

ЦБК – центральний бортовий комп'ютер;

ЦОМ – центральна оливна магістраль;

ЦПГ – циліндро-поршнева група;

НУБІП України

## ВСТУП

# НУБІП України

Конструктивне вдосконалення мобільних енергетичних засобів (зокрема їх основного агрегату - двигуна внутрішнього згорання) направлено на: забезпечення диференціації розміру параметрів функціонування механізмів систем в залежності від мінливості умов і режимів експлуатації машин; підвищення технічного ресурсу при користуванні машинами за призначенням в заданих умовах експлуатації [6, 15, 20, 19, 52, 51].

# НУБІП України

Перше обумовлено стабільністю величин технічних параметрів в просторі і часі, друге - їх збереженням в часі. І перше, і друге в цілому зумовлюють фактичний рівень реалізації споживчих властивостей мобільних енергетичних засобів - їх якість. Воно реалізується при використанні машин за призначенням і оцінюється техніко-економічними показниками, продуктивністю (при потенційно можливих мінімальних витратах ресурсів) при виконанні виробничих процесів і забезпечення працездатного стану машин протягом нормативного терміну служби [24, 39, 29].

# НУБІП України

Прогресивне підвищення технічного і технологічного потенціалів мобільних енергетичних машин, їх енергетичних установок однозначно межі конструктивним ускладненням механізмів, прецизійні виготовлення їх деталей і параметрів функціонування в передбачених нормативами режимах і умовах експлуатації.

# НУБІП України

Практичною реалізацією високої точності виготовлення деталей механізмів і їх функціонування стали функціонально визначають працездатність двигунів автомобілів КРАЗ системи живлення, мащення і управління робочими процесами тимчасових автомобілів.

# НУБІП України

В даний час стало очевидним, що використовуються засоби функціонального діагностування механізмів систем, що визначають робоздатність і справну роботу пристроїв ДВЗ, мобільних засобів в цілому не дозволяють з необхідною точністю, достовірністю встановлювати зміни технічного стану і правильність реалізації робочих процесів двигунів

# НУБІП України

автомобілів КРАЗ. Тому при загальному зростанні технічної надійності ДВЗ кращих зразків автомобілів збільшилася кількість прихованих відмов складних технічних систем двигунів автомобілів КРАЗ.

Невідповідність технологічної спроможності методів і засобів діагностування щодо зрослої конструктивної складності механізмів основних систем двигунів автомобілів КРАЗ, прецизійності їх функціонування при мінливості режимів і умов експлуатації автотракторної техніки зумовлює зниження ефективності використання потенціалу споживчих властивостей машин [1, 16, 11, 26, 34].

Дозвіл розглянутого вище технічного протиріччя вимагає розробки нових методів і засобів діагностування, які за своєю технологічною вдагності (точності, достовірності) відповідали б вимогам сучасній і перспективній техніки.

Результатом з вищесказаного, основною метою магістерської роботи є покращення ефективності процесу діагностування систем живлення й мащення двигунів автомобілів КРАЗ на основі реалізації нових методів і засобів їх діагностування.

На основі дослідження процесів конструктивного вдосконалення і функціонування двигунів автомобілів КРАЗ методів і засобів діагностування їх технічного стану розробити концепцію вдосконалення методів діагностування систем живлення, мащення і управління двигунів, що забезпечують виявлення прихованих відмов при тестовому діагностуванні працездатності та правильності функціонування механізмів основних систем двигунів автомобілів КРАЗ.

Розробити математичні моделі, адекватно реальним процесам, які описують взаємозв'язок між параметрами технічного стану систем живлення й мащення, їх робочих процесів з технологічними і технічними параметрами методів тестового діагностування ДВЗ, техніко-економічними показниками при використанні та забезпеченні працездатності автомобільних засобів.

Розробити тестові методи, апаратні і програмні засоби, режими

діагностування технічного стану механізмів системи живлення двигунів автомобілів КРАЗ. Встановити діагностичні параметри технічного стану механізмів системи живлення, їх граничні значення.

Проблемна ситуація: конструктивне вдосконалення основних систем двигунів автомобілів КРАЗ - живлення, мащення, управління, прецизійність виготовлення їх деталей, вузлів, підвищення навантажувальних і швидкісних характеристик робочих процесів направлено на поліпшення енергетичних, техніко-економічних і екологічних вимог при експлуатації мобільних енергетичних засобів, підвищення їх експлуатаційної надійності. Разом з тим

це зумовило зменшення величини допустимого відхилення параметрів технічного стану механізмів цих систем, підвищило значимість вимог до правильності їх функціонування при мінливості режимів і умов експлуатації автотракторної техніки. Очевидно, що виконання зазначених вимог при діагностуванні технічного стану ДВЗ можливо тільки при поліпшенні технологічної спроможності методів і засобів діагностування, визначених в основному точністю і достовірністю встановлення величини відхилення параметрів технічного стану від номіналу, знаходження їх меж допуску при заданих режимах процесу тестового діагностування, тобто методи та засоби

діагностування технічного стану розглянутих систем двигунів автомобілів КРАЗ по своїй прецизійності повинні бути адекватні процесу їх конструктивного вдосконалення.

Правильність функціонування механізмів систем живлення, мащення і управління ДВЗ, яка визначається знаходженням їх параметрів технічного стану в межах встановлених допусків і адекватної по величині їх мінливості в залежності від режимів та умов експлуатації мобільних енергетичних засобів, може бути встановлена в процесі діагностування технічного стану, параметри якого встановлено на основі закономірностей зміни діагностичних параметрів, їх взаємозв'язку з технологічною здатністю методів і засобів діагностування на тестових режимах.

Розробка методів, технічних засобів, рекомендацій щодо організації



ефективних процесів діагностування, нормативної і технологічної документації, а також результати впровадження в сукупності становлять значний внесок у розробку процесів діагностування двигунів автомобілів КРАЗ.

Мета роботи - підвищення експлуатаційних характеристик систем живлення і мащення автомобілів КРАЗ.

Об'єкт досліджень - процеси діагностування технічного стану механізмів основних систем двигунів автомобілів КРАЗ на тестових режимах їх функціонування.

Предмет досліджень - закономірності зміни параметрів технічного стану механізмів систем живлення, мащення і управління двигунів автомобілів КРАЗ на тестових режимах діагностування, їх взаємозв'язок з технологічністю засобів діагностування в процесах прийому, обробки та використання діагностичної інформації.

## РОЗДІЛ 1 СТАН ПРОБЛЕМИ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

# НУБІП України

### 1.1 Роль мобільних енергетичних засобів в підвищенні ефективності реалізації виробничих процесів

В Україні як і в інших розвинених країнах, транспорт є однією з найбільших базових галузей господарства, найважливішою складовою частиною виробничої та соціальної інфраструктури [36, 37]. Транспорт грає важливу роль в соціально-економічному розвитку країни. Транспортна система забезпечує умови економічного зростання, підвищення конкурентоспроможності національної економіки і якості життя населення. Транспорт грає важливу роль в розвитку конкурентних переваг країни з точки зору реалізації її транзитного потенціалу. Доступ до безпечних і якісних транспортних послуг визначає ефективність роботи і розвитку виробництва, бізнесу і соціальної сфери. Структура транспорту в загальному обсязі перевезень вантажів і пасажирообігу України представлена на рисунку 1.1 а, б.

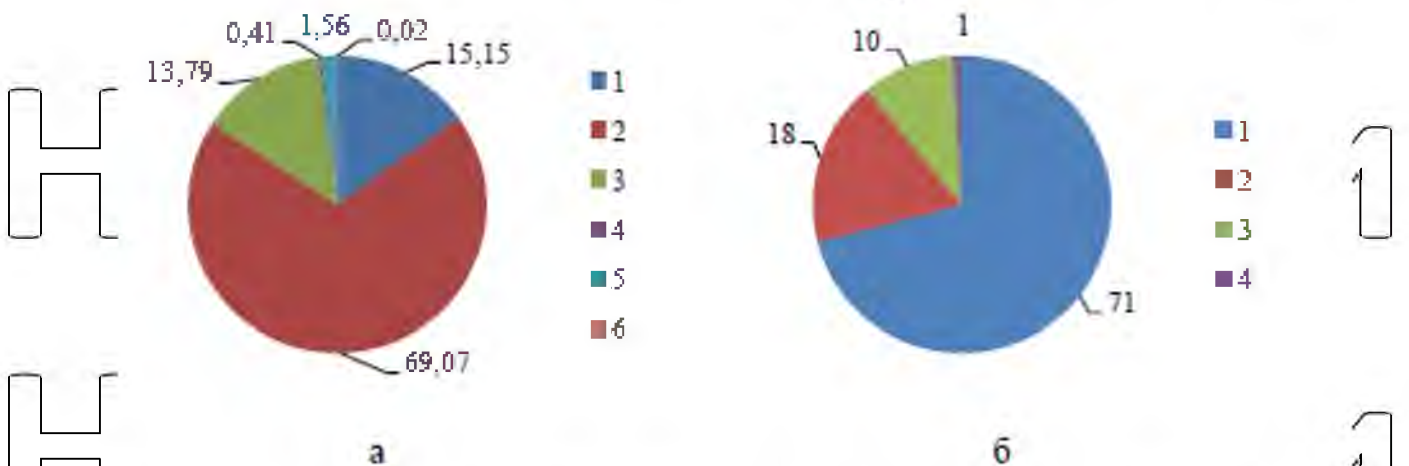


Рис. 1.1 Структура транспорту в загальному обсязі перевезень вантажів і пасажирообігу України

Якісні характеристики рівня транспортного обслуговування пов'язані зі швидкістю, своєчасністю, передбачуваністю, ритмічністю, безпекою

екологічністю функціонування транспортної системи [4, 7, 24-28]. В даний час екологічність при експлуатації мобільних енергетичних засобів ставиться на перше місце. У розвинених країнах Америки і Європи вже в 2014 році будуть введені норми Євро-6. Динаміку введення норм Євро по роках і регламентоване кількість шкідливих викидів відображають таблиці 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1

Динаміка введення норм Євро по роках і регламентоване кількість шкідливих викидів для нових автомобілів з ДВЗ, що має примусове запалювання

№ Євро	Дійсно з дати: місяць, рік введення	CO, г/км	СН, г/км	NOx, г/км	СН + NOx, г/км		PM
					г/км	г/км	
Євро-1	Грудень 1992	2,72	-	-	0,97	-	-
Євро-2	Січень 1997	2,20	-	-	0,5	-	-
Євро-3	Січень 2000	2,30	0,20	0,15	-	-	-
Євро-4	Січень 2005	1,00	0,10	0,08	-	-	-
Євро-5	вересень 2009	1,00	0,10	0,06	-	-	0,005 *
Євро-6	серпень 2014	1,00	0,10	0,06	-	-	0,005 *

\* з безпосереднім уприскуванням.

Таблиця 1.2

Динаміка введення норм Євро по роках і регламентоване кількість шкідливих

викидів для нових автомобілів і мобільних енергетичних

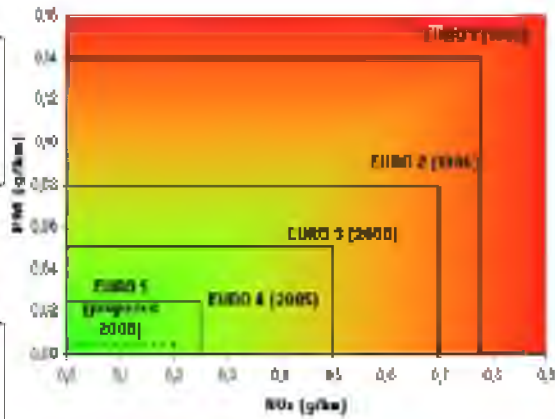
засобів з дизельним ДВЗ

№ Євро	Дійсно з дати: місяць, рік введення	CO, г/км	СН, г/км	NOx, г/км	СН + NOx, г/км		PM
					г/км	г/км	
Євро-1	січень 1992	3,16	-	-	1,13	0,14	-
Євро-2	січень 1996	1,00	0,15	0,55	0,70	0,08	-
Євро-3	січень 2000	0,64	0,06	0,50	0,56	0,05	-
Євро-4	січень 2005	0,50	0,05	0,25	0,30	-	-
Євро-5	вересень 2009	0,50	0,05	0,18	0,23	0,005	-
Євро-6	серпень 2014	0,50	0,09	0,08	0,17	0,005	-

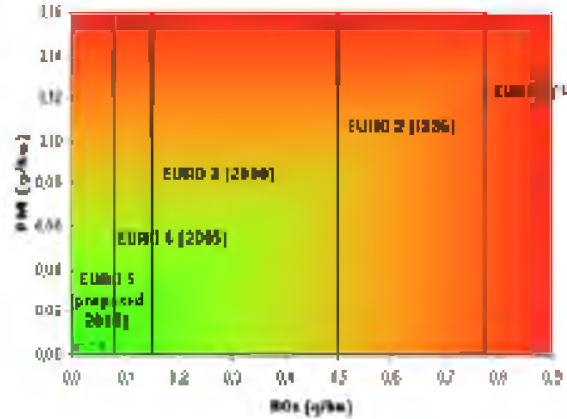
Із представлених даних в таблицях 1.1 і 1.2 слід, що спостерігається стійка тенденція зниження норм токсичності: за змістом CO для бензинових ДВЗ в 2,72 рази, для дизельних ДВЗ в 0,63 рази; по СН для бензинових і дизельних ДВЗ в 2 рази; по NOx для бензинових ДВЗ в 2,5 рази, для дизельних ДВЗ в 6,87 рази; по СН + NOx для бензинових в 5 разів, дизельних в 6,64 рази;

по числу зважених часток для бензинових в 25 разів, для дизельних в 28 разів.

Причому (таблиці 1.1, 1.2 і малюнок 1.2) видно, що норми ЄВРО-5 введені в країнах Америки і Європи у вересні 2009 року [22-24].



а



б

Рис. 1.2 - Динаміка зміни норм ЄВРО по роках залежно від концентрації

викидів  $NO_x$ , г / км, 1 РМ, г / км: а - дизельні ДВЗ; б - бензинові ДВЗ

В Україні з введенням норм спостерігається значне відставання, яке експерти оцінюють в 10 років, а це в свою чергу уповільнює оновлення парку МЕМ (рисунк 1.3 а, б).

Із аналізу рисунку 1.3 а видно, що сучасним вимогам екології відповідають 4,9% автомобілів (ЄВРО-4 / ЄВРО-5). Перехідні моделі ЄВРО-3 складають 8,5%. Разом ці дві групи складають 13,4% від усього парку.

Причому дані рівні екологічного виконання досяжні тільки із застосуванням на заводах конструктивних заходів. Треба сказати, що автомобілебудівні заводи вже перейшли на виготовлення автомобілів до норм ЄВРО-4 / ЄВРО-5. Чисельність автомобілів, що відповідають нормам ЄВРО-2, становить 8,6%, на даний момент ця категорія автомобілів підлягає утилізації [42; 45].

Найбільша складність ситуації полягає в тому, що 78% всього складу автомобільного парку країни відповідає нормам ЄВРО-0 / ЄВРО-1. Разом з нормами ЄВРО-2 це становить 86,6%. Дані рівні екологічного виконання досяжні конструктивними заходами і якістю палива, але в кілька разів

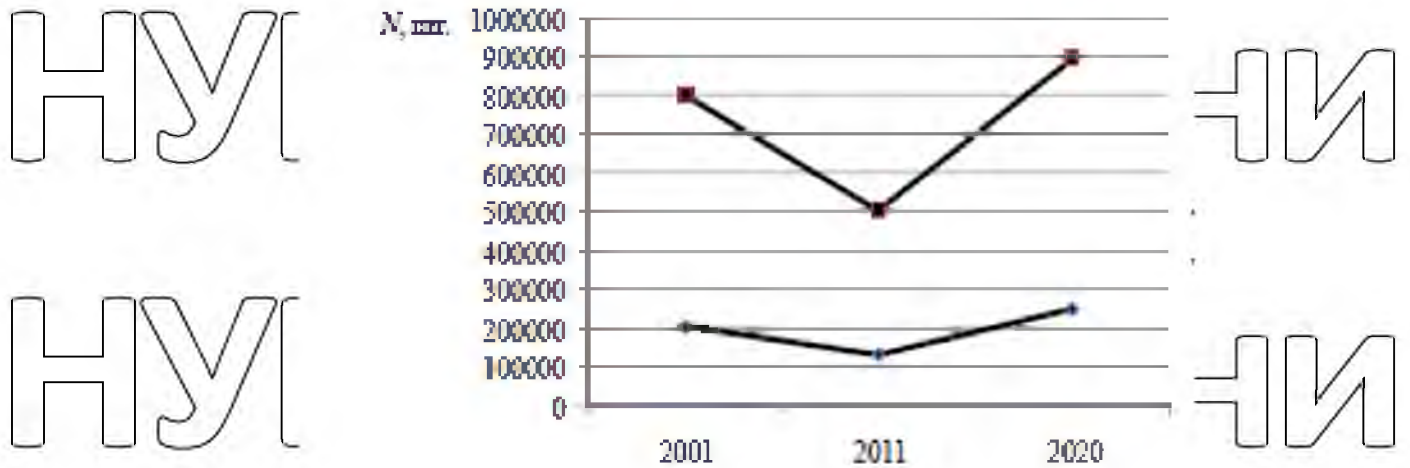
поступаються за нормами токсичності щодо норм ЄВРО-4 / ЄВРО-5.

Аналогічна ситуація з ще гіршою динамікою розвитку йде для мобільних енергетичних засобів (рисунок 1.3-6).

У 2021 році чисельність парку легкових автомобілів склала 36,4 млн одиниць, що вище рівня 2000 року в 79%. При цьому автобусні перевезення в країні скоротилися на 42%. У зв'язку із зростанням автомобілізації виникли проблеми стійкості і безпеки міських транспортних систем. Динаміку зростання числа транспортних засобів КРАЇНИ відображає рис. 1.4.

На рисунку 1.4 помітна загальна тенденція зростання числа всіх видів транспортних засобів. Станом на 1 січня цього року на реєстраційному обліку в Державтоінспекції складається більш 50,5 мільйона одиниць транспортних засобів. Причому основну частину з них - 76,7%, або 38,7 мільйона одиниць - становлять легкові автомобілі.

За останні 8 років, в порівнянні з 2004 роком, транспортний парк країни виріс на 44,2%, тобто більш ніж на 15 мільйонів транспортних засобів. В середньому щорічно приріст транспорту становить 5,5%. Основне збільшення відбувається за рахунок легкових автомобілів: у порівнянні з 2004 роком їх кількість зросла на 62,7%, або на 14,9 мільйона одиниць. За прогнозами, до 2020 року парк легкових автомобілів зросте до 50 млн одиниць. Також високими темпами зростає чисельність вантажних автомобілів. Їх кількість зросла на 22,9% і склало понад 5,7 мільйона одиниць. За прогнозами, до 2020 року парк вантажних автомобілів зросте до 9 млн. Приблизно такими ж темпами, на 22,8%, збільшилася чисельність автобусів: на сьогоднішній день в Росії експлуатується 924,5 тисячі автобусів. За прогнозами, до 2020 року парк автобусів збільшиться до 1 млн 460 тис. штук. Загальна чисельність транспортних засобів в країні до 2020 року складе 68 млн 260 тис. штук [364, 373, 363].



ряд 1 - загальна кількість ТЗ; ряд 2 - легкові; ряд 3 - вантажні; ряд 4 – автобуси

Рис. 1.4 - Динаміка зростання числа транспортних засобів в Україні та прогноз зростання до 2020 року

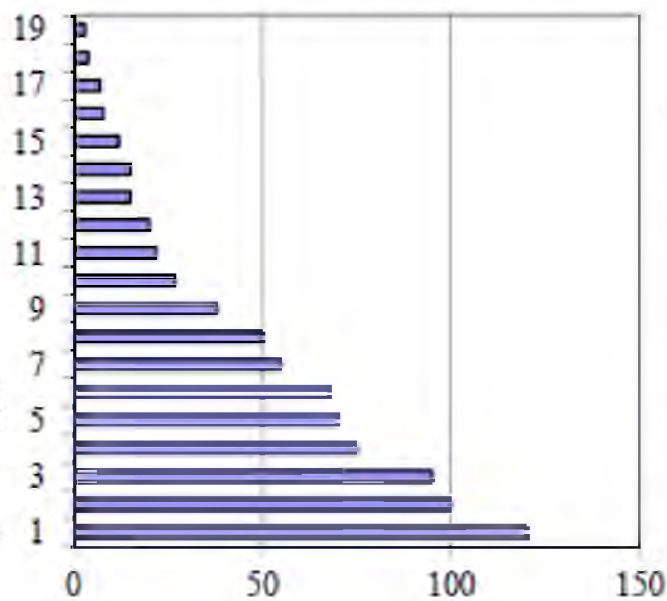
Дещо іншу тенденцію має зміна динаміки мобільних енергетичних засобів України на рисунку 1.5.

З 2001-го по 2011 роки спостерігалось суттєве зниження числа комбайнів і тракторів: з 204 і 806 тис. До 132,9 і 505,1 тис. відповідно. Це пояснюється старінням і утилізацією виробила амортизаційний термін техніки і досить повільним її оновленням. Однак з 2011-го по 2020 р спостерігатиметься тенденція зростання числа комбайнів і тракторів з 132,9 і 505,1 тис. До 250 і 900 тис. відповідно. Поступово намітиться тенденція оновлення МЕМ і їх зростання з нормами ЄВРО не нижче ЄВРО-5 [4, 33, 63].

Таким чином, галузі автомобільних перевезень, автомобільного транспорту та в перспективі сільського господарства в цілому будуть розвиватися прискореними темпами, що потребують одночасної розробки інфраструктури транспортних послуг, дилерських центрів з обслуговування техніки, зокрема, розробки нових досконалих засобів діагностування.

## 1.2 Аналіз статистичних даних кількості відмов систем ДВЗ мобільних енергетичних засобів

Сучасне інформаційне забезпечення діагностичним обладнанням базується на принципі: чим більше число відмов в процесі експлуатації виникає з даного вузла або системи автомобіля і трактора, тим більше інформаційне забезпечення діагностичним обладнанням супроводжує даний вузол або систему. При цьому витрати на розробку і дослідження нових діагностичних засобів для діагностування даного вузла або системи також зростають. Так, за даними В. М. Власова, статистика числа замовлень на усунення неполадок автомобіля в автосервісі виглядає наступним чином (рисунок 1.6).



1 - двигун; 2 - електрообладнання; 3 - кузов; 4 - регламентне обслуговування;  
5 - мастило і мийка; 6 - колеса і гальма; 7 - зчеплення; 8 - приладдя; 9 - забарвлення;  
10 - рульове керування; 11 - трансмісія; 12 - задній міст; 13 - усунення скрипів;  
14 - модифікація деталей; 15 - передній міст; 16 - усунення течі; 17 - карданний вал; 18 - скла; 19 - діагностика

Рис. 1.6 - Статистика числа замовлень на усунення неполадок автомобіля в автосервісі.

За даними [52, 53], зразкову розподіл неполадки між системами і

механізмами двигуна і трудомісткість їх усунення виглядає наступним чином (малюнки 1.7 а, б)

За даними рисунку 1.7, що відповідає з даними статистики [57], першими в ряду неполадок йдуть система запалювання та електрообладнання (45%), другий за значимістю вважається система живлення (18%). Розподіл причин звернення клієнтів на СТО для сучасних автомобілів, обладнаних системою управління двигуном з електромагнітними форсунками [64], представлено на рисунку 1.8 а. В роботі [60] представлена гістограма неполадок і відмов, яка показує наступний розподіл (рисунок 1.8 б).

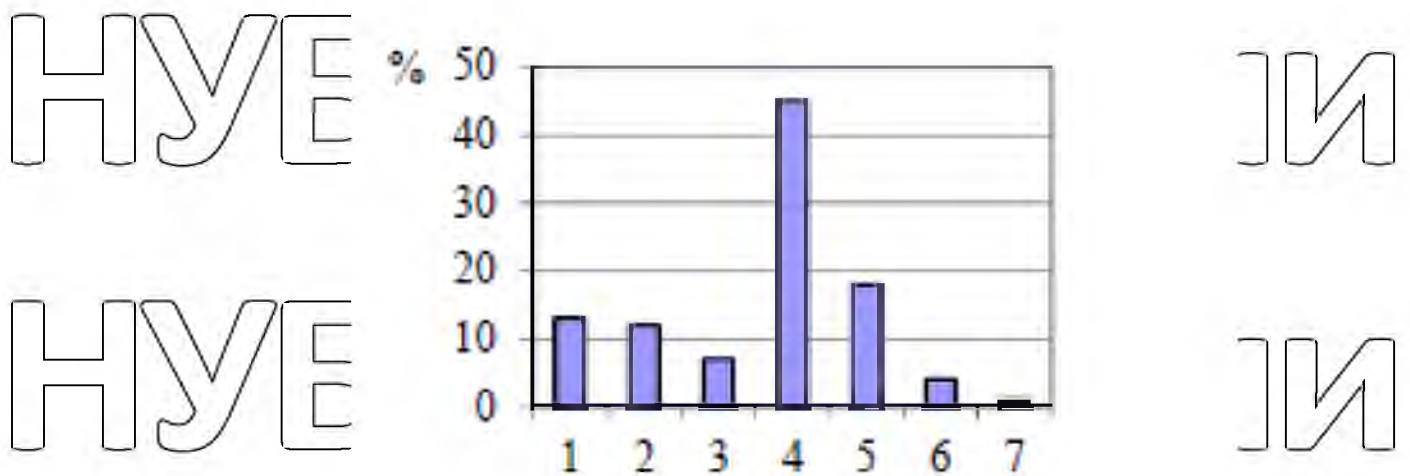
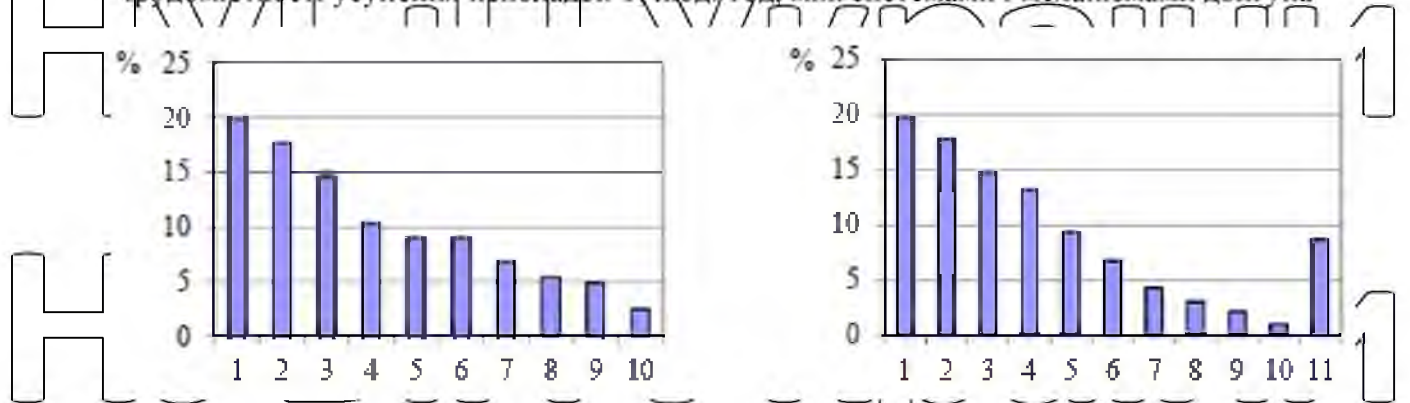


Рис. 1.7 - Розподіл: а - неполадки,%, між системами і механізмами двигуна; б -

трудомісткості усунення неполадок Т, люд./год. між системами і механізмами двигуна



1 - нестійка робота або зупинка на холостому ходу; 2 - утруднений запуск; 3 - ривки або провали; 4 - перебої в роботі двигуна; 5 - детонація; 6 - провали; 7 - недостатня потужність і прийнятність; 8 - підвищена витрата палива; 9 - підвищена токсичність;

Рис. 1.8 - Узагальнена гістограма: а - розподілу причин звернення клієнтів на СТО; б - розподілу неполадок і відмов



За іншими даними [17, 45, 60], до 30% неполадок від загального числа доводиться на систему подачі палива.

Наприклад, кількість відмов бортовий комп'ютерної системи в залежності від напрацювання легкового автомобіля з початку експлуатації виглядає наступним чином (рисунок 1.9).

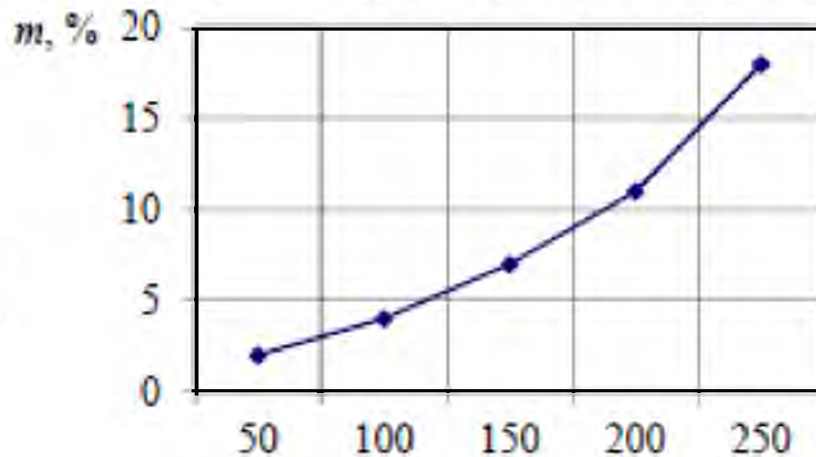


Рис. 1.9 - Кількість відмов бортовий комп'ютерної системи  $m, \%$ , в залежності від напрацювання  $L$ , тыс. км, легкового автомобіля з початку експлуатації.

За даними Е. С. Кузнецова [52], розподіл відмов,  $\%$ , елементів системи управління роботою бензинових ДВЗ виглядає наступним чином: електричних ланцюга - окислення контактів і обрив проводів - 35%; електробензонасос - 22%; регулятор холостого ходу - 10%; елементи системи запалювання - 9%; форсунки - 8%; датчик кисню - 7%; датчики і реле - 6%; електронний блок управління - 3%.

Таким чином, актуальність діагностування трьох зазначених систем: системи живлення, механізмів системи мащення, в т.ч. КШМ і ЦПГ, і системи управління не викликає сумнівів.

### 1.3 Напрями та реалізація конструктивного вдосконалення систем і механізмів ДВЗ автомобілів КраЗ

Розвиток бортового обладнання МЕМ йде за двома напрямками: по шляху подальшого вдосконалення існуючих і по шляху конструювання і побудови абсолютно нових електричних, електронних і автоелектронних пристроїв (рис. 1.10).

Ознаками класифікації за їхніми є поетапне впровадження нової техніки:

1. Перше покоління - електрифікація МЕМ, створення класичного електрообладнання.

2. Друге покоління - впровадження аналогової напівпровідникової схемотехніки на дискретних радіоелементах. Створення найпростіших електронних схем для управління електричними пристроями.

3. Третє покоління - широке впровадження на борту МЕМ електронного обладнання цифрового принципу дії. Створення нових систем бортовий автоматики, таких як: електронне уприскання палива, цифрове управління запалюванням, електронне управління гальмами, екологічні системи, бортова самодіагностика, схематичне резервування і т.д.

4. Четверте покоління - повна комп'ютеризація процесів автоматичного управління, контролю і регулювання з застосуванням центрального бортового комп'ютера і зі значним розширенням виконуваних функцій. Устаткування МЕМ радарними засобами. Створення абсолютно нових принципів управління МЕМ і його агрегатами, самоврядування МЕМ в режимі автопілота, самозахист МЕМ від аварійних ситуацій, електронне резервування функцій управління.

Сучасний етап конструктивного вдосконалення МЕМ спрямований на забезпечення якості функціонування систем і механізмів, збільшення їх функцій при експлуатації машин. Такі конструктивні рішення дозволяють забезпечити сучасні вимоги - екології, ергономіки, економічності (таблиця 1.30).

Сучасний MEM має бути економічним, екологічно чистим, елегантним, високонадійним, комфортабельним і високоефективним транспортним засобом. Щоб забезпечити такі вимоги, на сучасному MEM, крім класичного обладнання, встановлюються новітні засоби автоматичного управління, контролю і регулювання. Всі новітні вироби бортовий автоматики управління, контролю і регулювання об'єднані в автотронну систему.

Таблиця 1.3

### Нові системи і механізми функціонування MEM

Системи і механізми	трактори і комбайни	вантажний і пасажирський	Легков
1. Центральний бортовий комп'ютер з функціями системи запалювання, системи упорскування палива, системи діагностики, системи колійного контролю, екологічної системи, приладами освітлення і сигналізації	±**	±	+***
2. Система впорскування палива типу Д-переривчастій розподілене упорскування для внутрішнього сумішоутворення, бензин + дизель, полум'яне запалювання, common	±	+	+
3. Супутникова навігація, автопошук	±	±	+
4. Пристрої аварійної безпеки, автопілот	±*	±	+
5. Електронне управління системою газорозподілу	-	+	+
6. Нові типи ДВЗ	-	+	+
7. Газорозрядні прилади освітлення і сигналізації, спецсигналізація	-	-	+

\* - не застосовуються або знаходяться в стадії розробки для даних MEM.

\*\* - частково застосовуються в дуже обмеженій кількості.

\*\*\* - широке практичне застосування.

Автотронні системи вже сьогодні є прототипами майбутніх повністю комп'ютеризованих великих універсальних систем автоматичного управління, контролю і регулювання на MEM. Але в даний час на сучасних MEM найбільш поширені не універсальні, а спеціалізовані автотронні

системи. До них відносять:

1. системи впорскування палива для бензинових двигунів.
2. екологічна система.
3. мікропроцесорні системи електроіскрового запалювання з додатковими функціями регулювання.

4. комплексні електронні системи автоматичного управління бензиновим ДВЗ (ЕСАУ).

5. електронні системи управління гідравлічними гальмами.
6. системи електронного управління автоматичною коробкою

перемикання передач.

Автоматичні системи комп'ютеризованих універсальних систем автоматичного управління дозволяють усунути недолік - знаний розмір і вага

проводки. У сучасному MEM може бути більше 1200 окремих проводів [38, 46, 53, 58]. За вартістю автомобільний джгут займає четверте місце після кузова,

двигуна і трансмісії. Застосування мульти-комплексних систем радикально скоротить протяжність електричних проводів і кількість роз'ємів, на які при числі вбудованих датчиків більше 20 приходить понад 30-40% вартості вбудованої системи діагностики.

Не менш істотна намічається перспективна тенденція інтеграції всього електронного оснащення MEM на основі декількох систем:

мультикомплексної, автомобільної (рідше її називають водія), інформаційної та вбудованої системи діагностування. Мультиплексні автомобільні системи

сьогодні представлені 3 класами: 1. Клас А; 2. Клас В; 3. Клас С.

Системи класу А використовуються для систем зі швидкістю передачі по шині не більше 10 Кбіт/с. У системах класу В здійснюється обмін інформацією

ме чекаю підсистемами, коли потрібна швидкість передачі даних 100 ... 250 Кбіт/с. У системах класу С здійснюється розподілене управління в реальному

масштабі часу, швидкість обміну даними близько 1 Мбіт/с.

На рисунку 1.11 показано порівняння характеристик динаміки розвитку систем упорскування. Продуктивність системи ME9 з новим поколінням

мікроконтролер і подальшим підвищенням тактової частоти була збільшена більш ніж в 5 разів, а з появою МО 17.9.7 тактова частота збільшилася в 10 разів. Ступінь перевищення тактової частоти по відношенню до першого блоку управління, раз;

Кількостей з висновків (пінов) в блоці управління, шт .; 3. Обсяг постійної пам'яті (ROM), Кбайт; 4. Обсяг оперативної пам'яті (RAM), Кбайт  
У доступному для огляду майбутньому мікроконтролери будуть інтегруватися з процесорами обробки сигналів.

Ємність застосовуваних запам'ятовуючих чіпів на початку 80-х років ХХ століття становила 8 Кбіт. В даний час в системах МО 9.0 використовуються чіпи на 2,5 Мбіт, а найближчим часом будуть потрібні чіпи вже на 5 Мбіт і вище.

На сьогоднішній день представлено значну кількість модифікацій електронних блоків управління (ЕБУ). Причому на одній моделі автомобіля можливе використання розрізняються ЕБУ (модифікацій). Це в свою чергу створює складності в сфері діагностики: розробка нових засобів діагностування, розробка нових протоколів, адаптація роз'ємів і діагностичних засобів та інші. Наприклад, для автомобілів марки ГАЗ розроблено велику кількість ЕБУ і їх модифікацій: Мікас 5.4, Мікас 7.2, Мікас 10.3, Мікас 11, Мікас 11ЕТ, Мікас 11СR, Мікас 12.3, МО 17.9.7, різновиди ЕБУ BOSCH та інші. На даний момент триває розробка нових ЕБУ, функціонально більш складних. У свою чергу виконання жорстких вимог на викид токсичних речовин, а також створення спеціальної системи діагностики, що дозволяє оцінювати стан антиоксидантних пристроїв, можливо тільки при застосуванні ЕБУ з 16- і 32-розрядних мікропроцесором [6, 15, 26, 31, 32]. Тобто вимоги зниження токсичності все більш ускладнюють конструктивне виконання ЕБУ: збільшуються тактова частота процесора, обсяги пам'яті, кількість висновків в роз'ємах [50, 33, 32].

В сучасних умовах глобальним вимогою до новітніх автомобільних електричних і електронних систем є неухильне виконання міжнародних

стандартів OBD-II (США) і EOBD-II (Європа), які також продовжують удосконалюватися.

Технічне діагностування мікропроцесорної системи управління двигуном (МСУД ДВЗ) - діагностування системи особливого класу, яка має низку істотних особливостей. Ці особливості відображають об'єкти технічного діагностування - електронні пристрої та системи.

Всі елементи МСУД можна розбити на категорії за контролепридатності. Категорія контролепридатності утворюється шляхом поєднання груп конструктивного виконання систем по контролепридатності. Встановлюється 6

таких груп, які утворюють алгоритм підвищення ефективності процесу діагностування (рисунок 1.12).

1. До першої групи відносять системи, на яких для діагностування проводяться монтажні-демонтажні роботи зі зняттям окремих пристроїв для діагностування поза систем або забезпечення доступу до контрольних точок.

Може здійснюватися установка технологічних перехідників, в тому числі з розривом електричних і механічних ланцюгів, вимірювальних перетворювачів та інших приладів. При цьому пристрою сполучення повинні бути уніфіковані, а в системі передбачені елементи конструкції для установки вимірювальних приладів і перетворювачів.

2. Другу групу зараховують системи, які діагностуються тільки зовнішніми засобами, проводяться монтажні-демонтажні роботи, але при цьому здійснюється часткове розбирання, установка перехідників.

3. До третьої групи відносять системи, діагностування яких здійснюється як вбудованими, так і зовнішніми засобами. Для діагностування передбачені: розтин спеціальних лючок, кришок та інших пристосувань, які відкривають доступ до контрольних точок, а також установка вимірювальних перетворювачів та інших вимірювальних приладів і пристроїв. Контрольні точки для зовнішніх конітів виведені на зовнішні поверхні, передбачені елементи конструкції для установки вимірювальних пристроїв і перетворювачів. Пристрої сполучення повинні бути уніфіковані, а точки

прислання - перебувати в легкодоступних місцях.

4. У четверту групу систем входять МСУД, діагностування яких здійснюється вбудованими та зовнішніми засобами. При проведенні діагностичних робіт відсутні операції розбирання. Є під'єднувальні контрольні точки, перехідні пристрої, сполучення, перетворювачі.

5. П'яту групу МСУД діагностують за допомогою вбудованих і зовнішніх засобів діагностування і контролю. Для систем цієї групи виключена необхідність монтажних-демонтажних робіт; підключення засобів діагностування здійснюється за допомогою уніфікованих роз'ємів для систем в цілому або його функціонально самостійної частини, яка діагностується локальною системою. Параметри сигналів в каналах зв'язку з зовнішніми засобами діагностування повинні бути стандартизовані (наприклад, вбудованими або зовнішніми перетворювачами).

6. Шосту групу становлять системи, оснащені вбудованими автоматичними засобами діагностування і контролю, тестові системи.

Безперервне вдосконалення автомобільних систем МСУД в напрямку прецизійності корекції параметрів роботи ДВЗ і їх диференційованості вимагає збільшення розрядності застосовуваних процесорів обробки даних (Рис. 1.13) і числа датчиків і виконавчих пристроїв МСУД.

Розрядність процесорів, як видно з рисунка 1.13, зросла з 1990-го по 2022 роки з 16 до 64 [11, 13, 15, 26]. Число датчиків і виконавчих пристроїв МСУД за цей же період часу зросло з 20 до 40 і більше в залежності від моделі автотракторного кошти. Все це вимагало провести значне вдосконалення систем по контролепридатності, яке, як видно з рисунка, складалося з 6 етапів. Заходи вдосконалення систем по контролепридатності привели до значного зростання ймовірності виявлення неполадок.

Розглянемо коротко тенденції конструктивного вдосконалення систем і механізмів ДВЗ з метою забезпечення прецизійності, точності, надійності забезпечення заданих техніко-економічних показників ДВЗ.

Для підвищення експлуатаційних властивостей ДВЗ використовуються.

1. вимірювання струму іонізації [32, 40]; 2. Визначення пропусків запалення суміші і детонаційного згорання виміром сили іонного струму [21]; 3. Застосування систем запалювання з двома свічками на один циліндр [29, 41]; 4. Зсув фази (від  $10^\circ$  повороту колінчастого валу при середній і великому навантаженні до  $0^\circ$  повороту колінчастого валу при малому навантаженні, а також при зниженні навантаження) [6,]; 5. Управління фазами [15, 41].

Заходи щодо зниження токсичності мають на меті точне дозування палива [37].

Заходи щодо зниження токсичності: 1. Рециркуляція відпрацьованих газів (система EGR); 2. Зміна фаз газорозподілу; 3. Створення вихрового руху суміші у впускному каналі і оптимізація форми камери згорання (робота на переобладнанні робочих сумішах  $\lambda = 1,4 \dots 1,6$  [6, 15, 13, 32]; 4. Конструкція свічки запалювання, її положення в камері згорання, а також енергія і тривалість іскрового розряду; 5. Вентиляція картера ДВЗ; 6. Очищення відпрацьованих газів. Термічне допалювання; 7. Каталітичне допалювання [3, 14, 32, 40, 41]; 8. Використання систем зі зворотним зв'язком із застосуванням кисневих датчиків; 9. Точні таблиці зміни кута випередження запалювання (УОЗ) [2, 11, 13].

На даному етапі конструктивного вдосконалення механізмів та систем ДВЗ дуже важлива роль відводиться швидкодії та зменшенню часу реакції виконавчих елементів на виникаючі зміни режимних та швидкісних параметрів ДВЗ. Для адекватного процесу управління ДВЗ в даний момент зміни режимних параметрів потрібно миттєва корекція. Але при роботі карбюраторних ДВЗ швидкодію вкладалося в секундний діапазон (крива 2) коригувальних дій, що ускладнювало динамічний обгін, розгін, затулювало час перехідних процесів. Це негативно позначалося на безпеці дорожнього руху, знижувало екологічні та економічні характеристики. З появою ДВЗ, обладнаних електронною системою управління (крива 3), діапазон швидкодії вдалося зрушити в сторону мілісекундного. Але якість процесу управління ДВЗ було на досить низькому рівні, а окремі коригування ще входили в



секундний діапазон. З появою мікропроцесорних систем управління ДВЗ (крива 4) діапазон швидкості почав виходити з мілісекундного в наносекундний. В першу чергу це пов'язано з появою 16-, 32-, 64-, 128- і вище розрядних процесорів і збільшенням прецизійності параметрів технічного

стану та управління систем ДВЗ. На даному етапі можна виділити подальшу конструктивну вдосконалення в області нанодіапазону з випередженням (передбаченням ситуації), коли на зміни режимних умов роботи ДВЗ система управління реагує з випередженням. Для розвитку цього напрямку потрібно

значний обсяг корекцій і додаткових параметрів, а також збільшення розрядності процесорів управління ДВЗ. 128 і вище розрядних процесорів і збільшенням прецизійності параметрів технічного стану та управління систем ДВЗ. На даному етапі можна виділити подальшу конструктивну

вдосконалення в області нанодіапазону з випередженням (передбаченням ситуації), коли на зміни режимних умов роботи ДВЗ система управління реагує з випередженням. Для розвитку цього напрямку потрібно значний обсяг корекцій і додаткових параметрів, а також збільшення розрядності процесорів

управління ДВЗ. 128 і вище розрядних процесорів і збільшенням прецизійності параметрів технічного стану та управління систем ДВЗ. На даному етапі можна виділити подальшу конструктивну вдосконалення в області

нанодіапазону з випередженням (передбаченням ситуації), коли на зміни режимних умов роботи ДВЗ система управління реагує з випередженням. Для розвитку цього напрямку потрібно значний обсяг корекцій і додаткових параметрів, а також збільшення розрядності процесорів управління ДВЗ.

Ефективним заходом для підвищення експлуатаційних властивостей автомобілів є використання монітора пропусків в системі запалювання (для виключення відмови каталітичного нейтралізатора і зниження рівня токсичності).

Удосконалення системи живлення двигунів з уприскуванням бензину на-спрямоване на забезпечення високих екологічних показників. Забезпечення останніх можливо за рахунок точного дозування подачі палива на всіх

режимах роботи двигуна [29, 59].

У перспективі передбачається використовувати і інші функціональні елементи, наприклад, діагностичні пристрої для виявлення течі топ зливи бака або блок контролю часу роботи електробензонасоса, інтегровані в розподільний модуль.

Перспективним напрямком оцінки технічного стану КШМ і системи мащення є динамічний контроль рівня оливи [6, 5]. При русі автомобіля рівень оливи контролюється за допомогою датчика рівня і температури. При зниженні рівня оливи до мінімально допустимого значення інформаційна система (FIS) подає попереджувальний сигнал.

У такій новій системі процесор виробляє статистичну обробку сигналу датчика з урахуванням температури оливи, частоти обертання валу двигуна і тимчасового чинника і виробляє команду на включення сигналізатора рівня.

Статистична обробка сигналів дозволяє визначити середній рівень оливи в динаміці. Через кожні 100 км пробігу проводиться порівняння середнього статистичного (динамічного) значення рівня оливи з заданим значенням і при необхідності подається команда на включення сигналізатора рівня оливи.

Таким чином, ступінь охоплення управління, корекцією і адаптивністю даних систем дуже висока і все більш підвищується. Тому процес діагностування системи мащення пов'язаний як з МСУД, так і з системою енергопостачання.

В результаті проведеного аналізу виявлено, що конструктивне вдосконалення основних механізмів ДВЗ здійснюється за наступними напрямками: 1. Підвищення якості виготовлення деталей, складання вузлів і агрегатів машин; 2. Кількісне збільшення датчиків і виконавчих механізмів, контролюючих та керуючих параметрами функціонування механізмів ДВЗ, інших агрегатів машин; 3. Забезпечення прецизійності (точності) коригувань величин робочих параметрів систем ДВЗ в залежності від зміни режимів, умов експлуатації МЕМ, а також погіршення технічного стану самих механізмів (на основі самодіагностики і коригування їх параметрів); 4.

Диференціювання величини параметрів робочих процесів машин в залежності від зміни режимів і умов експлуатації.

#### 1.4. Аналіз і синтез методів і засобів діагностування

Засоби діагностування стали невід'ємною частиною електронного оснащення MEM [9, 10, 16, 24, 26, 30], а в останні роки – одним з центральних напрямків комп'ютеризації.

Мікропроцесорним вбудованим засобам відводиться завдання контролю за технічним станом агрегатів, вузлів і MEM в цілому [29, 33]. В результаті формуються рекомендації щодо продовження роботи MEM на лінії або взяття її на ТО і ТР, або виконання дрібного ремонту самим водієм в межах ЕО.

Вбудовані засоби поділяються (рисунк 1.46) на:

- системи датчиків і контрольних точок, що забезпечують виведення сигналів на зовнішні засоби діагностування;
- бортові системи контролю для пускового контролю параметрів функціонування і технічного стану з висновком результатів тільки на дисплеї в кабіні водія;

Вбудовані системи діагностування – автономні або функціональні комплексно зі стаціонарними інформаційно-керуючими центрами. Ці системи призначені для непрямого узагальненого контролювання працездатності вузлів і агрегатів з видачею результатів на дисплей водієві і в бортовий накопичувач для подальшого прогнозування та обліку ресурсу і напрацювань вузлів, коригування режимів ТО стаціонарними ЕОМ.

Найбільшого поширення набули вбудовані системи з мікропроцесорною обробкою, накопиченням і видачею інформації водієві в бортовий накопичувач і на штекер, що несуть функції всіх зазначених різновидів. Діагностування тільки зовнішніми засобами не забезпечує запобігання експлуатації автомобілів з неполадками, аварійних дорожніх відмов, оптимізації вибору режиму руху та проведення ТО і ТР. Воно не

усуває накопичення неполадок на міжконтрольному пробігу, так що в середньому більше 20% парку експлуатується з такими неполадками [15, 31, 34, 52, 53].

Найбільш перспективною можливістю зняти зазначені обмеження, забезпечивши практично безперервним контролем найменш надійні вузли, служить впровадження вбудованих засобів діагностування. Наявні в даний час розробки показують доцільність діагностування вбудованими засобами двигуна і вузлів, основних функціональних якостей автомобіля за функціональними параметрами агрегату і руху автомобіля, узагальнених показників працездатності найважливіших агрегатів.

При насиченні автомобілів електронікою (наприклад, легкових вищого і середнього класів) встановлюються на бортові системи контролю пристрою об'єднують на мікропроцесорній основі в одне ціле з іншими пристроями контролю (економетрії, маршрутним комп'ютером, електронною панеллю, керування доцільності перемикачів передачі) і пов'язують з автоматичними регуляторами (уприскування, запалювання, роботою трансмісії і ін.). Подібні зв'язки виникають як при використанні загальних датчиків одночасно для декількох компонентів, так і при виконанні функцій обробки, відображення і нагромадження даних загальними для них блоками.

Так, фірмою «Бош» запропоновано на додаток до звукової та світлової індикації виходу контрольованих параметрів за поле допуску видавати за запитом швидкість їх вимірювання. Фірмою «Nippondenso» (Японія) пропонується змінювати масштаби шкал, що відображаються на дисплеях параметрів при їх виході за поле допуску, а також нагадувати про наявність неполадок мовним індикатором через фіксований час після візуальної індикації. Цією ж фірмою замість індикації швидкості поступової зміни контрольованого параметра (наприклад, внаслідок зносу) запропоновано видавати результат порівняння прогнозу ресурсу з пробігом до найближчого планового ТО [28].

Японськими фірмами «Toyota» і «Nippondenso» рекомендується

заносити в бортовий накопичувач результати контролю не тільки технічного стану, а й частоти виходу з ладу агрегатів і систем автомобіля на екстремальних режимах як найбільш об'єктивні показники ефективності роботи автомобіля [48].

Представлений аналіз наявних і перспективних методів і ЗТД, діагностичних параметрів, використовуваних при діагностуванні для різних систем і елементів ДВЗ (рисунок 1.17).

Сучасний ринок пропонує велику різноманітність діагностичних засобів [9, 54, 70, 102, 110, 55]. Розглянемо різні ЗТД, рекомендовані в даний час, і проведемо їх аналіз за такими важливими показниками контролепридатності [63], як кількість діагностичних параметрів  $N$ , час пошуку несправності  $T$ , середній час підготовки автомобіля до діагностування заданим числом фахівців  $T_B$ , коефіцієнт повноти діагностичної інформації КПДІ, коефіцієнт повноти перевірки справності КПП, глибини пошуку дефекту КГП, коефіцієнт використання спеціальних засобів діагностування КІС.

Коефіцієнт повноти діагностичної інформації визначається

$$K_{\text{пді}} = \frac{\sum_{j=1}^n D_j + \sum_{l=1}^m D_l}{\sum_{j=1}^n D_j + \sum_{l=1}^m D_l + \sum_{i=1}^N D_i + \sum_{y=1}^M D_y} \quad (1.1)$$

де  $D_j$ ,  $D_l$  - достовірність інформації, одержуваної при вимірюванні  $j$ -го діагностичного параметра і оцінці  $l$ -ї ознаки діагностичної інформації;  
 $D_i$ ,  $D_y$  - достовірність інформації, одержуваної при вимірюванні  $i$ -го структурного параметра і оцінці  $y$ -ї ознаки після розбирання машини.

Таким чином, коефіцієнт повноти діагностичної інформації одно-значний визначає величину достовірності процесу діагностування.

Значення повноти діагностичної інформації при виявленні неполадок автомобілів пов'язано з часом пошуку неполадок експоненціальною залежністю

$$T = 674 e^{-1,83K_{\text{пді}}} - 0,62 \quad (1.2)$$

При зниженні коефіцієнта повноти діагностичної інформації на 0,1 середній час пошуку інформації збільшується на 0,5 години.

Наприклад, для  $K_{пдд} = 0,95$  середній час пошуку інформації  $T = 0,56$  години;  
 $K_{пдд} = 0,8 \rightarrow T = 0,936$  години;  $K_{пдд} = 0,7 \rightarrow T = 1,246$  години;  $K_{пдд} = 0,6 \rightarrow T = 1,624$  години.

Середній час підготовки автомобіля до діагностування заданим числом фахівців [34, 54].

$$T_{в} = T_{усп} + T_{мдр} \quad (1.3)$$

де  $T_{усп}$  - середній час установки і зняття вимірювальних перетворювачів та інших пристроїв, необхідних для діагностування;

$$K_{пп} = \frac{\lambda_k}{\lambda_0} \quad (1.4)$$

де  $\lambda_k$  - сумарна інтенсивність відмов перевіряються складових частин автомобіля на прийнятому рівні поділу;

$\lambda_0$  - сумарна інтенсивність відмов всіх складових частин автомобіля на прийнятому рівні поділу.

Якщо ж інтенсивності відмов невідомі, то коефіцієнт повноти перевірки справності допускається визначати за виразом

$$K_{пп} = \frac{n_k}{n_0} \quad (1.5)$$

де  $n_k$  - число діагностичних параметрів;  
 $n_0$  - число параметрів технічного стану, використання яких забезпечує методичну достовірність перевірки.

Одним з визначальних показників якості діагностування є коефіцієнт глибини пошуку дефекту,

$$K_{гп} = \frac{F}{R} \quad (1.6)$$

де  $F$  - число однозначно помітних складових частин автомобіля на прийнятому рівні поділу, з точністю до яких визначається місце дефекту;

$R$  - загальне число складових частин автомобіля на прийнятому рівні поділу, з точністю до яких потрібно визначення місця дефекту.

Таким чином, коефіцієнт глибини пошуку дефекту однозначно визначає

величину точності процесу діагностування.

$$K_{ic} = \frac{G_{сд} - G_{ссд}}{G_{сд}} \quad (1.7)$$

Коефіцієнт використання спеціальних засобів діагностування де  $G_{сд}$  - сумарна маса (об'єм) серійних і спеціальних засобів діагностування;  $G_{ссд}$  - маса (об'єм) спеціальних засобів діагностування.

Заводи-виробники пропонують різні діагностичні методи і засоби. В основному вони представлені в таблиці 1.4. Для представлених в таблиці 1.4 діагностичних засобів проведемо розрахунок показників контролепридатності [12]: кількість діагностичних параметрів  $N$ , час пошуку неполадок  $T$ , середній час підготовки автомобіля до діагностування заданим числом спеціалістів  $T_B$ , коефіцієнт повноти діагностичної інформації  $K_{ДИ}$ , коефіцієнт повноти перевірки справності  $K_{ПП}$ , глибини пошуку дефекту  $K_{ГП}$ , коефіцієнт використання спеціальних засобів діагностування  $K_{ic}$ . Наведені дані зведемо в таблицю 1.4.

Проведено аналіз засобів і методів по таблиці 1.4. Слід зазначити граници ефективності показників контролепридатності кількостей про діагностичні параметри:  $N = 1 \dots 2$  - низький рівень універсальності ДС,  $N = 2 \dots 4$  - середній рівень універсальності і  $N > 4$  - високий ступінь універсальності. Відповідно, чим більша кількість ДП дозволяє контролювати ЗТД, тим воно більш універсально і ефективно з позиції економічної оцінки. Однак велика кількість ДП ще не дає підстави говорити про високу якість процесу діагностування.

Таблиця 1.4

Показники контролепридатності при діагностуванні елементів двигуна різними ЗТД (рекомендованими заводами)

Діагностуються елементи	Рекомендовані ЗТД	$N$ , шт.	$T$ , ч.	$T_B$ , ч.	$K_{ДИ}, K_{ПП}$	$K_{ДП}$	$K_{ic}$
ланцюги мікропроцесорної системи управління двигуном МСУД	1. Мотор-тестер МТ-10,	132	0,6	0,1	0,50	0,40	1,00
	2. сканер DST-12	96	0,3	0,15	0,40		

проводка й роз'єми	Тестер (цифровий мультиметр)	12	1,5	0,05	0,30, 0,30	0,30	1,00
датчики і виконавчі механізми	Осцилограф, блок живлення, мотор тестер МТ-10, спеціальні прилади (12 шт.)	26	2	0,2	0,60, 0,50	0,50	0,60
Система запалювання	мотор-тестер МТ-10, розрядник	6	0,3	0,1	0,80, 0,70	0,70	1,00
система паливоподачі: 1) форсунки; 2) бензонасос; 3) паливний фільтр; 4) паливна рампа	1. Проливочний стенд, 2. МТА-2 з набором жиклів; 3. МТА-2, 4. -	8, 3, 2, -	2, 0,5, 0,2, -	1, 0,1, 0,1, -	0,90, 0,80	0,80, 0,80, 0,80, -	1,00, 0,80, 1,00, -
КШМ: 1) циліндр-поршнева група; 2) підшипники клонували	1. Компресометр, мотор-тестер МТ-10; 2. Пневмотестер, манометр	4, 4	0,3, 0,5	0,15, 0,35	0,90, 0,90, 0,60, 0,50	0,8, 0,5	0,90, 1,00
ГРМ	Мотор-тестер МТ-10, пневмотестери	1	0,5	0,35	0,80, 0,60	0,60	1,00
Система випуску відпрацьованих газів	МТА-2	1	0,8	0,3	0,60, 0,50	0,50	1,00
Система впуску: повітряний фільтр	МТА-2	1	0,8	0,3	0,60, 0,50	0,50	1,00

Коефіцієнт повноти діагностичної інформації і коефіцієнт повноти перевірки справності: значення КПДІ  $< 0,5$  - повнота діагностування низька; КПДІ =  $0,5 \dots 0,8$  - середня, КПДІ =  $0,8 \dots 1,0$  - висока, то ж для коефіцієнт повноти перевірки справності КПН.

Коефіцієнт глибини пошуку дефекту: КГП  $< 0,6$  - глибина пошуку дефекту низька; КГП =  $0,6 \dots 0,8$  - середня; КГП =  $0,8 \dots 1,0$  - висока.

Коефіцієнт використання спеціальних засобів діагностування: значення коефіцієнта КІС  $< 0,5$  - низьке використання спеціальних засобів; КІС =  $0,5 \dots 0,8$  - середнє; КІС =  $0,8 \dots 1,0$  - висока.

Ланцюги МСУД завод-виробник пропонує діагностувати за допомогою мотор-тестера МТ-10 і Сканера DST-12 [2, 17, 15]. Перевагою даних ЗГД є контроль значної кількості діагностичних параметрів  $N = 132$  і  $N = 96$ , що говорить про високу їх універсальності. Час  $T$  має серед- неї  $0,6$  ч і мале  $0,3$  ч



значення відповідно, час ТБ також незначно - 0,1 ч і 0,15 ч. За параметрами Т і ТБ зазначені кошти цілком прийнятні. Однак низькі значення коефіцієнтів КПД, КПП і КГП характеризують зазначені ЗТД як низько ефективні і малодостовірні. Значення КІС = 1,0 говорить про використання тільки заводських засобів при діагностуванні.

Проводку і роз'єми рекомендують діагностувати за допомогою тестера (цифровий мультиметр) [28]. Однак при значному числі ДП час ТБ приймає дуже велике значення, що значно перевищує всі допустимі межі. При цьому коефіцієнти КПД, КПП і КГП низькі, що говорить про їх низькою ефективності та достовірності.

Датчики та виконавчі механізми діагностують за допомогою заводських ЗТД [23, 37]: осцилографа, мотор-тестера МТ-10, спеціальних приборів (12 шт.). Зазначені ЗТД дозволяють контролювати 26 ДП, але, ефективно з позиції кількості інформації, проте значно (надмірно) високі значення Т і ТБ, а також низька ефективність і якість процесу діагностування, тому що низькі коефіцієнти КПД, КПП і КГП.

система запалювання за заводською технологією діагностується мотор тестером МТ-10 і розрядником [15, 23, 31, 35]. Кількість ДП становить 6, що відповідає високій універсальності засобів і високим можливостям їх використання. Час Т і ТБ приймає мінімальні значення, що задовольняє вимогам з надлишком. Коефіцієнти КПД, КПП і КГП приймають середні значення, що цілком прийнятно забезпечує якість процесу діагностування.

Система подачі палива передбачає діагностування форсунок простим зняття їх і випробування на стенді для очищення і випробування бензинових форсунок «Форсаж» [17, 15]. Кількість ДП становить 8 шт., що говорить про існування універсальності стенду, причому оцінка проводиться на декількох режимах. Однак значним і головним недоліком є високий час Т, яке складає 2 години і ТБ, відповідно, 1 ч, а це тягне збільшення матеріальних і трудових витрат. Коефіцієнти КПД, КПП і КГП мають високі і середні значення, що цілком задовольняє вимогам якості процесу діагностування. Для бензонасоса

час T і час TB приймають середнє і низьке значення, що задовольняє вимогам, інші параметри в нормі. Паливний фільтр також питань не викликає. А ось паливна рампа - мабуть,

Циліндро-поршневу групу діагностують компресиметром, мотор тестером МТ-10. Значення T і ТБ знаходяться на низькому і середньому рівні відповідного, що цілком задовольняє вимогам. Коефіцієнти КЦД, КПЦ і КГЦ приймають середні і високі значення, КГП незадовільний.

Підшипники колінчастого валу діагностують пневмотестери, манометром в магістралі тиску. Високо час T і ТБ, що є головним недоліком. Коефіцієнти КГП і КГЦ мають вкрай низьке значення.

Для газорозподільного механізму, системи впуску, системи випуску, відпрацьованих газів передбачені мотор-тестер МТ-10, пневмотестери і МТА-

2. Значення T і ТБ приймають високі значення, низька ефективність процесу діагностування, низька точність.

Проведений аналіз пропонованих заводами-виробниками методів і засобів діагностування показує, незважаючи на їх суттєву роль в сучасному сервісі, їх низьку ефективність.

Для значимого підвищення ефективності процесу діагностування необхідна розробка нових методів і засобів діагностування систем ДВЗ, використання яких повинно бути направлено на забезпечення наступних заходів, які представлені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5

## Шляхи підвищення ефективності діагностування бензинових двигунів з МСУД

Елементи, що діагностуються	основні причини низької ефективності діагностування	пропозиції з підвищення ефективності діагностування
Датчики МСУД	низькоєфективні і малодостовірні (низькі значення коефіцієнтів КПД, КПЦ, КПП)	Створення електронної ланцюги по неполадок (діагностується ланцюги, діагностичні карти, значення діагностичних параметрів, розробка тестових режимів для оцінки технічного з-стояння ланцюгів МСУД
проводка і роз'єми датчики	Значний час ТВ, низька ефективність і достовірність (низькі значення коефіцієнтів датчиків і їх роз'єми	Розробка тестових режимів для оцінки технічного стану
і виконавчі механізми	Значно (надмірно) високі Т і ТВ, низька ефективність і якість процесу діагностування, тому що низькі КПД, КПЦ, КПП. Оцінка ТС датчиків виводиться у вузькому діапазоні режимів їх роботи	Розробка тестових режимів для оцінки технічного з-стояння датчиків і виконавчих механізмів
Елементи, що діагностуються	основні причини низької ефективності діагностування	пропозиції з підвищення ефективності діагностування
Система подачі палива: форсунки, бензонасос, паливний фільтр, паливна рампа	високий час Т і ТВ, що призводить до збільшення витрат матеріальних і трудових, зняття форсунок двигуна для діагностування, паливна рампа не діагностується	Розробка методу діагностування системи подачі палива по зміні частоти обертання ДВЗ на тестових режимах (Треж)
Кривошипно-шатунний механізм, ЦПГ, підшипники колінчастого	високий час Т і ТВ. Коефіцієнт КПП, КПЦ мають вкрай низьке значення, низька достовірність	Розробка методу діагностування за параметрами пульсації тиску

ГРМ	високий час Т і ТБ. Коефіцієнт КПП, КГП мають низьке значення, низька достовірність і точність	Розробка методу діагностування по осцилограмами пульсації тиску у впускному колекторі, витраті повітря на Треж
Система випуску відпрацьованих газів	Значна трудомісткість підготовчих операцій і процесу діагностування, низька достовірність	Розробка методу діагностування по осцилограмами пульсації тиску у впускній трубі, по вибіжку на Треж
Система впуску: повітряний фільтр	Значна трудомісткість підготовчих операцій і процесу діагностування, низька достовірність	Розробка методу діагностування повітряного фільтра зі зміни частоти обертання ДВЗ при роботі двигуна на Треж

Таким чином, практична реалізація зазначених в таблиці 1.5 заходів на основі розробки нових методів і засобів дозволить підвищити достовірність і точність процесу діагностування. Досягнення високих показників контролепридатності можливо за рахунок використання тестових вбудованих систем контролю технічного стану систем ДВЗ.

На даний момент значними темпами розвивається тестова система діагностування [36, 59]. Існують на сьогоднішній день методи тестування програмного забезпечення МСУД не дозволяють однозначно і повністю виявити всі дефекти і встановити коректність функціонування ЕВУ.

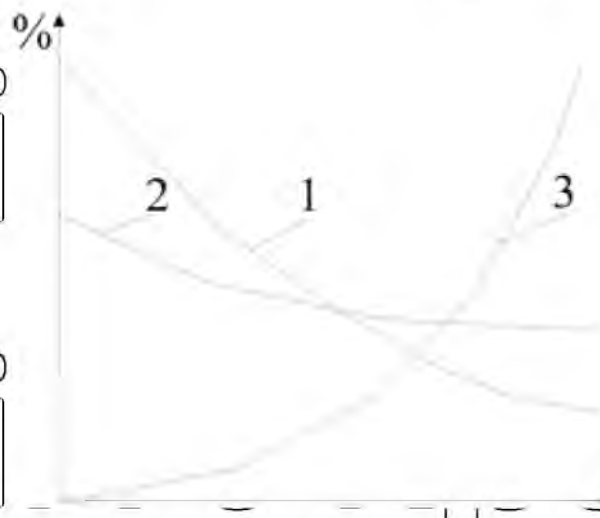
Існують кілька ознак, за якими прийнято проводити класифікація видів тестування [2, 16, 34, 35]. Виділяють класифікаційні в категорію по об'єкту тестування.

На сьогоднішній день поширені і заслуговують на особливу увагу навантажувальний і стрес-тестування. Тестування навантаження (англ. Load Testing) – визначається або збір показників продуктивності і часу відгуку програмно технічної системи або пристрої у відповідь на зовнішній запит з

метою встановлення відповідності вимогам, що пред'являються до даної системи (пристрою)

Для дослідження часу відгуку системи на високі або пікових навантаженнях проводиться стрес-тестування, при якому створюється на систему навантаження перевищує нормальні сценарії її використання [16, 39, 35].

В магістерській роботі приділена увага тому, що тестування систем на MEM (за ступенем участі об'єкта в тестуванні) може бути поділені на три види. Причому якщо розглядати рівень оснащення MEM тестовими системами діагностування, то спостерігається чітка тенденція зростання числа третього виду тестових систем (рисунк 1.20) при зниженні числа двох інших [16, 39, 50].



1 - тестування стаціонарного об'єкта (недіючого) або працює (нерухомого), виведеного на певний режим; 2 - тестування динамічного об'єкта в процесі експлуатації або використання; 3 - тестування динамічного об'єкта в процесі експлуатації або використання з метою автоматичного управління його роботою

Рис.1.20 - Динаміка розвитку систем тестового діагностування

Таким чином, позначено новий напрямок тестового діагностування - це тестування динамічного об'єкта в процесі експлуатації або виконання з метою автоматичного управління його роботою

## РОЗДІЛ 2 ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ДІАГНОСТУВАННЯ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ОСНОВНИХ СИСТЕМ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ КРАЗ

### 2.1 Концепція вдосконалення методів і засобів технічного діагностування основних систем ДВЗ

Процес діагностування, в якому визначені функції виконує оператор, передбачає тісний взаємозв'язок об'єкта (ОД), методів і засобів технічного діагностування (ЗТД). При цьому дія оператора визначається прийнятим ступенем автоматизації процесу. Сукупність об'єкта, методів, ЗТД і оператора називається системою діагностування (СД). Розробка СД, виконувана різними проектними організаціями, базується в основному на інженерній інтуїції і практичному досвіді розробників, що не завжди дозволяє отримати результати, близькі до оптимальних. Тим часом, може бути запропонована досить строго обгрунтована послідовність дій при проектуванні СД різного призначення, яку можна автоматизувати, використовуючи ЕОМ. Ця послідовність включає три етапи. На першому етапі розглядається процес діагностування і на основі обраного критерію організації з урахуванням специфіки використання та експлуатації об'єкта визначаються вимоги до методів СД. На другому етапі здійснюється паралельне в часі проектування об'єкта, ЗТД і діяльності оператора. На цьому етапі в процесі проектування можуть брати участь різні організації, які розробляють об'єкт, ЗТД і оператор. Однак їх дії повинні координуватися головним розробником СД. Нарешті, на третьому етапі повинні бути оцінені ефективність діагностування і СД, ЗТД і діяльності оператора. На цьому етапі в процесі проектування можуть брати участь різні організації, які розробляють об'єкт, ЗТД і оператор. Однак їх дії повинні координуватися головним розробником СД. Нарешті, на третьому етапі повинні бути оцінені ефективність діагностування і СД, ЗТД і діяльності оператора. На цьому етапі в процесі проектування можуть брати участь різні

організації, які розробляють об'єкт, ЗТД і оператор. Однак їх дії повинні координуватися головним розробником СД. Нарешті, на третьому етапі повинні бути оцінені ефективність діагностування і СД.

У загальному випадку в ході аналізу та синтезу процесу взаємодії елементів СД можна визначити максимальне значення обраного критерію (прямі завдання) або значення показників, що характеризують ОД і ЗТД, які забезпечують досягнення заданого критерію (зворотні завдання).

В процесі проектування системи діагностування на першому етапі виходять із ситуацій, що складаються на практиці, які, наприклад, можуть бути зведені до наступних завдань.

#### **Перше завдання.**

Визначити значення обраного критерію при заданих показниках, що характеризують властивості ОД, ЗТД і процеси діагностування та використання об'єкта.

#### **Друге завдання.**

Для заданих об'єкта і технічних засобів, припускаючи, що використання ОД строго регламентовано, визначити значення показників, що характеризують процес діагностування, які забезпечать заданий показник

організації СД. Подібна задача виникає в разі, коли призначення об'єкта, його конструктивні особливості і специфіка використання строго регламентують показники ОД і ЗТД.

#### **Третя задача.**

Для заданих ОД і ЗТД найкращим чином організувати процес використання і діагностування ОД. Завдання такого роду виникає тоді, коли, на відміну від попереднього випадку, у розробника є можливість перебудувати або вплинути на організацію використання ОД з метою досягнення найбільшого ефекту в сенсі прийнятого критерію організації СД. Подібна ситуація може скластися при проектуванні СД для об'єктів періодичного використання. При цьому розробники СД можуть обґрунтовано рекомендувати доцільно періодичності діагностування та використання об'єкта.

#### Четверта задача.

Для заданого об'єкта, у якого строго регламентовані процеси використання і діагностування, визначити показники ЗТД при певному значенні критерію організації СД. Таке завдання виникає, як правило, коли ЗТД є зовнішніми, а прийнята організація використання та технічного обслуговування об'єкта не визначається жорсткими зовнішніми умовами (технологічним процесом, технічними можливостями, чисельністю обслуговуючого персоналу та ін.).

#### П'ята задача.

Для строго регламентованих процесів використання і діагностування ОД визначити показники об'єкта та ЗТД, що забезпечують задані значення критерію організації СД. Тут виходячи з призначення об'єкта і зовнішніх умов, що впливають на характер його використання, розробники ОД визначають організацію його використання і технічного обслуговування, а в ході розробки СД її проєктувальники визначають відповідні вимоги до ОД і ЗТД і домагаються їх задоволення.

Таким чином, в межах п'яти представлених вище завдань здійснюється процес проєктування ЗТД. Головним, визначальним фактором процесу діагностування ДВЗ є висока технологічна здатність при реалізації методів і ЗТД, що забезпечує необхідний рівень точності і достовірності діагнозу - якість процесу діагностування. Однак, незважаючи на істотну важливість процесу проєктування ЗТД, все-таки заключний етап - оцінка якості діагностування з урахуванням впливу цілого ряду факторів - дає підсумкову оцінку всіх попередніх заходів. Тому важливо розглянути якість процесу діагностування комплексно. Якість діагностування можна уявити як складний багатофакторний комплекс, функціонал якого визначається:

$$K(t) = F[\Phi_1(t), \Phi_2(t), \Phi_3(t), \Phi_4(t), \Phi_5(t), \dots, \Pi] \quad (2.1)$$

де  $K(t)$  - точності показники якості процесу діагностування (тип відхилення);  
 $\Phi_1(t), \Phi_2(t), \Phi_3(t), \Phi_4(t), \Phi_5(t)$  - групи чинників в часі, що забезпечують і реалізують якість процесу діагностування, відповідно на



операціях вимірювання, перетворення, обробки;

$\Pi$  - фактор функціоналу, що відображає наявність збурень і неконтрольованих параметрів технологічного процесу діагностування.

Технологічний, технічний і соціально-економічний ефект від застосування методів тестового діагностування ДВЗ вбудованими та зовнішніми засобами діагностування забезпечується підвищенням надійності роботи вузлів і механізмів внаслідок точності розпізнавання відмов, причин їх виникнення, розробки алгоритмів і структури проведення ремонтно-обслуговуючих впливів щодо усунення їх наслідків.

Відповідно до вищевикладеного та поставленою метою технологічний процес діагностування визначається функціоналом, який має вигляд де  $E(t)$  - показник досягнення поставленої мети;

$$E(t) = f[D(t), T(t), \Phi(t), \Pi, \Pi T] \quad (2.2)$$

$D(T)$  - критерій якості процесу діагностування (достовірність);

$T(T)$  - трудомісткість процесу діагностування;

$\Phi(T)$  - групи чинників в часі, що забезпечують і реалізують якості на стадіях проектування, виготовлення і застосування (експлуатація, відновлення і ін.);

$\Pi$  - приведені витрати;

$\Pi T$  - організаційні і виробничо-технологічні чинники.

Рішення задач, що визначають підвищення ефективності процесу діагностування, зумовлює розгляд складових функціоналу (2.2) як самостійних об'єктів дослідження, так і у взаємному зв'язку з урахуванням відмов і неконтрольованих параметрів [73, 138].

Процес діагностування є структурно складним технологічним процесом, в якому одні параметри є заданими, другі керуючими, треті являють собою випадкові фактори (рисунок 2.1).

До числа заданих параметрів відносяться:  $E_{доп}$  - допустиме відхилення діагностичних параметрів ДП (по ТУ);  $n_P$  - кількість діагностичних параметрів;  $t_0$  - мінімум при обробці діагностичної інформації;  $t_{П}$  - швидкість приєднання ЗТД;  $t_{пг}$  - час підготовки і розігріву ЗТД.

Керуючими параметрами є:  $\omega$  - режим роботи ДВЗ (частота обертання);  $N$  - навантажувальний режим роботи ДВЗ;  $A$  - алгоритм діагностування; ЗГД - засіб технічного діагностування;  $t_B$  - частотестового впливу [111, 112, 138].

Зміною цих параметрів в певних межах можна забезпечити необхідний рівень технологічності методів діагностування.

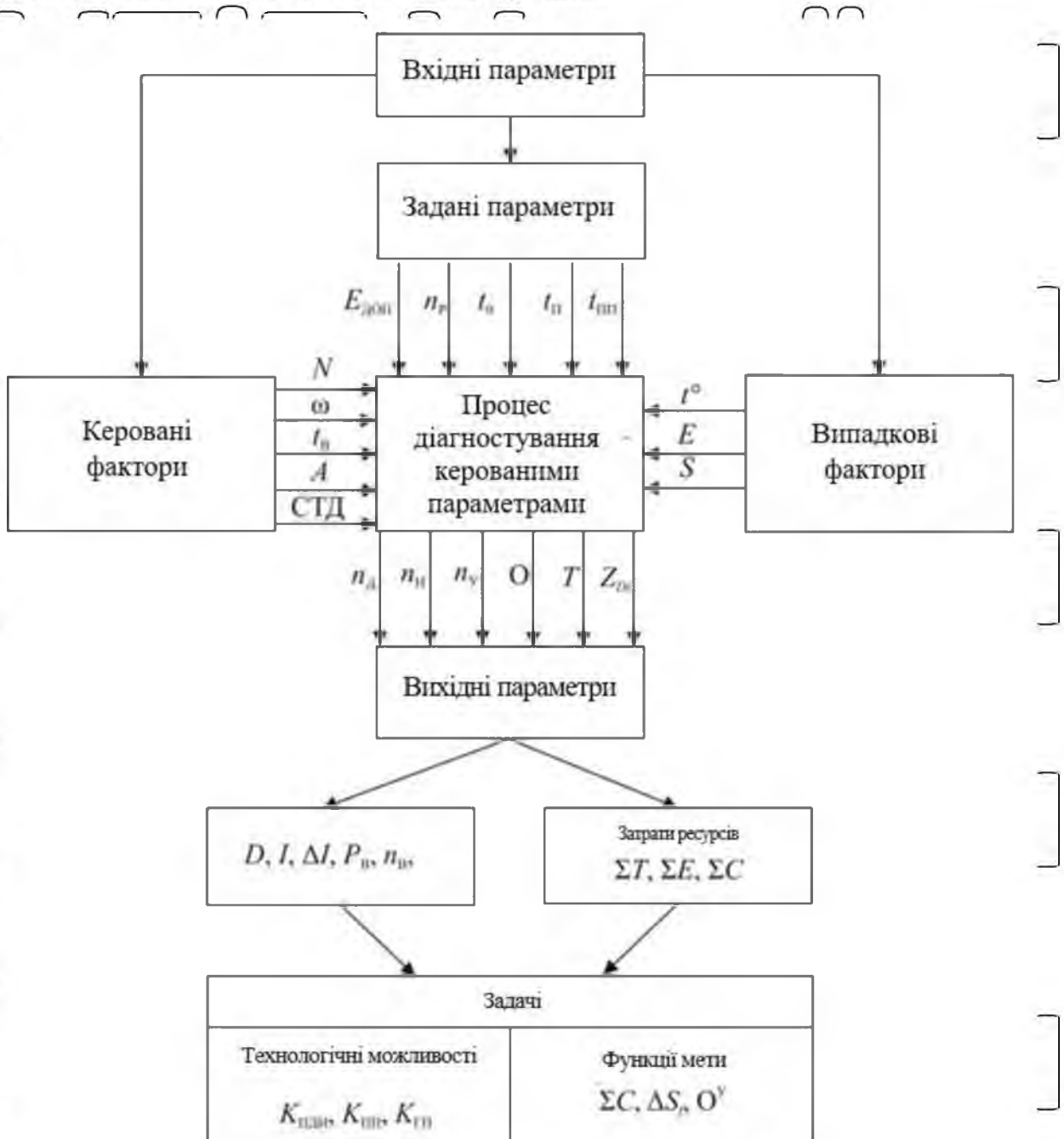


Рис.2.1 - Структурна схема процесу діагностування

До випадкових збурень відносяться:  $t^{\circ}$  - температура навколишнього середовища;  $E$  - рівень електромагнітних завад;  $S$  - ступінь впливу на

результат діагностування технічного стану інших вузлів і механізмів ДВЗ.

До керуваних параметрів відносять:  $N_D$  - кількість діагностичних операцій;  $N_H$  - додаткове число діагностичних параметрів нового ЗТД;  $n_U$  - число вузлів, механізмів, діагностованих даними ЗТД;  $T$  - трудомісткість діагностування;  $O$  - помилки оцінки технічного стану;  $ZD_i$  - структура діагностичних операцій.

Якість технологічної системи визначають вихідні параметри:  $D$  - достовірність діагнозу;  $I$  - інформаційна ємність;  $\Delta I$  - втрати інформації в процесі передачі, прийому і обробки;  $P_B$  - ймовірність виявлення неполадок;  $n_B$  - число виявлених неполадок;  $E$  - якісний показник концентрації вихлопу;  $i$  - витрати ресурсів;  $\Sigma T$  - витрати праці, люд.-год.;  $\Sigma E$  - витрати енергії, МДж;  $\Sigma C$  - витрати грошових коштів, грн.

Критерієм обґрунтування ефективності процесу діагностування є відшукання таких керуючих параметрів для кожної системи двигунів автомобілів КРАЗ засобів, які забезпечили б необхідну достовірність діагностування при мінімально можливих кількості вимірювань і витрат праці.

Таким чином, можна записати:

$$F_1 = f(E, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C) \rightarrow \min \quad (2.3)$$

Поряд з вищевикладеним очевидно, що вихідні параметри  $E, D, I, \Delta I, P_B, n_B, \Sigma T, \Sigma C, \Sigma E$  не можуть бути рівними нулю.

$$F_2 = f(D, I, P_B, n_B) \rightarrow \min \quad (2.4)$$

Отже, на ці вихідні параметри накладаються обмеження, які в узагальненому вигляді будуть виражатися функціями виду:

$$F = f(E, \Delta I, \Sigma T, \Sigma E, \Sigma C, D, I, P_B, n_B) \geq 0 \quad (2.5)$$

Керуючі параметри повинні мати межі, значення яких рекомендуються спеціальними дослідженнями та рекомендаціями, конструктивними особливостями ЗТД, що забезпечують (поряд з необхідністю досягнення поставленої мети) експлуатаційну надійність і довговічність ЗТД, тобто на керуючі параметри також накладаються обмеження.

Із вищевикладеного випливає, що поставлена задача є задачею багатопараметричної оптимізації при наявності обмежень на всі параметри об'єкта. У нашому випадку багатопараметрична оптимізація повинна враховувати адаптивність систем живлення й мащення при забезпеченні функціонування ДВЗ, що представлено на рисунку 2.2

Мікропроцесорна система управління ДВЗ відстежує параметри працездатності системи живлення і системи мащення, забезпечує їх зіставлення з еталонними значеннями, адаптивність їх коригування і в загальному справну роботу пристроїв ДВЗ.

У той же час важливою функцією МСУД при контролі технічного стану системи живлення є забезпечення функціональних показників, а при контролі технічного стану системи мастила - забезпечення ресурсних показників.

В системі живлення забезпечення функціональних показників здійснюється за рахунок корекції тривалості і фази уприскування, коригування тиску уприскування і подачі, забезпечення якості суміші, кількості палива і повітря, що можна записати в вигляді функціоналу:

де  $CT(t)$  - критерій забезпечення адаптивності функціональних показників системи живлення; і реалізують адаптивність функціональних показників системи живлення: корекції тривалості і фази уприскування, коригування тиску уприскування і подачі, забезпечення якості суміші, кількості палива і повітря.

В системі мастила забезпечення ресурсних показників відбувається за рахунок коригування тиску і подачі, динамічного контролю витрати оливи, статичного контролю витрати оливи, контролю пульсації тиску. Дана умова можна записати у вигляді функціоналу:

$$CT(t) = F[ДнФ(t), ДВиП(t), КС(t), КТиВ(t)],$$

$$CT(t) = F[ДнФ(t), ДВиП(t), КС(t), КТиВ(t)] \quad (3.7)$$

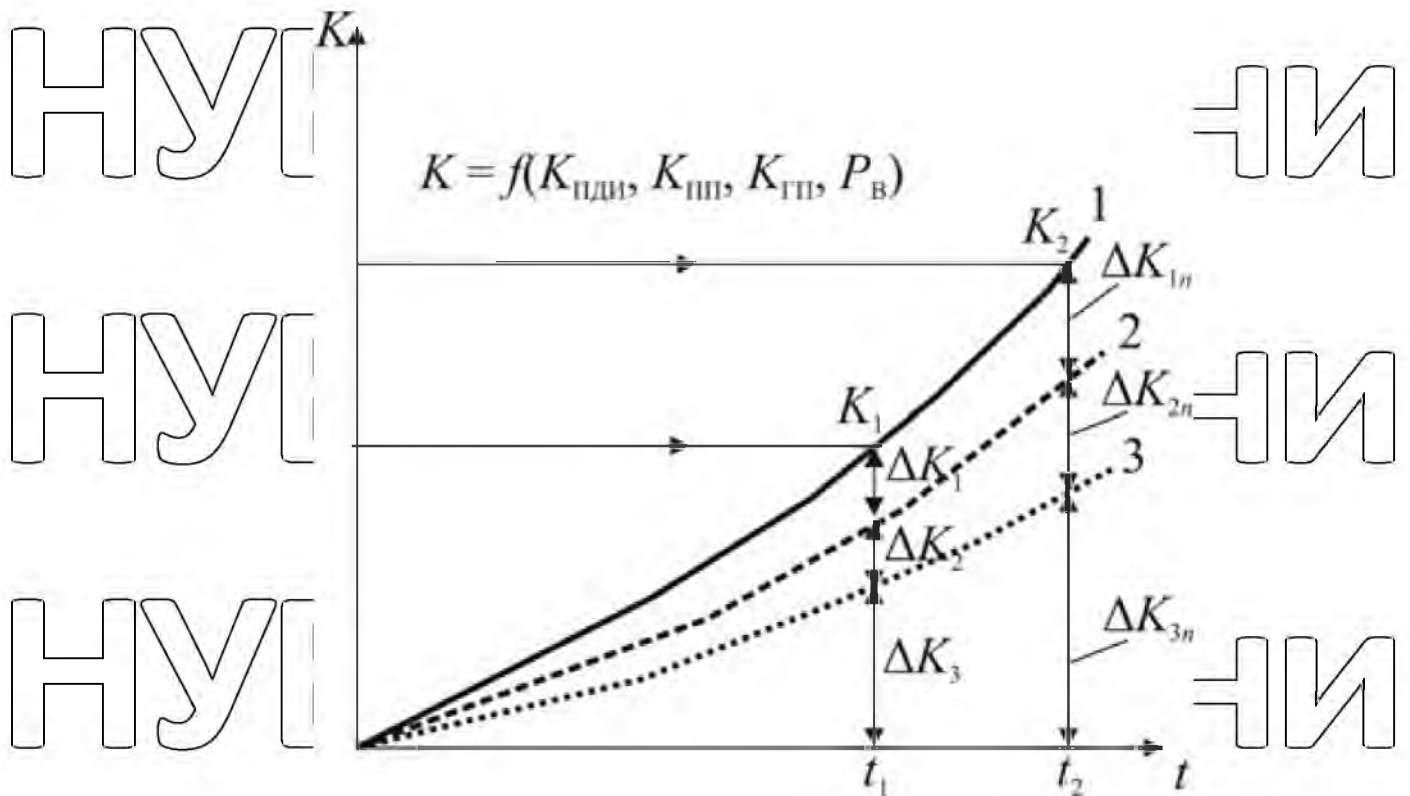
де  $CM(t)$  - критерій забезпечення ресурсних показників системи мащення;

Реалізують ресурсні показники системи мащення: коригування тиску і подачі, динамічний контроль витрати оливи, статичний контроль витрати

одиви, контроль пульсацій тиску.

Для узгодження всіх елементів системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) була розроблена концепція вдосконалення процесу діагностування ДВЗ, яка представлена у вигляді структурної схеми (рисунк 2.3).

Наведений аналіз складових концепції. Предмет діагностування - автотракторний ДВЗ, методи та засоби діагностування і виконавець (оператор-діагност)



1, 2, 3 - показники конструктивного вдосконалення систем ДВЗ, перспективних ЗТД,

традиційних ЗТД;  $\Delta K_1, \Delta K_{1n}$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення

систем ДВЗ над рівнем конструктивного вдосконалення перспективних ЗТД

в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ ;  $\Delta K_2, \Delta K_{2n}$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення

перспективних ЗТД над рівнем конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД

в момент часу  $t_1$  і  $t_2$ ;  $\Delta K_3, \Delta K_{3n}$  - рівень конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД

в момент часу  $t_1$  і  $t_2$

Рис. 2.4 - Залежність конструктивного вдосконалення систем ДВЗ і засобів

технічного діагностування  $K$  від часу  $t$ , років

При цьому в момент часу  $t_1$  рівень конструктивного вдосконалення

систем ДВЗ складе

$$\Sigma K = \Delta K_1 + \Delta K_2 + \Delta K_3 \quad (2.8)$$

де  $\Delta K_1$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення систем ДВЗ над рівнем конструктивного вдосконалення перспективних ЗТД в момент часу  $t_1$ ;

$\Delta K_2$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення перспективних ЗТД над рівнем конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД в момент часу  $t_1$ ;

$\Delta K_3$  - рівень конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД в момент часу  $t_1$ .

У момент часу  $t_2$  рівень конструктивного вдосконалення систем ДВЗ

складе

$$\Sigma K_n = \Delta K_{1n} + \Delta K_{2n} + \Delta K_{3n} \quad (2.9)$$

де  $\Delta K_{1n}$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення систем ДВЗ над рівнем конструктивного вдосконалення перспективних ЗТД в момент часу  $t_2$ ;

$\Delta K_{2n}$  - перевищення конструктивного рівня вдосконалення перспективних ЗТД над рівнем конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД в момент часу  $t_2$ ;

$\Delta K_{3n}$  - рівень конструктивного вдосконалення традиційних ЗТД в момент часу  $t_2$ .

На рисунку 2.4 видно, що до моменту тимчасового інтервалу  $t_1$  показник конструктивного вдосконалення систем ДВЗ досягне рівня  $K_1$ , а до часу  $t_2$  - рівня  $K_2$ . Причому якщо використовувати методи і засоби діагностування традиційні (крива 3), то показники КПД, КПЦ, КПІ і ймовірність виявлення неполадок РВ будуть на низькому рівні. Використання ж перспективних

методів і засобів діагностування (крива 2) дозволяє підвищити показники контролепридатності і ймовірність виявлення неполадок. Спостерігається постійне відставання рівня конструктивного вдосконалення ЗТД. Це можна пояснити рядом причин:

- набагато більш значний рівень прибутковості від реалізації авто тракторних засобів з новими системами ДВЗ в порівнянні з ЗТД;

- тенденції збільшення конструктивної та експлуатаційної надійності двигунів автомобілів КРАЗ засобів при мінімальному використанні

діагностичних, які обслуговують і ремонтних впливів;

велика різномарковість двигунів автомобілів КРАЗ, значну різноманітність систем і механізмів ДВЗ, відсутність єдиних вимог до виконання систем діагностування, систем автотроніки і електроніки і ін.

Незважаючи на високу конструктивну надійність ДВЗ, при його випуску з конвеєра повинні бути забезпечені заводська надійність, працездатність своєчасним проведенням ТО і ТР, а при експлуатації дотримані її режими і умови.

Із концепції впливає визначення місця ЗТД в системі ТО і ТР (стратегії ТО і ТР): в разі потреби, планово-попереджувальна; станом і превентивна [77, 19, 32, 56, 59].

Концепція формує напрями та шляхи розвитку методів діагностування: контроль стаціонарними (зовнішніми) ЗТД; автоматичний контроль вбудованими ЗТД: бортовими комп'ютерами і системою самодіагностики; з усуненням дефекту шляхом використання резервних схем заміщення.

У свою чергу напрями та шляхи розвитку методів діагностування зумовлюють, який вид діагностування можливий при використанні даного ЗТД: функціональне, поелементне і ресурсне.

На сучасному етапі конструктивного вдосконалення ДВЗ при їх експлуатації превалюють не функціональні відмови механізмів, а параметричні відмови, які органолептичними методами операторів і існуючими засобами в більшості випадків не можуть бути зафіксовані і виявлені.

Це знижує використання створеного експлуатаційного потенціалу машин, ефективність процесу забезпечення їх працездатності на основі результатів діагностування.

Всі відмови підрозділяються на раптові і поступові. Приймаємо, що при проведенні РОР можна надавати значущий вплив (з точки зору попередження) на кількість поступових відмов:

$$n_{\text{ров}} = n_{\text{пр}} = n - n_{\text{вн}} \quad (2.10)$$

де  $n_{\text{ров}}$  - кількість відмов, які можливо усунути при проведенні РОР за

результатами діагностування, шт.:

$n$  - загальне фактичне кількість відмов машин, шт.;

$n_{\text{ви}}$  - кількість раптових відмов, шт.

При відсутності нових методів і засобів діагностування сучасних ДВЗ кількість не виявлявся прихованих відмов значно перевищує рівень виявлявся відмов при існуючих ДВЗ, методах і засобах. Як наслідок, ймовірність виявлення неполадок різко знижується (рисунок 2.5).

Припустимо, що всі відмови  $n_{\text{ров}}$  можуть бути запобігати, хоча не всі поступові відмови можна запобігати. Часто важко визначити повільні зміни параметрів різних складових частин машин (СЧМ).

Із виразу (2.10) випливає, що при  $n_{\text{ров}} = n_{\text{пр}}$ :

$$n_{\text{ров}} = n_{\text{пр}} = n - n_{\text{ви}} \quad (2.11)$$

де  $n_{\text{пр}}$  - кількість відмов, які можна запобігати у даної марки машини при існуючих методах і ЗТД, шт.

Відзначимо, що розподіл відмов на запобігасмо і незапобіжні в процесі реалізації технічного обслуговування вводиться лише для оцінки ефективності цього процесу і до деякої міри умовно. Вдосконалення стратегій ТО, методів і засобів діагностування, прогнозування технічного стану машин, підвищення

показників їх ремонтпридатності призводять до того, що все більша частина змін в машинах може бути виявлена і частина відмов буде попереджена.

На величину коефіцієнта характеру відмов ДВЗ впливають конструктивні і технологічні, експлуатаційні фактори, стратегії, режими, методи і засоби системи ТО і Р, показники ремонтпридатності і ін. [94, 52].

Наприклад, для тракторів типу «Кіровоць» прийнято на основі розрахунків  $A1 = 0,65$ , автомобіля типу «КРАЗ» з електронною системою управління паливоподачею в ДВЗ -  $A2 = 0,80$ .

Таким чином, якість процесу технічного обслуговування визначається ефективністю діагностування та якістю проведення ремонтно-обслуговуючих робіт. Ефективність діагностування (виявлення) неполадок пропорційна кількості виявлених неполадок за якийсь час [295].



Регулярний процес виявлення неполадок характерний тим, що заздалегідь відомі послідовність і тривалість кожної операції з виявлення неполадок

Імовірність того, що несправні СЧМ (машин) не будуть виявлені при цьому діагностуванні, обумовлена двома причинами:

недостатньою технологічною здатністю методів і ЗТД. Імовірність невиявлення неполадок з цієї причини позначимо через  $\delta$ , браком часу на діагностування.

Слід уявити послідовність розрахунку цільових функцій, розглянутих нижче, у вигляді схеми (рисунок 2.6).

Синтез наукових робіт і наші дослідження показали, що значення  $\delta$  і ТДВ залежать від технологічної спроможності методів МД, засобів  $\chi$  і місця Пс діагностування, а також пристосуванні машин Пт до діагностування [29,

24]:

$$(\delta, T_{до}) = f(\chi, M_d, P_s, P_t) \quad (2.13)$$

а можлива трудомісткість діагностування визначається стратегіями і режимами ТО і Р машин.

$$P_B = (1 - \delta) \cdot \alpha \cdot T_d$$

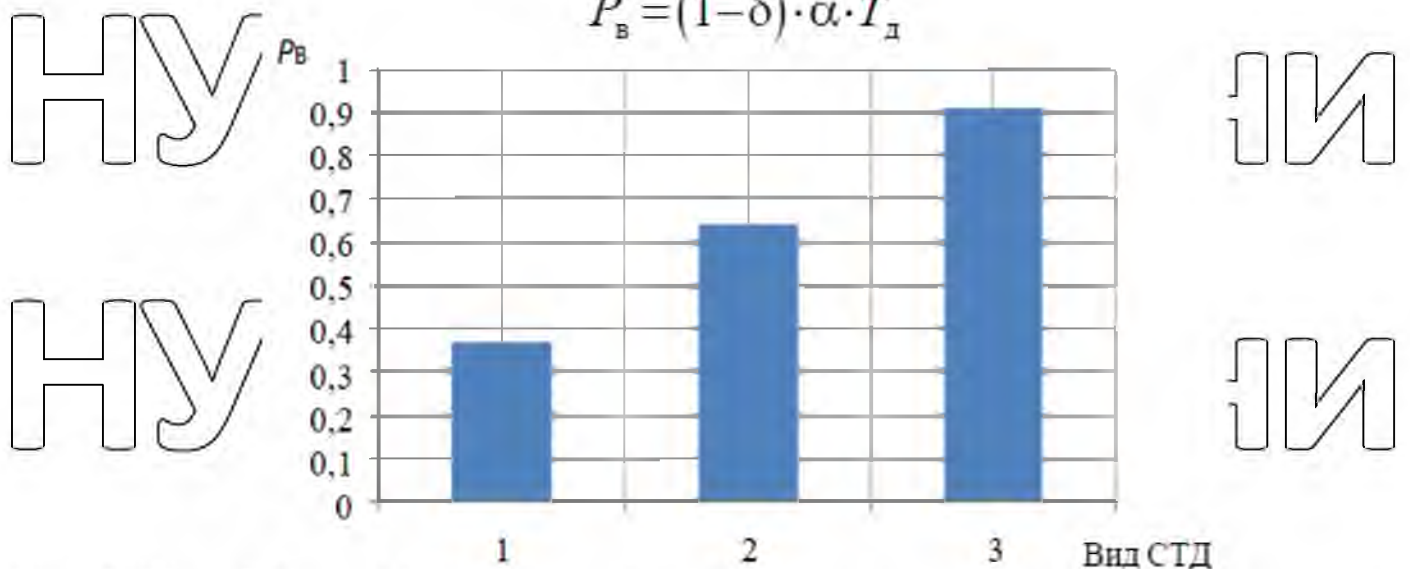


Рис. 2.6 - Послідовність розрахунку цільових функцій

$$A = \frac{n_{пр}(t)}{n_{пр}(t) + n_{непр}(t)} \quad (2.14)$$

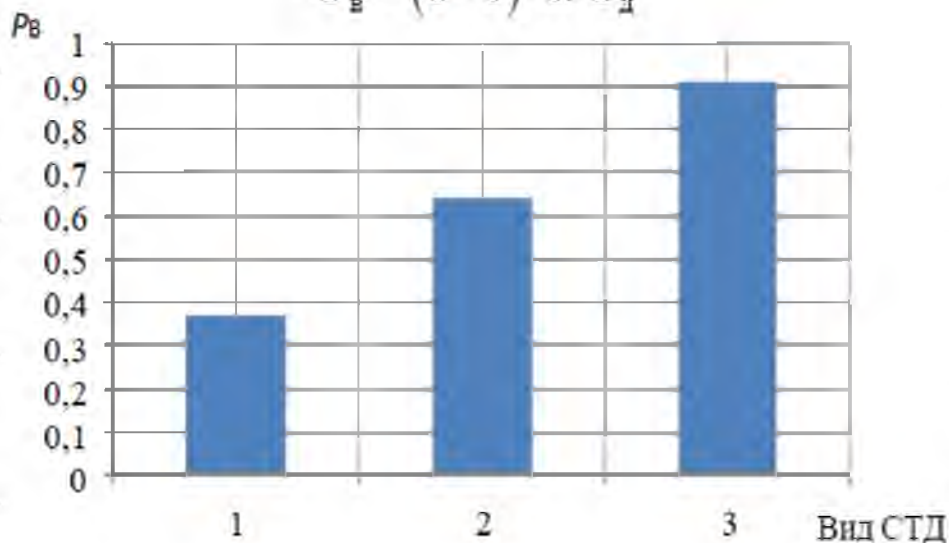
Вважаючи першу і другу причини не виявлення неполадок незалежними

подіями, вираз для ймовірності виявлення неполадок в разі регулярного процесу можна представити у вигляді:

$$P_{\text{в}} = (1 - \delta) \alpha T_{\text{д}} \quad (2.14)$$

Наприклад, сучасний рівень діагностування системи подачі палива дозволяє застосовувати такі ЗТД: стенд для проливки «Форсаж», манометр і імітатор ЕМФ, дозавантажувач з ручним режимом проведення тестових впливів, дозавантажувач автоматичний.

$$P_{\text{в}} = (1 - \delta) \cdot \alpha \cdot T_{\text{д}}$$



1 - манометр і імітатор; 2 – дозавантажувач з ручним режимом приведення тестового впливу; 3 – дозавантажувач автоматичний

Фиг. 2.7. – Залежність ймовірності виявлення неполадок системи паливоподачі від виду СТД

Аналогічні результати дає розрахунок ймовірності виявлення неполадок для методів і засобів діагностування систем мащення і ДМРВ.

$$P_{\text{пр}}^{\text{ф}} = \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{в}}} \quad (2.17)$$

Таким чином, розрахунки ймовірності виявлення неполадок показують, що використання вбудованих засобів діагностування (розроблених нами ЗТД: дозавантажувач автоматичний, пристрій вбудоване для діагностування за параметрами пульсації тиску дає найбільші значення, так як ці кошти в постійному режимі відстежують технічний стан зазначених систем і мають

підвищену точність і достовірність [29, 44].

Технологічна досконалість методів і ЗТД, їх технологічну ефективність при діагностуванні ДВЗ можна уявити як функцію показників контролепридатності, яку можна записати як

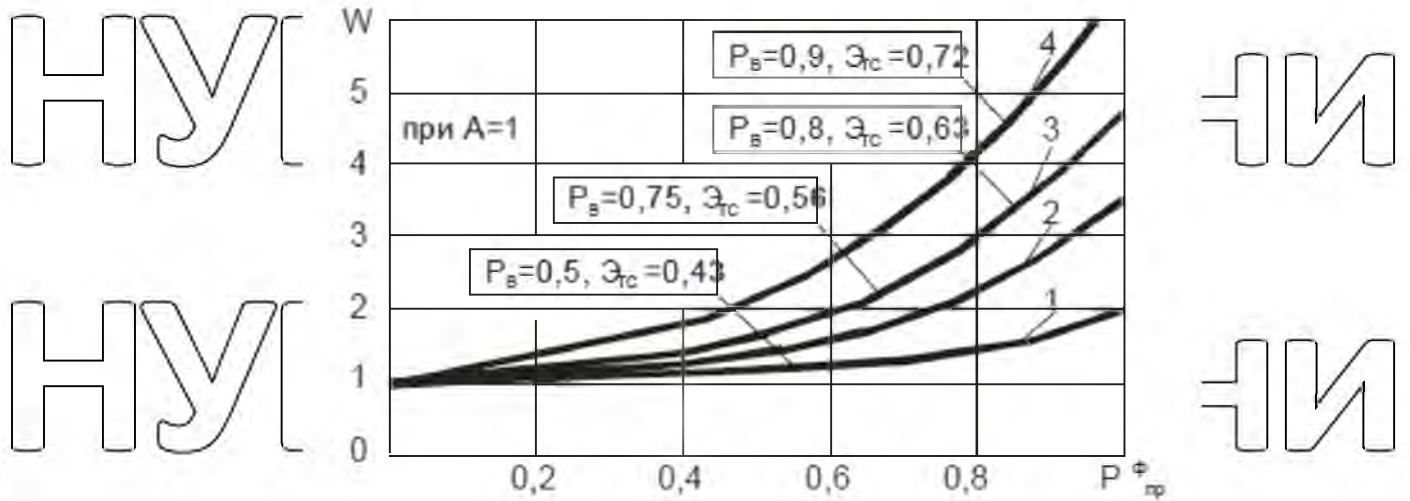
$$P_{\text{пр}} = P_{\text{в}} P_{\text{пр}}^{\phi} = (1 - \delta) \alpha T_{\text{д}} \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{в}}} \quad (2.18)$$

За аналітично вираженою взаємозв'язку профілактики машин з процесами діагностування можна здійснювати оцінку ефективності сукупності виконання операцій технічного обслуговування. Опускаючи проміжні перетворення, ефективність проведення технічного обслуговування машин за результатами діагностування при різних стратегіях ТО і Р машин можна оцінити за виразом [9, 10-13]:

$$W = \frac{1}{1 - A(1 - \delta) \alpha T_{\text{д}} \frac{n_{\text{пр}}}{n_{\text{в}}}} \quad (2.19)$$

Таким чином, ефективність процесу забезпечення працездатності машин залежить від показників їх безвідмовності і ремонтпридатності ( $A$ ), якості і продуктивності діагностування ( $\delta$ ,  $\alpha$ ,  $T_{\text{д}}$ ), якості проведення за результатами діагностування РОР. Показники процесу діагностування зумовлюють ймовірність виявлення відмов, тобто  $P_{\text{м}} = f(\delta, \alpha, T_{\text{д}})$ .

Застосування зазначених методів діагностування сучасних машин в системі ТО і Р при стратегіях ТО і ремонту ДВЗ станом і превентивної ймовірності виявлення відмов можна підвищити до 0,85 ... 0,90 [39].



1 - тракторів при стратегії регламентного проведення процесів ТО при  $P_b = 0,50$ ; 2 - тракторів при стратегії превентивного проведення процесів ТО при  $P_b = 0,75$ ; 3 - автомобілів при існуючих засобах діагностування конструкціях  $P_m = 0,80$ ; 4 - автомобілів, конструктивно нових, при застосуванні розроблених методів діагностування  $P_m = 0,90$

Рис.2.9 - Зміна ефективності  $W$  процесу забезпечення працездатності машин в залежності від ймовірності виявлення відмов  $P_m$  і їх запобігання

Так, наприклад, для тракторів при стратегії регламентного проведення процесів ТО при  $P_b = 0,50$  і  $E_{TC} = 0,43$  (графік 1) ефективність приймає дуже низькі значення. Найбільша ефективність досягається для автомобілів, конструктивно нових, при застосуванні розроблених методів діагностування  $P_m = 0,90$  і  $E_{TC} = 0,72$  (графік 4).

При діагностуванні ДВЗ по комплексному діагностичному параметру - потужності ДВЗ - можливе виникнення узагальнених груп неполадок, що впливають на робочий процес ДВЗ (рисунок 2.10) [26, 82].

Узагальнені групи неполадок ДВЗ призводять до зниження потужності, що можна представити у вигляді умови:

$$N_p^4 = \frac{N_n \delta_1 + N_n \delta_2 + N_n \delta_3 + N_n \delta_4}{4} \quad (2.20)$$

$N_n$  - нормативна потужність ДВЗ, кВт;

$\delta_i$  - зміна частоти обертання колінчастого валу ДВЗ, пов'язане із зменшеною або збільшеною подачею палива;

$\delta_2$  - зміна частоти обертання колінчастого валу ДВЗ, пов'язане з неполадками системи запалювання, датчиків і виконавчих механізмів;

$\delta_3$  - зміна частоти обертання колінчастого валу ДВЗ, пов'язане з негерметичністю циліндро-поршневої групи (ЦПГ) і газорозподільним механізмом (ГРМ);

$\delta_4$  - зміна частоти обертання колінчастого валу ДВЗ, пов'язане з підсмоктуванням повітря.

$$\delta_1 = \frac{n_{p1}}{n_{H1}}, \delta_2 = \frac{n_{p2}}{n_{H2}}, \delta_3 = \frac{n_{p3}}{n_{H3}}, \delta_4 = \frac{n_{p4}}{n_{H4}} \quad (2.21)$$

де  $n_{p1}, n_{p2}, n_{p3}, n_{p4}$  - частоти обертання колінчастого валу ДВЗ, знижені через неполадок, відповідно: зменшеною або збільшеною подачі палива, системи запалювання, негерметичність ЦПГ і ГРМ, підсмоктування повітря,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$n_{H1}, n_{H2}, n_{H3}, n_{H4}$  - нормативні частоти обертання колінчастого валу ДВЗ при діагностуванні відповідно: зменшеною або збільшеною подачі палива, системи запалювання, негерметичність ЦПГ і ГРМ, підсмоктування повітря,  $\text{хв}^{-1}$ .

З урахуванням перерахованих вище виразів (2.21) формула (2.20)

набуває вигляду:

$$N_p^4 = \frac{N_H \frac{n_{p1}}{n_{H1}} + N_H \frac{n_{p2}}{n_{H2}} + N_H \frac{n_{p3}}{n_{H3}} + N_H \frac{n_{p4}}{n_{H4}}}{4} \quad (2.22)$$

Для прикладу розглянемо вплив технічного стану системи подачі палива (зменшене або збільшене кількість палива, що впорскується) на потужність ДВЗ (щодо зниження частоти обертання колінчастого валу ДВЗ):

$$n_{H1} = n_{p1} \pm \Delta n_{p1} \quad (2.23)$$

де  $n_{H1}$ , - частота обертання колінчастого валу справного ДВЗ (табличне значення),  $\text{хв}^{-1}$ ;

$n_{p1}$  - реальне значення частоти обертання колінчастого валу несправного ДВЗ,  $\text{хв}^{-1}$ ;

$\pm \Delta n_{p1}$  - збільшення або зменшення частоти обертання колінчастого

валу ДВЗ, пов'язане з несправністю системи подачі палива, хв-1.

Із представленого вираження (2.23) видно, що реальне (фактичне) значення частоти обертання колінчастого валу ДВЗ  $n_{p1}$  при діагностуванні відрізняється від табличного значення  $n_{н1}$ , на величину  $\Delta n_{p1}$ . Величина  $\pm \Delta n_{p1}$  залежить від технічного стану елементів системи подачі палива. При справності елементів системи подачі палива  $n_{p1} = n_{н1}$ , що дає в вираженні (2.23) а значення потужності реального ДВЗ буде відрізнятися від значення потужності справного (еталонного) ДВЗ.

Розглянемо залежність ступеня ефективності навантаження працюючих циліндрів при навантаженні за рахунок виключення частини циліндрів двигуна від параметрів режиму. Ступінь ефективної навантаження - це відношення середнього ефективного тиску працюючого циліндра в безгальмівному режимі до середнього тиску при повній циклової подачі палива [82].

Для безгальмівного режиму з рівності сумарної індикаторної потужності працюючих циліндрів і потужності механічних втрат двигуна:

$$z_p P_i = z P_M \quad (2.24)$$

де  $P_i$  - середнє індикаторне тиск працюючого циліндра, МПа;

$P_M$  - умовне середній тиск механічних втрат, узагальнене по роботах і вимкненим циліндрах, МПа;

$z_i$   $z_p$  - загальне число і число працюючих циліндрів двигуна, шт.

Середнє ефективне тиск циліндра, що працює в умовах безгальмівного режиму при навантаженні за рахунок виключення циліндрів:

$$P_e = P_i - P_M = \frac{z}{z_p} P_M - P_M = \frac{z - z_v}{z - z_v} P_M \quad (2.25)$$

де  $z_v$  - число виключених циліндрів, шт.

У безгальмівному режимі працюють циліндри навантажуються за рахунок опору прокручування виключених циліндрів.

Ступінь ефективності навантаження:

$$\delta_e^I = \frac{P_e}{P_{eII}} = \frac{z_B \cdot P_M}{(z - z_B) P_{eII}} \quad (2.26)$$

Тоді, для 4-циліндрового двигуна при  $\eta_M = 0,75-0,80$  ступінь ефективної навантаження за рахунок виключення двох циліндрів складе 0,33-0,25, а при виключенні трьох циліндрів -  $k=0,75$ . Для 6-циліндрового двигуна при  $\eta_M = 0,75-0,80$

$$\frac{P_M}{P_{eII}} = \frac{P_{eII} - P_{eII}}{P_{eII}} = \frac{1}{\eta_{MPI}} - 1 \quad (2.27)$$

$$\delta_e^I = \frac{P_e}{P_{eII}} = \frac{z_B}{(z - z_B)} \left( \frac{1}{\eta_{MPI}} - 1 \right) \quad (2.28)$$

Робота на одному циліндрі (при вимкненні п'яти) можлива в режимі, коли  $\eta_M \geq 0,83$  [154].

При розробці дозавантажувачів пристроїв для безгальванічних режимів необхідно знати значення дозавантажувачої потужності. Вона може бути визначена за ступенем номінального додаткового навантаження, що представляє відношення дозавантажувачої потужності при номінальній цикловій подачі палива в працюючих циліндрах до номінальної ефективної потужності двигуна.

Для режиму перерозподієних циліндрових навантажень при  $z_P$  працюють циліндрів з повною цикловою подачею налива:

$$N_{догн} = z_P N_{IH} - N_{MH} \quad (2.29)$$

де  $N_{догн}$  - номінальна дозавантажувача потужність, кВт;

$N_{IH}$  - індикаторна потужність одного циліндра, кВт;

$N_{MH}$  - потужність механічних втрат двигуна на номінальному режимі, кВт.

$$N_{MH} = z N_{IH} - N_{eII} \quad (2.30)$$

$$N_{\text{догн}} = N_{\text{ен}} - (z - z_p) N_{\text{лн}} = N_{\text{ен}} - \left( \frac{z - z_p}{z} \right) N_{\text{лн}} \quad (2.31)$$

$$N_{\text{догн}} = N_{\text{ен}} - \left( \frac{z - z_p}{z} \right) \frac{N_{\text{ен}}}{\eta_{\text{МН}}} = N_{\text{ен}} \left( 1 - \frac{z_p}{z \eta_{\text{МН}}} \right) \quad (2.32)$$

$$\delta_{\text{догн}}^1 = \frac{N_{\text{догн}}}{N_{\text{ен}}} = 1 - \frac{z_p}{z \eta_{\text{МН}}} \quad (2.33)$$

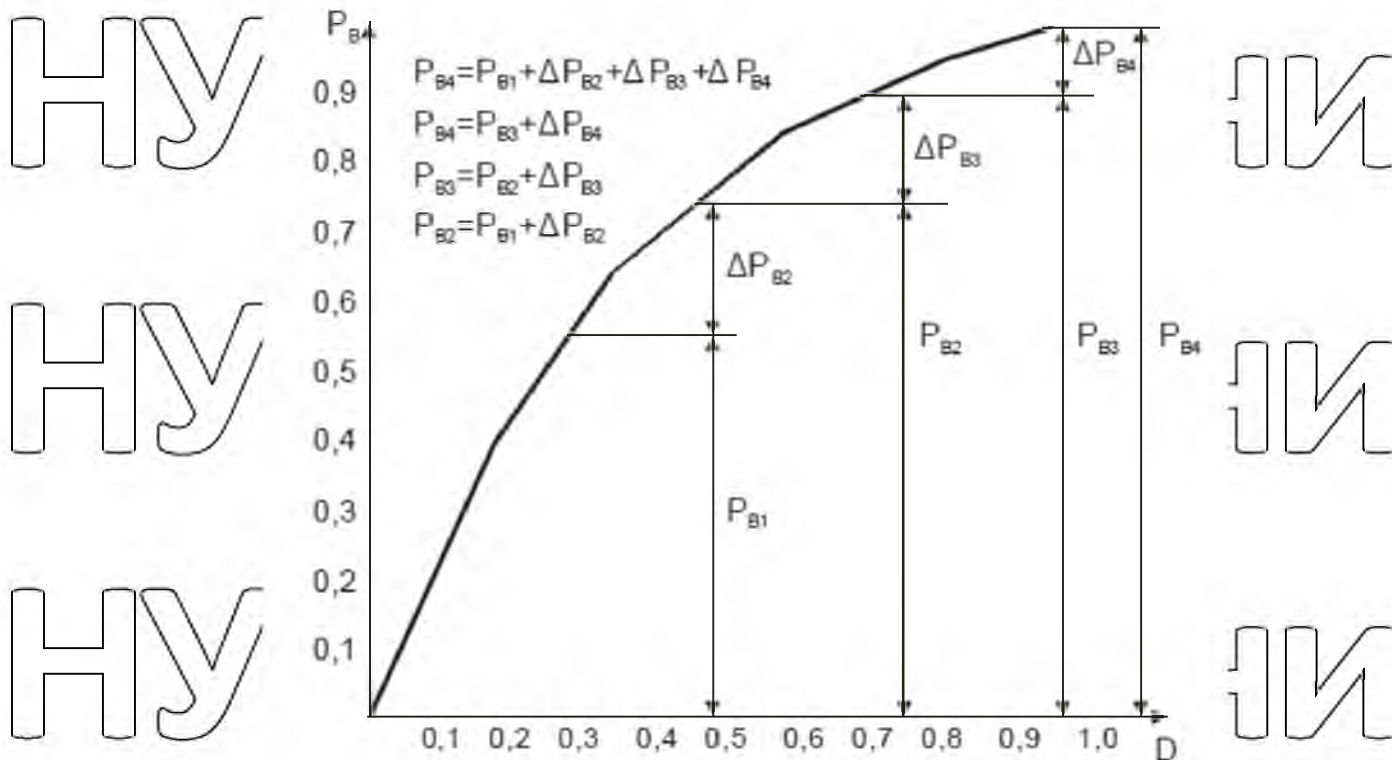
$$N_{\text{догн}} = \delta_{\text{догн}} N_{\text{ен}} \quad (2.34)$$

Для справногo ДВЗ рівність балансів настане при перетині кривих 2, 3, що відповідає індикаторної потужності  $N_2$  і частоті обертання колінчастого валу ДВЗ  $n_2$ . При виникненні несправності перетин зміщується - криві 1, 3, що відповідає індикаторної потужності  $N_1$  і частоті обертання колінчастого валу ДВЗ  $n_1$ .

Із рисунку 2.11 видно, що зміна індикаторної потужності ДВЗ у зв'язку з появою несправності склало  $N_2 - N_1 = 8$  кВт, що відповідає зниженню частоти обертання колінчастого валу ДВЗ на  $n_2 - n_1 = 400$  хв-1. Даний баланс дуже чутливий до виникаючих неполадок.

Сучасні тенденції розвитку методів і засобів діагностування змушують розробників знаходити нові можливості для підвищення ймовірності виявлення неполадок (рисунок 2.12) [43].





$P_{B1}$  - ймовірність виявлення неполадок при діагностуванні за функціональними параметрами;  $P_{B2}$  - ймовірність виявлення неполадок при поелементному діагностуванні і за функціональними параметрами;  $P_{B3}$  - ймовірність виявлення неполадок при тестовому діагностуванні, поелементному діагностуванні і за функціональними параметрами;  $P_{B4}$  - ймовірність виявлення неполадок при автоматичному вбудованому тестовому діагностуванні, зовнішньому тестовому діагностуванні, поелементному діагностуванні і за функціональними параметрами

Рис. 2.12 - Залежність ймовірності виявлення неполадок систем і вузлів двигунів автомобілів КРАЗ від достовірності діагностування методів і засобів діагностування

Тоді, на першому місці існували методи і ЗТД, які дозволяли виробляти діагностування за функціональними параметрами роботи ДВЗ. Часто це були загальні параметри технічного стану, дані методи дозволяли здійснювати оцінку технічного стану з ймовірністю  $P_{B1}$ .

На другому етапі до вже існуючих методів і ЗТД додаються кошти для поелементного діагностування. При цьому додатково ймовірність  $P_{B1}$  вдалося збільшити на  $\Delta P_{B2}$ .

$$P_{B2} = P_{B1} + \Delta P_{B2} \quad (2.35)$$

де  $P_{B1}$  - ймовірність виявлення неполадок при діагностуванні за функціональними параметрами;

$\Delta P_{B2}$  - надбавка ймовірності за рахунок поелементного діагностування.

Наступна розробка методів і ЗТД полягала в диференціюванні режимів, підвищення достовірності за рахунок високої роздільної здатності ЗТД, можливості проведення стрес тестування навантаження окремих елементів систем ДВЗ, вбудованого автоматичного тестування. Для другого, третього і четвертого етапу можна записати:

$$P_{B3} = P_{B2} + \Delta P_{B3} \quad (2.36)$$

$$P_{B4} = P_{B3} + \Delta P_{B4} \quad (2.37)$$

де  $P_{B2}$  - ймовірність виявлення неполадок при поелементному діагностуванні і за функціональними параметрами;

$\Delta P_{B3}$  - надбавка ймовірності за рахунок зовнішнього тестового діагностування;

$P_{B3}$  - ймовірність виявлення неполадок при тестовому діагностуванні, поелементному діагностуванні і за функціональними параметрами;

$\Delta P_{B4}$  - надбавка ймовірності за рахунок автоматичного вбудованого тестового діагностування.

Або сумарне значення ймовірності  $P_{B4}$  складеться з суми ймовірності виявлення неполадок за функціональними параметрами  $P_{B1}$  і збільшень ймовірності за рахунок поелементного діагностування  $\Delta P_{B2}$ , зовнішнього тестового діагностування  $\Delta P_{B3}$  і автоматичного вбудованого тестового діагностування  $\Delta P_{B4}$

$$P_{B4} = P_{B1} + \Delta P_{B2} + \Delta P_{B3} + \Delta P_{B4} \quad (2.38)$$

Таким чином, за рахунок застосування тестового діагностування вдалося наблизити  $P_{B3}$  до 0,9 (рисунок 2.12). На четвертому етапі для забезпечення  $P_{B4}$  близького до одиниці, потрібна була розробка методів і ЗТД з

автоматичним вбудованим тестовим діагностуванням при високій  
прецизійності режимів і значною їх диференціації [295, 294].

## 2.2. Модель формування цільової функції забезпечення працездатності машин при використанні зовнішніх і вбудованих засобів діагностування

Для оптимізації процесу діагностування знайдемо математичний опис витрат  
на придбання, встановлення та експлуатацію зовнішніх і вбудованих ЗТД, а  
також за параметрами, що враховує неправильне застосування ЗТД [81, 139]. У  
сукупності це сумарні заводські витрати ресурсів (при експлуатації двигунів  
автомобілів КРАЗ засобів):  $\Sigma C$ , люд.-год · грн. (рисунок 2.13).

Аналогічні результати дає розрахунок моделі (2.39) для інших систем і  
механізмів: система мастила і ДМРВ.

На практиці ж використовуються як зовнішні, так і вбудовані ЗТД в їх  
комбінації. Необхідно в конкретних умовах враховувати їх спільне  
застосування. Загалом, комбінація вбудованих і зовнішніх ЗТД залежить від  
вартості автотракторного кошти. Коли головним критерієм є мінімальна  
вартість транспортного засобу - в основному використовуються зовнішні ЗТД,  
при мінімальній кількості вбудованих ЗТД або їх повній відсутності. У тому  
випадку, коли вартість транспортного засобу практично нічим не обмежена,  
застосовують вбудовані ЗТД практично на кожному системі з функцією  
резервування, максимальної інтелектуалізації систем (мультиплексні системи).  
В такому значному вартісному різноманітності транспортних засобів виникає  
істотна проблема, яка полягає в оптимальному наборі зовнішніх і вбудованих  
ЗТД

$t_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}}$ → min	$C_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}}$ → min	$P_{\text{ВН}}^{\text{УПО}}$ →1	$t_{\text{ВН}}^{\text{УПО}}$ → min	$C_{\text{ВН}}^{\text{УПО}}$ → min	$t_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}}$ → min	$C_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}}$ → min	$C_{\text{ВН}}^{\text{ОП}}$ → min	$b_{\text{ВН}}^{\text{ОП}}$ → min	$S_{\text{ВН}}$ → max	$n_{\text{ВН}}$ → max	$t_{\text{ВН}}^{\text{ПП}}$ → min	$P_{\text{ВН}}^{\text{ПП}}$ →1	$C_{\text{ВН}}^{\text{ПП}}$ → min
$t_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}}$ → min	$C_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}}$ → min	$P_{\text{ВС}}^{\text{УПО}}$ →1	$t_{\text{ВС}}^{\text{УПО}}$ → min	$C_{\text{ВС}}^{\text{УПО}}$ → min	$t_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}}$ → min	$C_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}}$ → min	$C_{\text{ВС}}^{\text{ОП}}$ → min	$b_{\text{ВС}}^{\text{ОП}}$ → min	$S_{\text{ВС}}$ → max	$n_{\text{ВС}}$ → max	$t_{\text{ВС}}^{\text{ПП}}$ → min	$P_{\text{ВС}}^{\text{ПП}}$ →1	$C_{\text{ВС}}^{\text{ПП}}$ → min

$$\begin{aligned} \sum C = & t_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}} + t_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}} + (1 - P_{\text{ВН}}^{\text{УПО}}) t_{\text{ВН}}^{\text{УПО}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{УПО}} + (1 - P_{\text{ВС}}^{\text{УПО}}) t_{\text{ВС}}^{\text{УПО}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{УПО}} + \\ & + t_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}} + t_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}} + \frac{C_{\text{ВН}}^{\text{ОП}} \sum_{j=1}^k b_{\text{ВН}}^{\text{ОП}}}{S_{\text{ВН}} n_{\text{ВН}} m_{\text{ВН}}} + \frac{C_{\text{ВС}}^{\text{ОП}} \sum_{j=1}^k b_{\text{ВС}}^{\text{ОП}}}{S_{\text{ВС}} n_{\text{ВС}} m_{\text{ВС}}} + t_{\text{ВН}}^{\text{ПП}} (1 - P_{\text{ВН}}^{\text{ПП}}) C_{\text{ВН}}^{\text{ПП}} + \\ & + t_{\text{ВС}}^{\text{ПП}} (1 - P_{\text{ВС}}^{\text{ПП}}) C_{\text{ВС}}^{\text{ПП}} \rightarrow \min \end{aligned} \quad (2.39)$$

Розглянемо функцію ефективності визначення виду технічного з-  
стояння [81, 139, 168, 295]. Тут ефект від діагностики досягається за рахунок  
того, що при кожному ТО трудомісткість регламентного обслуговування тр  
виконується в меншому обсязі.

$$\begin{aligned} \sum C_{\text{ВС}} = & t_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{ЧЗТ}} + (1 - P_{\text{ВС}}^{\text{УПО}}) t_{\text{ВС}}^{\text{УПО}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{УПО}} + \\ & + t_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВС}}^{\text{ПЗР}} + \frac{C_{\text{ВС}}^{\text{ОП}} \sum_{j=1}^k b_{\text{ВС}}^{\text{ОП}}}{S_{\text{ВС}} n_{\text{ВС}} m_{\text{ВС}}} + t_{\text{ВС}}^{\text{ПП}} (1 - P_{\text{ВС}}^{\text{ПП}}) C_{\text{ВС}}^{\text{ПП}} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (2.40)$$

$$\begin{aligned} \sum C_{\text{ВН}} = & t_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{ЧЗТ}} + (1 - P_{\text{ВН}}^{\text{УПО}}) t_{\text{ВН}}^{\text{УПО}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{УПО}} + \\ & + t_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}} \sum_{j=1}^k C_{\text{ВН}}^{\text{ПЗР}} + \frac{C_{\text{ВН}}^{\text{ОП}} \sum_{j=1}^k b_{\text{ВН}}^{\text{ОП}}}{S_{\text{ВН}} n_{\text{ВН}} m_{\text{ВН}}} + t_{\text{ВН}}^{\text{ПП}} (1 - P_{\text{ВН}}^{\text{ПП}}) C_{\text{ВН}}^{\text{ПП}} \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (2.41)$$

Зниження трудомісткості пошуку неполадок за рахунок їх попередження  
і виявлення.

НУБІП України

$$\Delta\tau_{\text{вид}} = \tau_p + \tau_{\text{квстр}} + \tau_{\text{кзовн}} \quad (2.42)$$

де  $\tau_p$  - трудомісткість регламентного обслуговування, люд.-год;

$t_{\text{квбуд}}$  - трудомісткість контролю (діагностування) вбудованими ЗТД, люд.-год;

$t_{\text{кзовн}}$  - трудомісткість контролю (діагностування) зовнішніми ЗТД, люд.-год.

НУБІП України

Тоді як контроль (діагностування) вбудованими ЗТД проводиться в процесі експлуатації і на його здійснення не витрачається додатковий час, то можна вважати його рівним 0, при цьому все-таки невеликий час витрачається

на зчитування і розшифровку неполадок при діагностуванні. Тому

НУБІП України

$$t_{\text{квстр}} = \tau_{\text{вчит}} \quad (2.43)$$

де  $t_{\text{вчит}}$  - трудомісткість на зчитування і розшифровку неполадок, люд.-год

Однак та ця функція зчитування неполадок може бути здійснена вбудованим комп'ютером, який в розкодувати вигляді вкаже на конкретну несправність.

НУБІП України

Тому вираз (2.42) в залежності від використовуваних вбудованих ЗТД може бути представлено трьома умовами:

- i. при відсутності функції самодіагностики:

$$\Delta\tau_{\text{вид}} = \tau_p + \tau_{\text{кзовн}} \quad (2.44)$$

- ii. при наявності функції самодіагностики:

НУБІП України

$$\Delta\tau_{\text{вид}} = \tau_p + \tau_{\text{квстр}} + \tau_{\text{кзовн}} \quad (2.45)$$

$$\Delta\tau_{\text{вид}} = \tau_p + \tau_{\text{вчит}} + \tau_{\text{кзовн}} \quad (2.46)$$

Причому трудомісткість на зчитування і розшифровку неполадок  $t_{\text{вчит}}$

буде складатися з трудомісткостей на установці перемички в колодку

діагностики і безпосередньо зчитування кодів неполадок;

НУБІП України

$$\Delta\tau_{\text{вид}} = \tau_p + \tau_{\text{вуст}} + \tau_{\text{кзовн}} \quad (2.47)$$

З'являється трудомісткість установки (монтажу)  $t_{\text{вуст}}$  бортового комп'ютера, іншого вбудованого ЗТД на автомобіль.

Використовувані в даний час вбудовані ЗТД відрізняються за функціями, ціною, кількістю контрольованих параметрів і т.д. Але вони вже довели свою ефективність. Практично всі сучасні моделі автотракторної техніки оснащені вбудованими ЗТД. Сучасні тенденції розвитку вбудованих ЗТД базуються на

повному контролю всіх можливих параметрів технічного стану в режимі постійного їх контролю.

Трудомісткість контролю (діагностування) зовнішніми ЗТД визначається [39]:

$$t_{\text{внеш}} = \sum_{i=1}^n t_i \quad (2.48)$$

де  $n$  - кількість діагностичних дій, необхідних для контролю правильності функціонування систем ДВЗ, шт.;

$t_i$  - трудомісткість, що витрачається на одне діагностичне дію, люд.-год.

Трудомісткість контролю (діагностування) зовнішніми ЗТД  $t_{\text{кзовн}}$  на практиці може приймати дуже великі значення, проте отримуються при цьому інформація про об'єкт діагностування може бути зайвою. Тому дуже важливо підібрати  $t_{\text{кзовн}}$  на мінімальному і в той же час достатній рівень для виявлення проблем, які не виявляються вбудованими ЗТД. В ідеалі необхідні такі вбудовані ЗТД, які здійснювали б повний контроль технічного стану систем ДВЗ. Таким чином, істотно важливим в діагностуванні є розробка вбудованих ЗТД з можливістю розпізнавання всіх неполадок систем ДВЗ.

Загальні витрати визначаються підсумовуванням по тим неполадкам, які контролюються даними ЗТД з урахуванням достовірності контролю  $D$ :

$$\Delta S_{\text{вип}} = \eta \cdot D \cdot \left( t_p + t_{\text{счп}} + \sum_{i=1}^n t_i \right) \cdot \lambda_j \cdot \sum_{j=1}^m P_j \quad (2.49)$$

де  $\eta$  - середня вартість одиниці трудомісткості (тарифна ставка), грн.;

$D$  - достовірність контролю;

$\lambda_j$  - інтенсивність потоку відмов, шт.;

$P_j$  - ймовірність виникнення неполадок;

$m$  - кількість неполадок, шт.

Зниження питомих витрат на ТО і ТР по функції локалізації неполадок визначається за формулою [19]:

$$\Delta S_{\text{лок}} = \eta \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \Delta T_{\text{ТР}} \cdot P_{\text{лок}} \quad (2.50)$$

де  $\eta$  – тарифна ставка, грн;

$T_{\text{ТР}}$  – середня трудомісткість визначення несправності на посаді ТР, люд.-год.

Тоді як ймовірність локалізації неполадок  $P_{\text{лок}}$  можна визначити за формулою де  $P_{\text{Н}}$  – сумарна ймовірність появи нерозпізнаних даними ЗТД неполадок об'єкта.

Так з урахуванням виразу (2.51)  $\Delta S_{\text{лок}}$  можна записати

$$\Delta S_{\text{лок}} = \eta \sum_{j=1}^m \lambda_j \cdot \Delta T_{\text{ТР}} \cdot (1 - P_{\text{Н}}) \cdot D. \quad (2.52)$$

1. Обґрунтована й розроблена концепція вдосконалення процесу діагностування ДВЗ автотракторної техніки що забезпечує підвищення ефективності їх експлуатації, на основі встановлення причинно-наслідкових зв'язків між технологічними, технічними і експлуатаційними параметрами засобів технічного діагностування та системами ДВЗ автотракторної техніки, а також внутрішніх взаємозв'язків у процесах прийому, обробки і використання діагностичної інформації.

Діагностування є складним технологічним процесом і визначається заданими керівниками й керованими параметрами, випадковими чинниками.

2. Завданням оптимізації процесу діагностування є відшукання таких керуючих і керованих параметрів для кожної системи ДВЗ, при яких забезпечується висока технологічна ефективність діагностування при можливо менших витратах ресурсів.

3. Багатопараметрична оптимізація повинна враховувати адаптивність систем живлення й мащення при забезпеченні функціонування ДВЗ. У той же час важливою функцією МСУД при контролі технічного стану системи живлення є забезпечення функціональних показників, а при контролі технічного стану системи мастила – забезпечення ресурсних показників.

В системі живлення забезпечення функціональних показників здійснюється за рахунок корекції тривалості і фази уприскування, коригування

тиску уприскування і подачі, забезпечення якості суміші, забезпечення кількості палива і повітря.

В системі мастила забезпечення ресурсних показників відбувається за рахунок коригування тиску і подачі, динамічного контролю витрати оливи, статичного контролю витрати оливи, контролю пульсацій тиску.

при відсутності нових методів і засобів діагностування сучасних ДВЗ кількість не виявлявся прихованих відмов значно перевищує рівень виявлявся відмов при існуючих ДВЗ, методах і засобах. Як наслідок, ймовірність виявлення неполадок різко знижується.

Розробка й використання перспективних методів тестового діагностування дозволяє підвищити показники контролепридатності: КПД → 1, КПИ → 1, КГП → 1 і ймовірність виявлення неполадок ДВ → 1

Навантажений двигун в процесі діагностування можна проводити відключенням циліндрів, а будь-яка виникла несправність значно відміниться на балансі потужності індикаторного і потужності механічних втрат. Визначення технічного стану основних систем ДВЗ можливо за рахунок виявлення зміщення балансу індикаторної потужності і потужності механічних втрат при створенні тестових режимів.

Резервом підвищення ймовірності виявлення неполадок систем ДВЗ є розробка методів і засобів автоматичного вбудованого тестового діагностування, зовнішнього тестового діагностування, послеметричного діагностування.

4. Методологічний основою обґрунтування і реалізації тестових процесів, апаратних і програмних засобів діагностування технічного стану та правильного функціонування двигунів автомобілів КРАЗ є математичні моделі, які описують взаємозв'язки між параметрами технічного стану механізмів систем живлення й мащення, їх робочих процесів з технологічними, технічними параметрами методів і засобів тестового діагностування ДВЗ, техніко-економічними показниками при використанні та забезпеченні працездатності машин. Зокрема, дано аналітичний опис:



– затрат на придбання, встановлення та експлуатацію зовнішніх і вбудованих ЗТД з урахуванням їх спільного використання, що дозволяє обґрунтувати структурну модель оснащення процесів діагностування двигунів автомобілів КРАЗ зовнішніми і вбудованими засобами діагностування;

взаємозв'язок методів і засобів тестового діагностування з ймовірністю виявлення прихованих відмов, алгоритмом і параметрами правильного функціонування систем ДВЗ на основі показників технологічності процесу діагностування (КПДІ, КПІ, КГП);

– комплексної цільової функції на основі критерію мінімуму питомих сумарних витрат, що дозволяє з урахуванням достовірності і точності діагностування, універсальності і багатоканальні ЗТД, оцінити ефективність його основних функцій: визначення виду технічного стану; локалізації неполадок; потреби в ТО і ТР; функції оцінки якості робіт по ТО і ТР, виконаних за результатами діагностування.

## РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТЕСТОВИХ МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ

### ДІАГНОСТУВАННЯ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ДВЗ

#### 3.1 Алгоритм розробки тестових методів і засобів діагностування

##### системи живлення двигунів автомобілів КРАЗ

Наприклад, є 100 автотранспортних засобів, які експлуатуються протягом одного року. За цей час відбулося  $n_1$  відмов даного елемента, кожен з яких призводить в середньому до втрати  $C$ , грн. Вартість усунення відмов дорівнює  $\beta_1$ , грн. З метою підвищення надійності вузлів автомобіля використовується вбудоване ЗТД, що дозволило зменшити кількість відмов, яке стало одно  $n_2$ , причому  $n_2 < n_1$ . Вартість вбудованого ЗТД дорівнює  $\beta_2 = \beta_1 + \Delta\beta$ , а витрати, пов'язані з відмовами даного елемента:

Для розробників ЗТД принципово важливо виробляти приладові кошти, що концентрують у собі модулі для діагностування систем і елементів, які відмовляють найчастіше. Так, наприклад, найчастіше відмови наступають у електронних елементів: свічок запалювання, датчиків, виконавчих механізмів. Отже, дані елементи мають низькою надійністю, а встановлюється ЗТД має охоплювати діагностуванням всі дані елементи.

Перша система самодіагностики автотранспортних засобів дозволяє виявити такі несправності електричних ланцюгів [17, 25]: обрив проводу «+», від'єднання контакту «+»; обрив проводу «-», від'єднання контакту «-»; замикання «+» на «-». Причому велика кількість неполадок залишається за межами можливостей штатних систем самодіагностики. Деякі несправності можуть бути тимчасового характеру, виникати і зникати випадково. Тому тільки штатною системою самодіагностики не обійтися, необхідно використовувати ЗТД, які б дозволили нейтралізувати тимчасові і випадкові несправності. Дані несправності практично складно виявляються, і процес виявлення носить також випадковий характер:

$P_{\text{воознт}}$  ймовірність виникнення несправності саме в даний момент діагностування.

Тобто ймовірність виникнення несправності залежить від ряду випадкових факторів, наявність яких може привести до її виникнення (тряска, вплив вологи і т.д.), що можна показати у вигляді схеми (рисунок 2.19).

Однак найскладніше в діагностуванні це виявлення випадкових факторів, які призводять до появи несправності (потрапляння смітинки, води, тряска і ін.).

По перше, потрібно знайти епіцентр несправності, але штатною системою самодіагностики несправність не виявляється. Можна скористатися методом заміни штатних елементів системи і контролем правильності функціонування елемента і системи в цілому. Однак в цьому випадку необхідно дотримуватися певної послідовності дій (алгоритм діагностування).

Наприклад, у наведеній схемі є кілька елементів, які забезпечують функціонування даної системи (рисунок 2.20). Причому ймовірності виникнення відмов у цих елементів різні:  $P_1 > P_2 > P_3 > P_4$ . Тому дія слід починати з виявлення найбільш імовірною несправності, дотримуватися правила починати діагностування від простого елемента до складного.

Елементи електричних схем легше знаходити заміщенням (шунтуванням), наприклад, елементом R1. Однак в деяких випадках доцільніше буде замінити кілька послідовних елементів (роз'єм-контакт-провід-контакт-роз'єм) одним проводом з сполучними роз'ємами і контактами.

Про це буває дуже складно зробити, коли, наприклад, проведення приєднується до колодки електронного блоку управління. В даному випадку доречніше буде використовувати діагностичний прилад з власної під'єднувальною проводкою, що дозволить значно скоротити час виконання підготовчих операцій і усуне цілий ряд діагностичних впливів (послементного діагностування).

З урахуванням сказаного можна ввести коефіцієнт усунення (заміщення) зайвих діагностичних операцій, фізичний зміст якого можна представити як відношення числа діагностичних впливів традиційними методами пошуку неполадок до числа діагностичних впливів при використанні нового ЗТД при

збереженні достовірності діагностування на тому ж або більшому рівні

де  $n_T$  - кількість діагностичних впливів при здійсненні діагностування традиційним засобом, шт.;

$n_H$  - кількість діагностичних впливів при здійсненні діагностування

новим засобом, шт.

Якщо кожне діагностичне вплив пов'язано з контролем відповідного йому діагностичного параметра, то можна вираз вище уявити як де  $n_{dT}$  - кількість діагностичних параметрів при здійсненні діагностування традиційним засобом, шт.;

$n_{dH}$  - кількість діагностичних параметрів при здійсненні діагностування новим засобом, шт.

Однак кількість діагностичних параметрів, контрольованих новим ЗТД, може бути менше, ніж визначаються традиційним ЗТД, отже, потрібно врахувати і якісну складову при заміні традиційних ЗТД, тобто необхідно дотримуватися умова [139, 96]:

Причому саме в ланцюгах електронної системи управління двигуном можна досягти найбільшого ефекту від збільшення коефіцієнта усунення (заміщення) зайвих діагностичних операцій, зокрема, в електричних ланцюгах системи живлення.

Припустимо, що для поставленого завдання необхідно мати  $n$  робоздатних них ОД. Перед застосуванням об'єктів ЗТД здійснює оцінку стану кожного ОД. За результатами діагностування частина ОД не допускається до застосування, причому серед них можуть виявитися як дійсно непрацездатні ОД, так і ОД, помилково визнані непрацездатними через помилки, що допускаються ЗТД або оператором. З іншого боку, серед ОД, допущених до застосування, можуть виявитися об'єкти, які не здатні виконувати свої завдання. В результаті замість необхідного числа  $n$  працездатних ОД, здатних вирішувати поставлену задачу із заданою ефективністю, будуть застосовані  $m$  дійсно працездатних ОД, а поставлена задача буде вирішена з ефективністю. Ефективність ЗТД можна оцінити

коефіцієнтом зниження ефективності вирішення поставленого завдання.

Для можливості розробки методів діагностування системи живлення були висунуті гіпотези.

Для визначення технічного стану ДМРВ: 1. Рішення пропонується у використанні відносної оцінки технічного стану ДМРВ при приєднанні висновків ДМРВ в містову схему і миттєвому вимірюванні різниці сигналів з діагностується і еталонного ДМРВ на установці з послідовною подачею потоку повітря. 2. Рішення пропонується у використанні стрілки показують послідовність виконання алгоритму.

При справності всіх систем ДВЗ діагностування здійснюється тільки по вертикальному ланцюжку і відбувається контроль на відповідність справного стану.

При будь-якій несправності використовуються горизонтальні ланцюги діагностування. Алгоритм є основою для використання методу статичних навантажень і являє собою напрямки подальших наукових досліджень [6-16].

В результаті проведення експлуатаційних випробувань була розроблена технологічна карта процесу діагностування ДМРВ (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

Технологічна карта процесу діагностування ДМРВ

№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, год.-хв.	обладнання
1	установка автомобіля на пост	Слюсар 2 р.	пост	2	
2	Прогріти двигун до робочої температури	Слюсар 2 р.	Всередині автомобіля	3	
3	від'єднати повітряну магістраль	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	5	ключ на 10
4	встановити прилад в підкапотний простір	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	2	
5	Прикріпити прилад на місце повітряної магістралі	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	2	ключ на 10
6	приєднати клеми живлення приладу до акумуляторної батареї автомобіля	Слюсар 2 р.	справа від капота автомобіля	0,5	

7	встановити вольтметр в салоні автомобіля	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	1,00	
8	запустити двигун автомобіля	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,10	
9	Записати показання вольтметра	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	0,10	
10	Педалью газу відкрити дросельну заслінку на 10% і повторити пункт 9	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,25	

В результаті хронометрування окремих операцій процесу діагностування ДМРВ одного автомобіля становить 26,3 люд.-хв. (за умовним алгоритмом). Щодо безумовного алгоритму час діагностування визначається оператором-діагностом.

В результаті проведення експлуатаційних випробувань була розроблена технологічна карта процесу діагностування СТ зі зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2  
Технологічна карта процесу діагностування СТ зі зміни частоти обертання колінчастого валу двигуна

№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, Люд.-хв.	Обладнання
1	Установка автомобіля на пост	Слюсар 2 р.	пост	2	
2	Прогріти двигун до робочої температури	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	3	
3	від'єднати штатний електронний блок автомобіля від роз'єму	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	2	
4	Підключити до гнізда вимикач електромагнітних форсунок	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,3	Вимикач електромагнітних форсунок

5	Включити комп'ютер, під'єднати до комп'ютера мережевий провід від вимикача електромагнітних форсунок, запустити діагностичну програму	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	0,30	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер, діагностична програма
6	Запустити двигун автомобіля	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,10	
7	Перевірити технічний стан системи запалювання, герметичність клапанів, повітряного фільтра за допомогою вимикача електромагнітних форсунок	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	2	відключати електромагнітних форсунок, комп'ютер
8	Запустити в діагностичеській програмю тест	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	1	вимикач електромагніт
9	визначити при допомозі програми	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	1,5	Комп'ютерна програма
10	Кнопками 17 вимкнення форсунок (рисунок 3.24) вимикач3 форсунок, оста- вив працювати циліндр з найгіршим показником з випробувань	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,3	вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, люд.-хв.	Обладнання
Перший режим діагностування					
11	Відкрити дросельну заслінку на 25%, частота обертання колінчастого валу ДВЗ повинна складати 2300 хв <sup>-1</sup>	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,1	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
12	Натиснути кнопкою ТВЗ паливоповітряну суміш до такт хв-1, потім встановити за допомогою порозкладання дросельної заслінки знову 2300 хв-1, після кнопкою ТВС збіднити суміш до 2050 хв-1	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,5	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер

13	Включенням по окремої інших 3 форсунок порівняти частоту обертання колінчастого валу ДВЗ кожного по окремої циліндра з обраним найгіршим циліндром	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	3	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
14	За отриманим відхиленням частоти обертання колінчастого валу	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	1,5	Комп'ютер
Другий режим діагностування					
15	Зняти дросельну заслінку на 70%, і при цьому частота обертання колінчастого валу ДВЗ повинна складати 2900 хв <sup>-1</sup>	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	0,1	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
16	Натиснути кнопкою ТВС паливоповітряну суміш до 2х хв-1, потім встановити за допомогою порозкладання дросельної заслінки знову 2900 хв-1, після кнопкою ТВС збіднити суміш до 2200 хв <sup>-1</sup>	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	0,5	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
№ опер	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, год. - хв.	Обладнання
17	включенням окремо інших 3 форсунок порівняти частоту обертання колінчастого валу ДВЗ кожного окремо циліндра з обраним найгіршим циліндром	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	3	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер



18	За отриманим відхиленні частоти обертання колінчастого валу двигуна Дп, хв-1 (рисунок 3.35), окремо для кожного циліндра щодо вибрано ного визначаємо пропускну здатність форсунок	Слюсар 2 р	усередині автомобіля	1,5	комп'ютер
19	Кнопками 17 вимкнення форсунок (Рисунок 3.24) вимкати 3 форсунки, залишивши працювати один циліндр	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,3	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
20	максимально натисніть і швидко і утримують педаль газу	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,3	
21	записують частоту обертання колінчастого валу ДВЗ	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,2	комп'ютер
22	кнопка 19 включають режим відключення іскроутворення (свічок запалювання)	Слюсар 2 р.	Усередині автомобіля	0,2	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
23	Кнопками 17 відключення запалювання (рисунок 3.24) вимикач 3 свічки запалювання, залишивши працювати один циліндр	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,3	Вимикач електромагнітних форсунок, комп'ютер
24	максимально натисніть і утримуйте педаль газу	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,2	
№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, люд.-хв.	Обладнання
25	записують частоту обертання колінчастого валу ДВЗ	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	0,2	комп'ютер

26	Порівнюють частоти обертання колінчастого валу ДВЗ по пунктам (21) і (23) і по їх різності визначають технічний стан ЕБН	Слюсар 2 р	Усередині автомобіля	0,4	комп'ютер
<b>Загальна</b>				<b>24,8</b>	

В результаті хронометрування операцій процесу діагностування загальний час діагностування безрозбірного методом пропускної здатності форсунок і технічного стану ЕБН становить 24,8 люд.-хв. Час випробування форсунок на проливному стенді «Форсаж» - 105 люд.-хв. Таким чином скорочення часу визначення технічного стану ЕМФ і ЕБН цим приладом при використанні презентованої технології стало менше в 4 рази.

В результаті проведення експлуатаційних випробувань була розроблена технологічна карта процесу діагностування за параметрами тиску в центральній оливній магістралі (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Технологічна карта процесу діагностування за параметрами тиску в

центральної оливній магістралі

№ опер.	Найменування операції	Професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, люд.-хв.	Обладнання
1	установка автомобіля на пост	Слюсар 2 р.	пост	2	
2	Прогріти двигун до робочої температури	Слюсар 2 р.	усередині автомобіля	3	
3	вкрутити штатний датчик тиску	Слюсар 2 р.	справа від капота автомобіля	1	ключ на 17
4	вкрутити тензодатчик Д06М-3 (У2) і з'єднати колодку проводів датчика з колодкою блоку живлення	Слюсар 2 р.	справа від капота автомобіля	1	тензодатчик Д06М-3 (У2), ключ на 17

№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, люд.-хв	Обладнання
5	Приєднати вихід підсилювача до 1 входу приставки KRP-4M	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл	0,10	префікс KRP-4M
6	приєднати вимикач форсунок у відповідності з маркуванням проводів	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	0,2	вимикач форсунок
7	приєднати роз'єм живлення форсунки до 2 входу приставки KRP-4M	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	0,10	префікс KRP-4M
8	під'єднати роз'єм вимикача форсунки діагностується циліндра до 3 входу приставки KRP-4M	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	0,10	вимикач форсунок
9	Включити комп'ютер, блок живлення усилителя і тензодатчика тиску	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл	0,30	комп'ютер, Блок живлення підсилювача
10	Запустити програму MT-10 і вибрати вікна трьох використовуваних в вимірах каналів	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл	1	Програма MT-10
11	підключити клеми «+» і «-» вимикач форсунок до АКБ і включити тумблер живлення приладу	Слюсар 2 р.	зліва від капота автомобіля	0,3	вимикач форсунок
12	Запустити двигун автомобіля	Слюсар 2 р.	всередині автомобіля	0,10	
13	Тумблером відключення форсунок вимкати 3 форсунки і тумблером часткового відключення одну залишити в роботі форсунку до мінімально обертання частоти обертання колінчастого валу ДВЗ	Слюсар 2 р.	справа від капота автомобіля	0,3	вимикач форсунок
15	записати осцилограму тиску	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл	0,10	

№ опер.	Найменування операції	професія виконавця	Місце виконання	трудомісткість, люд.-хв	Обладнання
	виконати пункти 7, 8, 12, 13, 14, 15 для інших трьох циліндрів	Слюсар 2 р.		2,4	
16	За отриманою осцилограмою виділити різницю мінімальних амплітуд тисків з навантаженням і без навантаження	Слюсар 2 р.	Діагностичний стіл	1	
17	За залежності обчислити величину зазору в корінному підшипнику	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл	1	
18	За залежності визначити частоту обертання колінчастого	Слюсар 2 р.	діагностичний стіл		

В результаті хронометрування окремих операцій процесу діагностування за параметрами тиску в центральній масляній магістралі загальний час діагностування КШМ одного автомобіля становить 33,9 люд.-хв. (за умовним алгоритмом). Щодо безумовного алгоритму час діагностування конкретного підшипника визначається оператором-діагностом. Спочатку по загальній осцилограмі тиску можна судити про те, який підшипник окремо слід продіагностувати.

# НУБІП України

Обґрунтована й розроблена концепція вдосконалення процесу діагностування ДВЗ автотракторної техніки, що забезпечує підвищення ефективності їх експлуатації, на основі встановлення причинно-наслідкових зв'язків між технологічними, технічними і експлуатаційними параметрами засобів технічного діагностування та системами ДВЗ автотракторної техніки, а також внутрішніх взаємозв'язків у процесах прийому, обробки і використання діагностичної інформації.

# НУБІП України

Діагностування є складним технологічним процесом і визначається заданими, керівними й керованими параметрами, випадковими чинниками.

# НУБІП України

Завданням оптимізації процесу діагностування є відшукання таких керуючих і керованих параметрів для кожної системи ДВЗ, при яких забезпечується висока технологічна ефективність діагностування при можливо менших витратах ресурсів.

# НУБІП України

Багатопараметрична оптимізація повинна враховувати адаптивність систем живлення й мащення при забезпеченні функціонування ДВЗ. У той же час важливою функцією МСУД при контролі технічного стану системи живлення є забезпечення функціональних показників, а при контролі

# НУБІП України

технічного стану системи мастила - забезпечення ресурсних показників.

# НУБІП України

В системі живлення забезпечення функціональних показників здійснюється за рахунок корекції тривалості і фази уприскування, коригування тиску уприскування і подачі, забезпечення якості суміші, забезпечення кількості палива і повітря.

# НУБІП України

В системі мастила забезпечення ресурсних показників відбувається за рахунок коригування тиску і подачі, динамічного контролю витрати оливи, статичного контролю витрати оливи, контролю пульсацій тиску.

# НУБІП України

При відсутності нових методів і засобів діагностування сучасних ДВЗ кількість не виявлявся прихованих відмов значно перевищує рівень виявлявся відмов при існуючих ДВЗ, методах і засобах. Як наслідок, ймовірність

виявлення неполадок різко знижується.

Розробка й використання перспективних методів тестового діагностування дозволяє підвищити показники контролепридатності: КПД<sub>1</sub> → 1, КПП → 1, КГП → 1 і ймовірність виявлення неполадок РВ → 1.

Навантажений двигун в процесі діагностування можна проводити відключенням циліндрів, а будь-яка виникла несправність значно відміниться на балансі потужності індикаторного і потужності механічних втрат. Визначення технічного стану основних систем ДВЗ можливо за рахунок виявлення зміщення балансу індикаторної потужності і потужності механічних втрат при створенні тестових режимів.

Резервом підвищення ймовірності виявлення неполадок систем ДВЗ є розробка методів і засобів автоматичного вбудованого тестового діагностування, зовнішнього тестового діагностування, поелементного діагностування.

Методологічною основою обґрунтування і реалізації тестових процесів, апаратних і програмних засобів діагностування технічного стану та правильного функціонування двигунів автомобілів КРАЗ є математичні моделі, які описують взаємозв'язки між параметрами технічного стану механізмів систем живлення й мащення, їх робочих процесів з технологічними, технічними параметрами методів і засобів тестового діагностування ДВЗ, техніко-економічними показниками при використанні та забезпеченні працездатності машин. Зокрема, дано аналітичний опис:

– затрат на придбання, встановлення та експлуатацію зовнішніх і вбудованих ЗТД з урахуванням їх спільного використання, що дозволяє обґрунтувати структурну модель оснащення процесів діагностування двигунів автомобілів КРАЗ двигунів зовнішніми і вбудованими засобами діагностування; взаємозв'язок методів і засобів тестового діагностування з ймовірністю виявлення прихованих відмов, алгоритмом і параметрами правильного функціонування систем ДВЗ на основі показників технологічності процесу діагностування (КПД, КПН, КГП),

– комплексної цільової функції на основі критерію мінімуму питомих сумарних витрат, що дозволяє з урахуванням достовірності і точності діагностування, універсальності і багатоканальні ЗГД, оцінити ефективність його основних функцій: визначення виду технічного стану; локалізації неполадок; потреби в ТО і ТР; функції оцінки якості робіт по ТО і ТР, виконаних за результатами діагностування.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Котелянець В.І. Транспортний фактор в АПК / В.І. Котелянець. – К.: ІАЕ, 1999. – 28 с.

2. Норми продуктивності та витрат палива на перевезення вантажів автомобільним транспортом в агропромисловому комплексі / за ред. В.В. Вітвіцького. – К.: Укр. НДІ «Агропромпродуктивність», 2020. – 208 с.

3. Перебийнос В.І. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування: монографія. Полтава: РВЦ ПУСКУ, 2016. – 207 с.

4. Пугачов М.І. Транспортне обслуговування сільського господарства. К.: ІАЕ УАН, 2017. 174 с.

5. Фришев С. Г. Загальний курс транспорту: навч. посібник. Ніжин : Вид-во «Аспект-поліграф», 2007. 162 с.

6. [https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/econom-teoriya/econom-teoriya\\_6056\\_16.php](https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/econom-teoriya/econom-teoriya_6056_16.php) Основні напрямки реформування АПК України

7. [http://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom\\_theory/22284/](http://ru.osvita.ua/vnz/reports/econom_theory/22284/) АПК України: напрямки розвитку та шляхи подолання кризи. Реферат

8. <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/nppdaa/2011/02/338.pdf> Чинники та проблеми ведення інтенсивного виробництва в аграрних підприємствах

9. [https://pidruchniki.com/1081080636236/ekonomika/mehanizatsiya\\_rokezniki\\_vikoristannya\\_tehniki](https://pidruchniki.com/1081080636236/ekonomika/mehanizatsiya_rokezniki_vikoristannya_tehniki) Механізація та показники використання техніки

10. [https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc\\_biography/38689/%D0%93%D0%B E%D1%80%D1%8F%D1%87%D0%BA%D0%B8%D0%BD](https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_biography/38689/%D0%93%D0%B E%D1%80%D1%8F%D1%87%D0%BA%D0%B8%D0%BD) Горячкин, Василий Прохорович

11. <http://econjournal.vsau.org/files/pdfa/394.pdf> Обґрунтування типу тракторів

12. <http://tehnika.megapetroleum.ru/pricepnoe-ustrojstvo-tractorov-t-40-t-40a/> Прицепное устройство тракторов Т-40, Т-40А

13. <http://avto-motor.com.ua/xarakteristiki-tractorov/> Тяговые



характеристики тракторів, расчёт и испытание

14. [https://life-prog.ru/ukr/1\\_2281\\_osoblivosti-rozrahunku-sobivartosti-transportnoi-produktsii.html](https://life-prog.ru/ukr/1_2281_osoblivosti-rozrahunku-sobivartosti-transportnoi-produktsii.html) Особливості розрахунку собівартості транспортної продукції

15. <http://zhmenka.com/roslinnictvo/ponyattya-i-zmist-texnologii-viroshhivannya-sil'skogospodarskix-kultur/> Поняття і зміст технології вирощування сільськогосподарських культур

16. <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/395-niuanisy-v-texnologii-no-till.html> Нюанси в технології no-till

17. <http://ua.textreferat.com/referat-3452-2.html> Ґрунтозахисні енерго-, ресурсо- і вологозберігаючі технології вирощування культур

18. [https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/rps/rps\\_26393\\_12.php](https://referaty.pp.ua/abstracts/ua/rps/rps_26393_12.php) Ґрунтозахисна контурно-меліоративна система землеробства

19. <http://credobooks.com/planuvannya-ta-organizaciya-virobnictva-produkci%D1%97-roslinnictva> Планування та організація виробництва продукції рослинництва

20. <https://agrolife.info/metodyka-rozrobk> Методика розробки технологічних карт

21. <http://www.zerno.org.ua/articles/technology/242-%D1%82%D0%B5%D1%85%D0%BD%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D1%96%D1%8F-%D0%B2%D0%B8%D1%80%D0%BE%D1%89%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F-%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D1%97-%D0%BF%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%86%D1%96-%D0%BF%D0%BE-no-till-%D0%B2-%D1%84%D0%B3-%D0%B1%D0%B5%D1%81%D0%BA%D1%96%D0%B4%D0%B8> Технологія вирощування озимої пшениці по No-Till в ФГ "Бескідь"

22. <https://agrotimes.ua/article/tehnika-dlya-sivbi-zernovih/> Техніка для сівби зернових

23. <http://orlib.ru/random/view/1020039> Пристрої до зернозбиральних комбайнів для збирання неколосових культур

24. <https://agrosience.com.ua/plant/53-vesnyanyl-ta-pередposivnyi-obrobitok-gruntu-tsukrovi-buryaky> Весняний та передпосівний обробіток ґрунту під цукрові буряки

25. [http://agro.ua.net/news/news\\_47907.html](http://agro.ua.net/news/news_47907.html) Сучасні технології і техніка для збирання цукрових буряків

26. <http://agro-business.com.ua/agro/ahronomiia-sohodni/item/153-osoblyvosti-tekhnologii-vyroshchuvannya-kartopli.html> Особливості технології вирощування картоплі

27. Гевко Р. Б. Підвищення техніко-економічних показників машин для збирання картоплі Український журнал прикладної економіки. 2016. Том 1. № 1. С. 39-49.

28. XXXII Міжнародна агропромислова виставка “АГРО-2020” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.agroexpo.org.ua>.

29. Grimme. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.grimme.de>.

30. Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення / Босняк М.Г. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2020. – 408 с.

31. Фрищев С.Г., Докуніхін В.З., Козупиця С.І. Транспортний процес в АПК: Посібник для самостійної роботи студентів. К.: Національна академія керівних кадрів культури і мистецтв, 2010. 460 с.

32. <https://agsolco.com/ru/tehnika-dlya-posadki-kartofelya/>

33. <https://dff.ua/ua/zberigannya-ta-perevezennya-agroproduktsiyi-v-ukrayini/>

34. <https://denzadnem.com.ua/blogy/korysni-porady/80546>

35. <https://egritech.org/wp-content/uploads/2020/03/%D0%9F%D0%A1-%D0%90%D0%A1-1422-%D0%9C-14.06.2017.pdf>

36. <https://westudents.com.ua/glavy/34619-83-dostavka-kartopli-bez-tari.html>

37. <https://agrotimes.ua/article/umovi-ta-sposobi-zberigannya-kartopli/>

38. Byshov N V, Borychev S N, Kashirin D E, Kokorev G D, Kostenko M Y, Rembalovich G K, Simdyankin A A, Uspensky I A, Shemyakin A V, Yukhin I A, Danilov I K, Ryadnov A I and Kosul'nikov R A 2018 Theoretical studies of the damage process of easily damaged products in transport vehicle body during the on-farm transportation ARPN J. of Engin. and Applied Scien. 10 3502-3508

39. James P. Yanta and Tong C B. 2013 Commercial postharvest handling of potatoes (*solanum tuberosum*) Reg. of the Univ. of Minnesota

40. Jobling, J. 2020. Temperature management is essential for maintaining produce quality. *Good Fruit and Vegetables*. 10: 30-31.

41. Stroud, G., Peters, J. and Cunnington, A. 2020. Effects of condensation on development of storage diseases. British Potato Council, online access 23rd March 2019 at [www.potato.org.uk](http://www.potato.org.uk)

42. [https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2\\_Pub\\_3442\\_Transportation\\_of\\_Fresh\\_Produce\\_Best\\_Practices\\_to\\_Ensure\\_On-Farm\\_Food\\_Safety.pdf](https://www.lsu.edu/agriculture/plant/extension/hcpl-publications/2_Pub_3442_Transportation_of_Fresh_Produce_Best_Practices_to_Ensure_On-Farm_Food_Safety.pdf)

43. Hashemi S. M. Strength of Super-Structure UN-ECE R66 Rollover Approval of Coaches based on Thin-Walled Framework Structures. *Vehicle Structures & Systems*. 2019. № 1(4). P. 78-84.

44. He Y, McPhee J. A design methodology for mechatronic vehicles: Application of multidisciplinary optimization, multibody dynamics and genetic algorithms. *Vehicle System Dynamics*. 2019. Vol. 43. Issue 10. P. 697-733. doi:10.1080/00423110500151077.

45. Saplinova V., Novikov I., Glagolev S. Design and specifications of racing car chassis as passive safety feature. *Transportation Research Procedia*. 2020. Vol. 50. P. 591-607. doi:10.1016/j.trpro.2020.10.071

46. Rogovskii I. L., Titova L. L., Voinash S. A., Sokolova V. A., Tarandin G. S., Polyanskaya O. A. Modeling the weight of criteria for determining the technical level of agricultural machines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 677. P. 022100. doi:10.1088/1755-

47. Nazarenko I., Dedov O., Bernyk I., Rogovskii I., Bondarenko A., Zapryvoda A., Titova L. Study of stability of modes and parameters of motion of vibrating machines for technological purpose. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 6 (7-108). P. 71-79. doi:10.15587/1729-4061.2020.217747.

48. Kresan T., Pylypaka S., Ruzhylo Z., Rogovskii I., Trokhaniak O. External rolling of a polygon on a closed curvilinear profile. *Acta Polytechnica*. 2020. Vol. 60. No 4. P. 313-317. doi:10.14311/AP.2020.60.0313.

49. Hrynkiv A., Rogovskii I., Aulin V., Lysenko S., Titova L., Zagurskiy O., Kolosok I. Development of a system for determining the informativeness of the diagnosing parameters of the cylinder-piston group of the diesel engines in operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 3 (5(105)). P. 19-29. doi:10.15587/1729-4061.2020.206073.

50. Voinalovych O., Hnatiuk O., Rogovskii I., Pokutnii O. Probability of traumatic situations in mechanized processes in agriculture using mathematical apparatus of Markov chain method. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 18. P. 563-269. doi:10.22616/ERDev2019.18. N245.

51. Safiullin R., Marusin A., Safiullin R., Ablyazov T. Methodical approaches for creation of intelligent management information systems by means of energy resources of technical facilities. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 140. P. 10008. doi:10.1051/e3sconf/201914010008.

52. Aulin V., Hrynkiv A., Lysenko S., Rohovskii I., Chernovol M., Lyashuk O., Zamota T. Studying truck transmission oils using the method of thermal-oxidative stability during vehicle operation. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1 (1/6(97)). P. 6-12. doi:10.15587/1729-4061.2019.156150.

53. Brylev I., Evtiukov S., Evtiukov S. Problems of calculating the speed of two-wheeled motor vehicles in an accident. *Transportation Research Procedia*. 2018. Vol. 36. P. 84-89. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.047.

54. Evtiukov S., Karelina M., Terentyev A. A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation*

Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 149-156. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.057.

55. Marusin A., Marusin A., Danilov I. A method for assessing the influence of automated traffic enforcement system parameters on traffic safety. Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. P. 500-506. doi:10.1016/j.trpro.2018.12.136.

56. Soo S., Abdel S., Khodyakov A., Marusin A., Danilov I., Khlopkov S., Andriyushenko I. The ways of effectiveness increase of liquid fuel with organic addition appliance in transportation. Advances in Transportation Sciences. 2020. Vol. 170. P. 833-838.

57. Роговський І. Л. Методичні засади визначення пасивної безпеки кузовних конструкцій колісних транспортних засобів. Вісник Львівського національного аграрного університету (агроінженерні дослідження). Львів. 2021. Вип. 25. С. 189–198. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2021.25.189>.

58. Rogovskii I. L. Models of formation of engineering management alternatives in methods of increasing grain production in agricultural enterprises. Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Kyiv, Ukraine. 2021. Vol. 12, No 1. P. 137-146. <http://dx.doi.org/10.31548/machenergy2021.01.137>.

59. Zagurskiy O., Ohienko M., Pokusa T., Zagurska S., Pokusa F., Titova L., Rogovskii I. Study of efficiency of transport processes of supply chains management under uncertainty. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2020. 162 p.

60. Zagurskiy O., Rogach S., Titova L., Rogovski I., Pokusa T. «Green» supply chain as a path to sustainable development. Mechanisms of stimulation of socio-economic development of regions in conditions of transformation. Monograph. Opole: The Academy of Management and Administration in Opole. 2019. P. 199-213.