

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Допущений до захисту:
завідувача кафедри

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)
«_____» _____ 2021 р.

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ДІАГНОСТУВАННЯ
ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА
ПАРАМЕТРАМИ ПЕРЕХІДНИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Робота на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Виконав: студент групи АІ 20-1 маг. з.
Кравчук Олександр Петрович

Керівник: к.т.н., доцент
Спрін Анатолій Володимирович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра агроінженерії та
технічного сервісу

Інженерно-технологічний
факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ
зав. кафедри АІ та ТС

“ _____ ” _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

студенту _____ Кравчуку Олександр Петровичу _____

на тему

«Дослідження методів діагностування двигунів внутрішнього згорання за параметрами перехідних характеристик»

затверджену Наказом від _____ 02 березня 2021 року _____ № 25 м

Вихідні дані для підготовки роботи:

1. Методичні вказівки з виконання магістерської роботи.
2. План-проспект магістерської роботи.
3. Підручники і навчально-методичні посібники, статистичні дані.
4. Наукові видання (монографії, книги, збірники, журнали, методики, матеріали ЦНТІ).
5. Методика економічної оцінки результатів досліджень.
6. Дані власних досліджень, одержаних в попередній період.

Календарний план виконання магістерської роботи

Структура роботи		Обсяг стор.	Термін підготовки
Анотація		1	листопад 2021 року
Вступ		3	листопад 2021 року
Розділ 1	Стан питання і завдання досліджень	38	квітень 2021 року – липень 2021 року
Розділ 2	Теоритичні передумови вдосконалення динамічного методу діагностування	12	квітень 2021 року – липень 2021 року
Розділ 3	Програма і методика досліджень	22	вересень 2021 року
Розділ 4	Результати досліджень	15	жовтень 2021 року
Висновки		2	листопад 2021 року
Список використаної літератури		4	квітень 2021 року - листопад 2021 року

Термін подання роботи на кафедру

для попереднього захисту « 09 » листопада 2021 р.

Завдання видано « 15 » жовтня 2020 р.

Завдання прийняв до виконання _____ О.П. Кравчук

Керівник _____ А.В. Спирін, к.т.н., доцент
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кравчук Олександр Петрович. Дослідження методів діагностування двигунів внутрішнього згоряння за параметрами перехідних характеристик. - Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2021.

Мета дослідження - підвищення ефективності контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління, за рахунок вдосконалення динамічного методу діагностування.

Об'єктом дослідження є процес зміни технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління в експлуатаційних умовах.

Предметом дослідження є закономірності зміни параметрів перехідної характеристики бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління від зміни технічного стану ЦПГ і системи живлення.

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Ключові слова: надійність, діагностування, автомобіль, двигун, система живлення, математична модель, несправність, електронна система управління.

ЗМІСТ

	Стор.
АНОТАЦІЯ	6
ВСТУП	9
1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	13
1.1 Режими роботи бензинових двигунів внутрішнього згорання з електронною системою управління	13
1.2 Обґрунтування необхідності своєчасного контролю технічного стану бензинових ДВЗ з електронною системою управління	18
1.3 Використання автомобілів оснащених бензиновими ДВЗ з електронною системою управління в АПК	23
1.4 Технічний сервіс і оперативний контроль бензинових ДВЗ з електронною системою управління в умовах АПК	24
1.5 Напрями розвитку діагностування ДВЗ динамічним методом	26
1.6 Види діагностування бензинових двигунів з електронною системою управління	34
1.6.1 Бортове діагностування двигунів внутрішнього згорання з електронною системою управління	35
1.6.2 Стаціонарне діагностування бензинових двигунів з електронною системою управління	38
1.6.3 Дистанційне діагностування бензинових двигунів внутрішнього згорання з електронним управлінням	43
1.7 Безрозбірні динамічні методи контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згорання реалізованих в сучасному діагностичному обладнанні	45
1.8 Висновки до розділу	49
2 ТЕОРИТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ	50
2.1 Сутність динамічного методу контролю технічного стану ДВЗ	50
2.2 Обґрунтування діагностичного параметра для визначення технічного стану ДВЗ	51
2.3 Обґрунтування способу розгону двигуна з електронним управлінням при проведенні діагностування	54
2.4 Обґрунтування швидкісного діапазону при проведенні діагностування в режимі розгону-вибігу	56

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	61
3.1 Мета і завдання досліджень	61
3.2 Вибір об'єкта досліджень	62
3.3 Вибір числа факторів, рівнів варіювання факторів і матриці планування експерименту	63
3.4 Вимірювальна апаратура та обладнання	67
3.5 Спосіб імітації нещільності ЦПГ	70
3.6 Спосіб імітації несправностей системи живлення	73
3.6.1 Методика випробувань електромагнітних форсунок	74
3.6.2 Методика випробування електробензонасоса	77
3.7 Тарування комплекту форсунок і електробензонасоса для моторних випробувань	78
3.8 Методика моторних випробувань для обґрунтування способу здійснення вільного розгону двигуна	79
3.9 Методика проведення випробувань для визначення впливу датчиків системи управління на характеристики вільного розгону	80
3.10 Методика проведення випробувань при спільному впливі факторів	81
4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	82
4.1 Результати моторних випробувань для обґрунтування способу розгону бензинового двигуна з електронною системою управління	82
4.2 Результати моторних випробувань при відключенні датчиків електронної системи управління	85
4.3 Результати моторних випробувань при спільному впливі факторів	85
4.4 Розробка методики діагностування бензинового двигуна з електронною системою управління	92
4.5 Результати перевірки розробленої методики діагностування бензинового двигуна з електронною системою управління за параметрами перехідних характеристик вільного розгону-вибігу	93
ВИСНОВОК	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	98
ДОДАТКИ	105

АНОТАЦІЯ

Кравчук Олександр Петрович. Дослідження методів діагностування двигунів внутрішнього згоряння за параметрами перехідних характеристик. - Робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «Магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – Вінницький національний аграрний університет Міністерства освіти і науки України, Вінниця, 2021.

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовані мета і завдання, визначені об'єкт і предмет дослідження, відображена наукова новизна отриманих результатів.

У першому розділі на підставі літературних даних встановлено, що руйнування герметичності ЦПГ призводить до прискореного старіння моторного масла, збільшення питомої витрати моторного масла на чад, утрудненого пуску до деформації робочих процесів в циліндрі, до зростання механічних втрат.

У другому розділі наведено теоретичні передумови обґрунтування діагностичного параметра визначення технічного стану бензинового ДВЗ динамічним методом.

У третьому розділі вирішені наступні питання: розроблена програма експериментальних досліджень; визначені способи імітації нещільності ЦПГ і несправності паливної системи; розроблені методики проведення експериментальних досліджень відповідно до розробленої програми; проведено опис експериментальних установок, вимірювальної апаратури, прийнятих способів обробки експериментальних даних.

У четвертому розділі наведені результати експериментальних досліджень, регресійна модель, яка показує зв'язок діагностичного параметра від технічного стану ЦПГ і системи живлення, а також розроблений алгоритм діагностування.

Ключові слова: надійність, діагностування, автомобіль, двигун, система живлення, математична модель, несправність, електронна система управління.

АННОТАЦИЯ

Кравчук Александр Петрович. Исследование методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания по параметрам переходных характеристик. - Работа на получение образовательного-квалификационного уровня «Магистр» по специальности 208 «Агроинженерия». - Винницкий национальный аграрный университет Министерства образования и науки Украины, Винница, 2021.

Структура дипломной работы. Данная дипломная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы и приложений.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задание, определенные объект и предмет исследования, отражена научная новизна полученных результатов.

В первой главе на основании литературных данных установлено, что разрушение герметичности ЦПГ приводит к ускоренному старению моторного масла, увеличению удельного расхода моторного масла на угар, затрудненному пуску к деформации рабочих процессов в цилиндре, к росту механических потерь.

Во второй главе приведены теоретические предпосылки обоснования диагностического параметра определения технического состояния бензинового ДВС динамическим методом.

В третьей главе решены следующие вопросы: разработана программа экспериментальных исследований; определены способы имитации неплотности ЦПГ и неисправности топливной системы; разработаны методики проведения экспериментальных исследований в соответствии с разработанной программой; проведено описание экспериментальных установок, измерительной аппаратуры, принятых способов обработки экспериментальных данных.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований, регрессионная модель показывающая связь диагностического параметра от технического состояние ЦПГ и системы питания, а также разработанный алгоритм диагностирования.

Ключевые слова: надежность, диагностирование, автомобиль, двигатель, система питания, математическая модель, неисправность, электронная система управления.

ANNOTATION

Kravchuk Alexander Petrovich. Research of methods of diagnosing internal combustion engines according to the parameters of transient characteristics. - Work on obtaining the educational and qualification level "Master" in specialty 208 "Agricultural Engineering". - Vinnitsa National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Vinnitsa, 2021.

The structure of the thesis. This thesis consists of introduction, four chapters, conclusion, list of references and application.

The introduction justifies the relevance of the topic, formulates the goal and tasks, a specific object and subject of research, reflects the scientific novelty of the results.

In the first chapter, on the basis of literature data, it was found that the destruction of the CPG tightness leads to accelerated aging of engine oil, an increase in the specific consumption of engine oil for waste, difficult start-up to deformation of working processes in the cylinder, and an increase in mechanical losses.

The second chapter presents the theoretical prerequisites for substantiating the diagnostic parameter for determining the technical state of a gasoline internal combustion engine by a dynamic method.

In the third chapter, the following issues have been resolved: a program of experimental research has been developed; methods of simulating the leakage of the CPG and malfunctions of the fuel system have been determined; methods for conducting experimental research have been developed in accordance with the developed program; the description of experimental installations, measuring equipment, accepted methods of experimental data processing is carried out.

The fourth chapter presents the results of experimental studies, a regression model showing the relationship between the diagnostic parameter and the technical state of the CPG and the power system, as well as the developed diagnostic algorithm.

Key words: reliability, diagnostics, car, engine, power system, mathematical model, malfunction, electronic control system.

ВСТУП

Актуальність теми досліджень. В агропромисловому комплексі все більш широке застосування в технологічному процесі знаходять автомобілі малої і середньої вантажопідйомності для перевезення різних вантажів, а також в якості машин техдопомоги і т.д.

Виробники автомобілів пропонують різні програми, для забезпечення сільськогосподарських організацій, лісопереробних підприємств, фермерських господарств, кооперативів та індивідуальних підприємців, які здійснюють діяльність у сільській місцевості.

Ефективність використання автомобіля в значній мірі визначається працездатністю двигуна, як одного з дорогих і трудомістких у виготовленні, ремонті і технічному обслуговуванні двигуна автомобіля, циліндропоршнева група (ЦПГ) якого, на 80% визначає ресурс до першого ремонту.

Критерієм техніко-економічної ефективності двигуна є характер зміни ефективної потужності і крутного моменту, ККД, а також мінімізація витрат палива, кількості шкідливих викидів і т.д.

Але для того, щоб досягнуті результати економічності двигуна зберігалися тривалий час в період експлуатації, необхідний періодичний контроль технічного стану двигуна.

В даний час методи і засоби безрозбірної оцінки технічного стану інтенсивно розвиваються, як в напрямку діагностики окремих агрегатів, так і в цілому стану машини.

Застосовувані на сьогоднішній день динамічні методи контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згоряння не використовують всю інформативність перехідних характеристик.

За різними даними, сільське господарство розвиватиметься прискореними темпами, що потребує одночасної розробки інфраструктури транспортних послуг, дилерських центрів з обслуговування техніки, зокрема, розробки нових досконалих засобів діагностування.

Стратегією машинно-технологічної модернізації сільського господарства, передбачено введення нових технологічних процесів і обладнання для технічного обслуговування, ремонту машин та устаткування агропромислових товаровиробників.

У зв'язку з цим дослідження, спрямовані на вдосконалення динамічного методу контролю технічного стану двигуна внутрішнього згорання, що забезпечують оперативність і точність визначення технічного стану в експлуатаційних умовах, є актуальними і практично значущими для аграрного виробництва.

Завданням представленої роботи є встановлення діагностичного параметра перехідної характеристики, що відображає зміну технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління.

Виконання поставленого завдання має істотне значення для розробки методу контролю, що забезпечує зниження трудомісткості і енерговитрат при діагностуванні технічного стану двигуна внутрішнього згорання.

Ступінь розробленості теми. Дослідженнями щодо вдосконалення і підвищення ефективності методів і засобів діагностування технічного стану двигунів внутрішнього згорання динамічним методом, займалися багато відомих учених: В. В. Альт, А. Г. Арженовский, В. Н. Башмакова, Д. М. Воронін, А. В. Гриценко, А.С. Гребенников, І. П. Добролюбов, А. А. Долгушин, Н. С. Жданівський, А. Т. Клейн, В. І. Кочергін, С. Н. Кривцов, В. М. Лівшиць, А. А. Моносзон, Л.В. Мірошников, І. П. Терських, С. Н. Ольшевський, А. А. Відставний, С.В. Подкопаев, Ю. В. Родіонов, В. Ф. Синій, О.Ф. Савченко, А.М. Харазова, Н. В. Щетинін та ін. Виконані ними дослідження були спрямовані на оцінку: ефективної потужності, максимального крутного моменту, коефіцієнта пристосовності, початку дії регулятора, щільності контуру горіння, нерівномірності роботи циліндрів, витрати палива, кута початку подачі палива. В якості діагностичного параметра використовували усереднені значення прискорення вільного розгону і вибігу. Аналіз робіт виконаних в області вдосконалення перспективних методів і засобів діагностування, дозволив виявити, що в основному досліджували дизельні двигуни внутрішнього згорання. Через особливості роботи карбюраторних двигунів, можливості динамічного методу були

обмежені. А. Т. Клейном був розроблений статико-динамічний метод контролю, він ґрунтується на вільному розгоні і вибігу при періодичному відключенні і включенні запалювання, яке забезпечує роботу двигуна у вузькому інтервалі обертів в області номінальної частоти обертання колінчастого вала при фіксованому положенні дросельної заслінки. На сьогоднішній день, недостатньо досліджень спрямованих на вдосконалення динамічного методу оперативного контролю технічного стану ЦПГ і системи живлення бензинових ДВЗ з електронною системою управління.

Мета дослідження: підвищення ефективності контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління, за рахунок вдосконалення динамічного методу діагностування. Відповідно до мети сформульовано **завдання дослідження:**

1. Встановити діагностичний параметр перехідної характеристики, що відображає зміну технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління.

2. Розробити спосіб і методику діагностування технічного стану бензинового двигуна з електронним управлінням по параметрам зміни характеристики вільного розгону-вибігу.

3. Провести виробничу перевірку способу контролю технічного стану ДВЗ і оцінити його техніко-економічну ефективність.

Об'єкт дослідження: процес зміни технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління в експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження: закономірності зміни параметрів перехідної характеристики бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління від зміни технічного стану ЦПГ і системи живлення.

Наукова новизна роботи:

- діагностичний параметр перехідної характеристики, що відображає зміну технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління;

- закономірності зміни параметрів перехідної характеристики вільного розгону-вибігу, бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління від технічного стану ЦПГ і системи живлення;
- обґрунтована мінімальна частота обертання колінчастого вала для переведення двигуна в режим розгону після вибігу;
- методика контролю технічного стану бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління за параметрами перехідної характеристики вільного розгону-вибігу.

Теоретична і практична значущість роботи. Розроблено методику контролю технічного стану ЦПГ і системи живлення бензинового двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління за параметрами перехідної характеристики вільного розгону-вибігу, що дозволяє підвищити точність визначення технічного стану, скоротити трудомісткість, і знизити загальні витрати при експлуатації на технічне обслуговування і ремонт. Розроблена методика може застосовуватися на стаціонарних станціях і постах технічного обслуговування, а також при проведенні дистанційного діагностування ДВЗ в експлуатаційних умовах.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень мають практичну значимість для сільськогосподарських та інших підприємств, що мають рухомий склад транспортних засобів, оснащених бензиновими двигунами з електронною системою управління.

Структура дипломної роботи. Дана дипломна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Режими роботи бензинових двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління

Інформація по алгоритмам управління двигунами, оснащеним системами електронного управління паливоподачі і запалювання досить обмежена. Теорія і математичні моделі каналів управління робочим процесом двигуна за сигналами датчиків режимних параметрів і параметрів навколишнього середовища, а також загальний алгоритм управління представлені в роботі А. В. Гірявца [35, 36]. Автор виділяє дві групи режимів реалізованих системою управління робочим процесом двигуна. Це режими, що забезпечують потенційні можливості для управління потужністю двигуна і режими де здійснюється безпосереднє управління потужністю (рисунок 1.1).

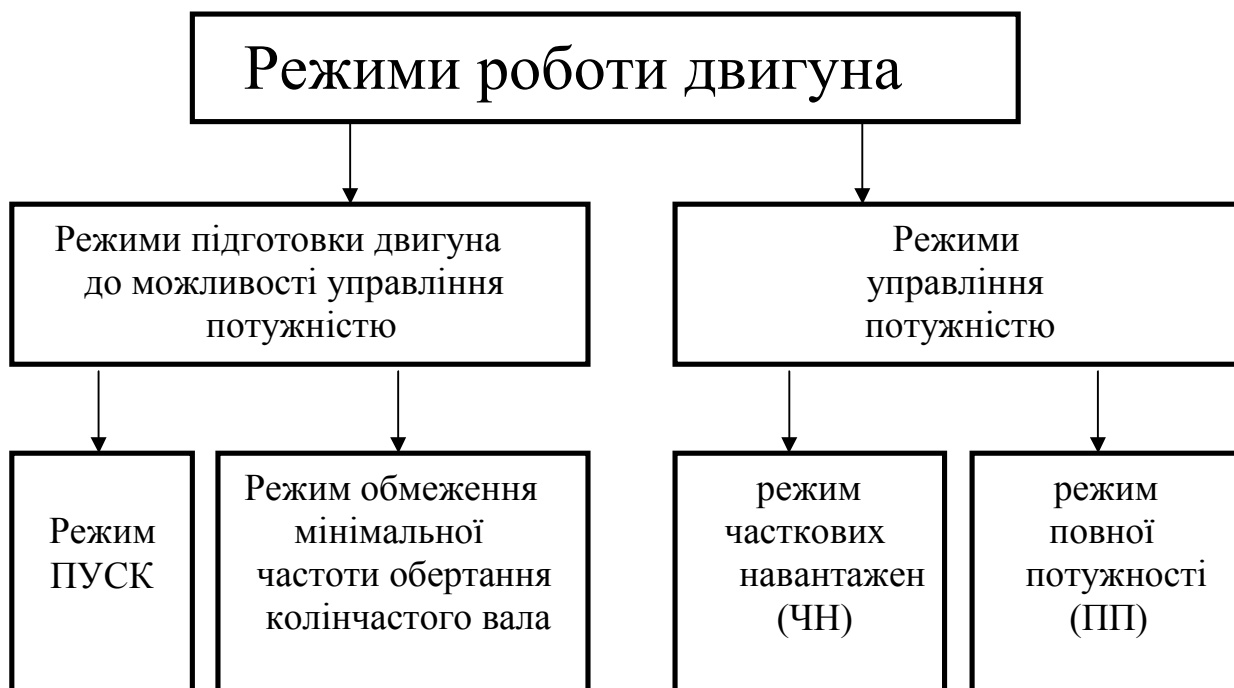


Рисунок 1.1 - Режими роботи автомобільного двигуна з електронною системою управління

Мікропроцесорні системи управління уприскуванням всіх типів підтримують наступні режими роботи описані нижче [35].

Режим пуску двигуна. При включенні запалювання електронний блок управління (ЕБУ) включає реле електробензонасоса, і він створює тиск в магістралі подачі палива до паливної рампи. ЕБУ перевіряє сигнал від датчика температури охолоджуючої рідини і визначає правильне співвідношення повітря і палива для пуску. Умовами режиму пуск є: наявність частоти обертання колінчастого вала не вище частоти виходу з пуску за умови, що двигун або був зупинений, або, в разі прокрутки двигуна трансмісією, система управління була відключена [36]. Запуск двигуна можливий при довільному положенні дросельної заслінки тому з пускового режиму двигун може перейти в будь-який інший режим. У деяких ЕБУ закладений режим продувки «залитого» двигуна.

Робочий режим управління паливоподачею. Після пуску двигуна (коли обороти понад 400 об/хв) ЕБУ управляє системою подачі палива в робочому режимі. В цьому режимі ЕБУ розраховує тривалість імпульсу на форсунки за сигналами від датчика положення колінчастого вала (інформація про частоту обертання), датчика масової витрати повітря, датчика температури охолоджуючої рідини і датчика положення дросельної заслінки. Розрахована тривалість імпульсу впорскування може давати співвідношення повітря і палива, що відрізняється від 14,7: 1. Прикладом може служити непрогрітій стан двигуна, так як при цьому для забезпечення хороших їздових якостей, потрібна збагачена суміш [15].

Робочий режим для системи упорскування зі зворотним зв'язком. У цій системі ЕБУ спочатку розраховує тривалість імпульсу на форсунки на основі сигналів від тих же датчиків, що і в системі уприскування без зворотного зв'язку. Відмінність полягає в тому, що в системі зі зворотним зв'язком ЕБУ ще використовує сигнал від датчика кисню для коригування і тонкого регулювання розрахункового імпульсу, щоб точно підтримувати співвідношення повітря і палива на рівні (14,6 ... 14,7): 1. Це дозволяє каталітичному нейтралізатору працювати з максимальною ефективністю.

Робота системи з послідовним (фазованим) уприскуванням палива. ЕБУ включає форсунки послідовно, в порядку запалювання по циліндрах (1-3-4-2). Датчик фаз дає ЕБУ сигнал про те, коли 1-й циліндр знаходиться в ВМТ в кінці такту стиснення. На підставі цього сигналу ЕБУ розраховує момент включення кожної

форсунки, причому кожна форсунка впорскує паливо один раз за два оберти колінчастого вала двигуна, тобто за один повний робочий цикл. Такий метод дозволяє більш точно дозувати паливо по циліндрах і знизити рівень токсичності відпрацьованих газів.

Режим збагачення при прискоренні. ЕБУ стежить за різкими змінами положення дросельної заслінки (по датчику положення дросельної заслінки) і за сигналом датчика масової витрати повітря забезпечує подачу додаткової кількості палива за рахунок збільшення тривалості імпульсу впорскування.

Режим збагачення при прискоренні застосовується тільки для управління паливоподачею в перехідних умовах (при переміщенні дросельної заслінки, рисунок 1.2)

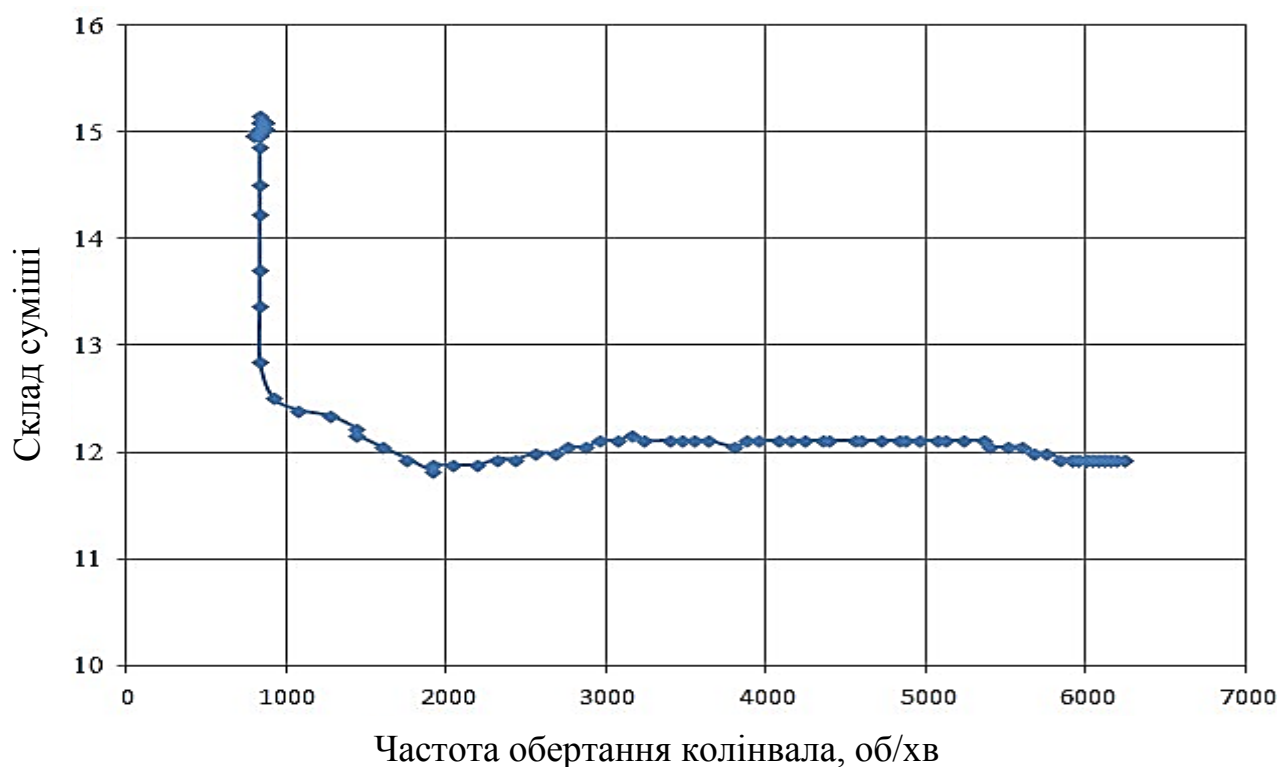


Рисунок 1.2 - Зміни складу суміші при переході двигуна ЗМЗ 4062.10 у вільний розгін при різкому переміщенні дросельної заслінки (початкова частота обертання 850 хв-1)

Режим збіднення при гальмуванні. При гальмуванні автомобіля із закритою дросельною заслінкою можуть збільшитися викиди в атмосферу токсичних

компонентів. Щоб не допустити цього, ЕБУ стежить за зменшенням кута відкриття дросельної заслінки і за сигналом датчика масової витрати повітря і своєчасно зменшує кількість палива, що подається шляхом скорочення імпульсу впорскування.

Режим потужнісного збагачення. ЕБУ стежить за сигналом датчика положення дросельної заслінки і частотою обертання колінчастого вала для визначення моментів, в які водієві необхідна максимальна потужність двигуна. Для досягнення максимальної потужності потрібна збагачена горюча суміш, і ЕБУ змінює співвідношення повітря і палива приблизно до 12:1. В системі уприскування зі зворотним зв'язком в цьому режимі сигнал датчика концентрації кисню ігнорується, так як він буде вказувати на збагачення суміші (рисунок 1.3) [27].

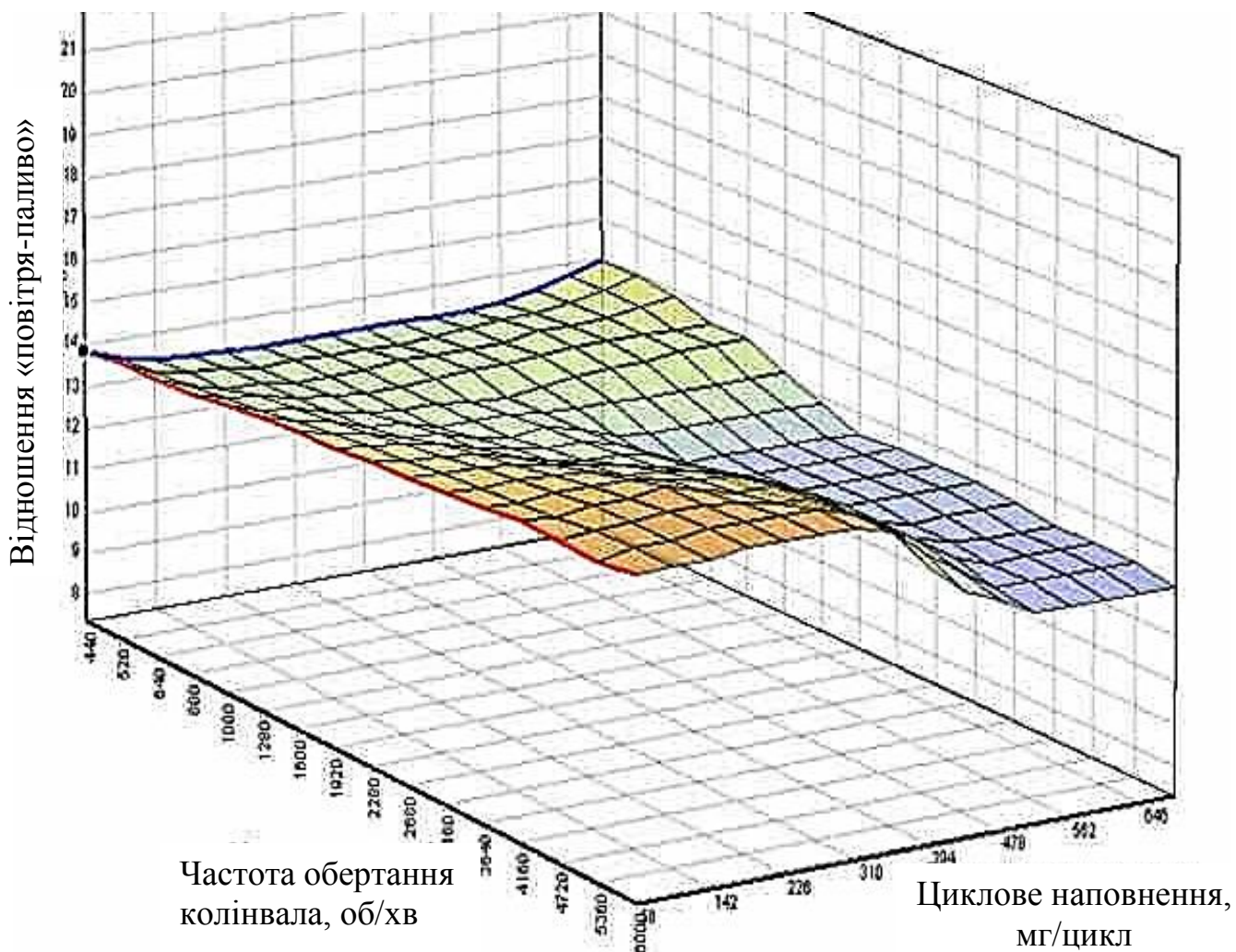


Рисунок 1.3 - Розрахунок складу паливо-повітряної суміші від частоти обертання колінчастого вала і циклового наповнення (двигун ЗМЗ 4062.10)

Режим відключення подачі палива при гальмуванні двигуном. При гальмуванні двигуном з включеною передачею і зчепленням, ЕБУ може на короткі періоди часу повністю відключити імпульси уприскування палива. Відключення і включення подачі палива на цьому режимі відбувається при виконанні певних умов по температурі охолоджуючої рідини, частоті обертання колінчастого вала, швидкості автомобіля і вразі відкриття дросельної заслінки. Відключення подачі палива також відбувається при перевищенні гранично допустимої частоти обертання колінчастого вала двигуна для захисту двигуна від перекручування [35].

Компенсація напруги живлення. При падінні напруги живлення система запалювання може давати слабку іскру, а механічному руху «відкриття» форсунки може знадобитися більше часу. ЕБУ компенсує це шляхом збільшення часу накопичення енергії в котушках запалювання і тривалості імпульсу впорскування. Відповідно, при зростанні напруги акумуляторної батареї (або напруги в бортовій мережі автомобіля) ЕБУ зменшує час накопичення енергії в котушках запалювання і тривалість впорскування. Наприклад, для електробензонасоса моделі 155.1139002 двигуна УМЗ 4216 при напрузі живлення 13,5В продуктивність 110 л/год, а при напрузі 10,8 В знижується до 80 л/год.

Режим відключення подачі палива. При вимкненому запалюванні паливо форсункою не подається, чим виключається самозаймання суміші при перегрітому двигуні. Крім того, імпульси впорскування палива не подаються, якщо ЕБУ не отримує опорних імпульсів від датчика положення колінчастого валу, тобто це означає, що двигун не працює.

Аварійний режим. При несправності датчиків (датчика температури, датчика масової витрати повітря, датчика положення дросельної заслінки, датчика розподільного вала, датчика детонації, котушки запалювання) електронної системи управління, ЕБУ переходить на управління паливоподачею і кутом випередження запалювання згідно з картами аварійного режиму.

Аварійний режим роботи при несправному датчику температури охолоджуючої рідини передбачає включення в системі вентилятора, установку початкової температури при запуску двигуна 0 °С, а також автоматичне збільшення температури

двигуна до 85 °С за часом роботи двигуна після запуску. При такому режимі утруднений запуск двигуна.

При несправності датчика положення дроселя, ЕБУ встановлює підвищені обороти холостого ходу. В цьому випадку система відмовляється від регулювання оборотів холостого ходу. Кроковий мотор встановлюється в постійне положення 120 кроків. Паливоподача розраховується за показниками датчика масової витрати повітря з параметром збагаченого складу паливної суміші.

Аварійний режим роботи при несправності датчика масової витрати повітря поводитья точно так само, як і при відмові датчика положення дросельної заслінки. Кроковий мотор встановлюється в положення 120 кроків. Показання датчика масової витрати повітря замінюються значеннями з аварійної таблиці (на основі показань датчика положення дроселя і розрахованих оборотів двигуна). Паливоподача розраховується по цих значеннях за параметром збагаченого складу паливної суміші.

Аварійний режим при відмові датчика детонації полягає в зміні режимних кутів випередження запалювання. Система використовує аварійну таблицю (знижених) кутів випередження запалювання і збільшує циклову подачу палива [35].

При виході з ладу датчиків масової витрати і датчика положення дроселя двигун здатний заводитися і працювати, але безпечно пересуватися на такому автомобілі, практично неможливо.

При неприпустимому відсотку пропусків запалювання в циліндрі двигуна, цей циліндр буде виведений з роботи, керуюча програма заборонить подачу палива в нього шляхом блокування відповідної форсунки.

Перехід на резервний режим роботи системи завжди супроводжується включеною лампою «Перевір двигун» і погіршенням їздових якостей автомобіля [2].

1.2 Обґрунтування необхідності своєчасного контролю технічного стану бензинових ДВЗ з електронною системою управління

В умовах експлуатації двигун працює в основному на несталих режимах, до яких відносяться пуск і прогрів, розгін і гальмування, навантаження, в тому числі і різке, скидання навантаження, зупинка двигуна [35]. Важливим періодом

експлуатації двигунів є несталий режим роботи двигуна. Він становить 93 ... 97% в умовах інтенсивного міського руху, 30 ... 45% при русі по ґрунтових дорогах, 30 ... 35% всього часу руху на заміських магістралях. Використовувана потужність двигуна становить 13 ... 78% від номінальної. Робота на несталих режимах призводить до зростання витрати палива на 5 ... 7% і збільшує знос двигуна в середньому в 1,2 ... 2 рази [7]. Параметри, що оцінюють технічний стан двигуна, не залишаються постійними в процесі експлуатації, оскільки при роботі ДВЗ відбувається безперервний знос рухомих сполучених деталей паливної апаратури, циліндропоршневої групи (ЦПГ), газорозподільного механізму (ГРМ), погіршуються механічні властивості пружних елементів (поршневих кілець і пружин) [44].

В цілому, загальна вага відмов і несправностей двигунів в загальній структурі відмов автомобіля може досягати для окремих моделей до 35 ... 55%. За даними В. М. Власова [31], двигун і електрообладнання стоять на першому місці за кількістю відмов з систем і вузлів автомобіля.

За даними Е. С. Кузнєцова, відмови системи управління бензинових ДВЗ припадають на наступні елементи: окислення контактів і обрив проводів - 35%; електромагнітні форсунки - 8%; регулятор холостого ходу - 10%; система запалювання - 9%; датчик кисню - 7%; датчики і реле - 6%; електронний блок управління - 3%; паливний насос - 22%

У роботі А. В. Гриценко [48] розподіл несправностей і відмов бензинових ДВЗ представлено в такий спосіб: свічки запалювання - 20%, форсунки - 17%, датчик масової витрати повітря - 15%, регулятор холостого ходу - 13%, модуль запалювання - 9%, датчик кисню - 7%, датчик температури - 4%, регулятор тиску палива - 3%, паливний насос - 2,5%.

В роботі Кіндєєва Е. А. [7] визначена оптимальна періодичність діагностування основних елементів систем уприскування палива з електронним управлінням, яка збігається з періодичністю другого технічного обслуговування. Також встановлено, що деякі елементи системи уприскування палива мають оптимальну періодичність діагностування, що перевищує 2 млн. км пробігу, тобто вони не вимагають планових діагностичних робіт. До них відносяться: витратомір повітря, датчик частоти

обертання колінчастого вала, датчики температури. Встановлено, що середній час безвідмовної роботи системи упорскування палива з електронним управлінням знаходиться в інтервалі 30 ... 35 тис. км пробігу.

Відомо, що склад горючої суміші визначає повноту згоряння палива, а отже, і темп зносу двигунів. У міру збагачення суміші знос деталей двигуна зростає [7]. Причиною збільшення зносу є підвищення неповноти згоряння, зростання розрідженого масла паливом, і змивання плівки масла зі стінок циліндра. Якщо прийняти знос при роботі двигуна на самому економічному режимі за 100%, то при складі суміші, що відповідає режиму максимальної потужності, знос зростає на 30 ... 60% в залежності від фракційного складу бензину. Основними причинами збагачення горючої суміші двигунів з примусовим уприскуванням палива є негерметичність електромагнітних форсунок, несправність регулятора тиску палива, засмічення зливного трубопроводу і несправність датчиків системи управління, засмічення повітряного фільтра [9].

За даними Д. Д. Бабайкіна [13] зниження пропускної здатності електромагнітних форсунок на 6% відбувається у 40% двигунів при пробігу автомобіля 15-30 тис.км.

Практика експлуатації автомобілів з двигунами, оснащеними системою впорскування бензину, при використанні бензинів, що не містять миючих присадок, показує, що після 15 тис. км. можливе зниження пропускної здатності інжектора на 5 - 15% [49].

В роботі [11] проведено порівняльні випробування двигуна ВАЗ 2111 з комплектами форсунок, що мають різне напрацювання. Знімалася швидкісна характеристика в діапазоні частоти обертання валу $n = 1500 \dots 3500 \text{ хв}^{-1}$. Форсунки, що мають напрацювання 150 тис. км. пробігу автомобіля показали зниження ефективної потужності N_e на 3 ... 9%, а ефективний крутний момент M_e на 4 ... 6%, питома витрата палива збільшився на 2 ... 6%, збільшилися викиди шкідливих компонентів з відпрацьованими газами: оксиду вуглецю CO на 15 ... 25% , вуглеводню CH - на 15 ... 45%.

Чи не маловажливим фактором який впливає на довговічності деталей двигуна є корозійний знос. На корозійний знос деталей і систем двигуна (камера згоряння, поршневі кільця, клапани, вихлопна система) сильно впливає загальна кількість неактивних сірчаних з'єднань, і води, що міститься в бензині; умови експлуатації; температури навколишнього повітря; ступеня завантаження двигуна; кваліфікації водія; і своєчасності проведення технічного обслуговування. Експериментальними роботами встановлено, що при збільшенні сірки з 0,05 до 0,10% знос деталей двигуна зростає в 1,5 ... 2,0 рази [7].

За технічними умовами в бензині наявність механічних домішок не допускається. Однак при транспортуванні і зберіганні паливо забруднюється пилом з навколишнього повітря. Певна кількість домішок майже завжди міститься навіть в чистому за зовнішнім виглядом паливі. Разом зі смолистими і нагароутворюючими речовинами домішки збільшують інтенсивність накопичення високотемпературних відкладень. Механічні домішки проникають в зазори між поршковими кільцями і гільзи циліндра, викликаючи їх підвищений знос [7].

Погіршення технічного стану деталей циліндропоршневої групи призводить до зменшення індикаторної потужності, зростання механічних втрат, зниження коефіцієнта надлишку повітря, зростання витоків газу в картер, прискоренню насичення масла продуктами розкладання і неповного згоряння палива [1].

Граничний знос ЦПГ знижує величину компресії на 20 - 25%, а у восьмициліндрового карбюраторного двигуна це викликає збільшення витрати палива на 10 - 12% [5]. Ерохов В.І. стверджує, що при пробігу 50 тис. км без проведення будь-яких операцій по ТО і Р витрата палива піднімається до 10-20%.

За даними [9] циліндропоршнева група (ЦПГ) на 80% визначає ресурс до першого ремонту двигуна внутрішнього згоряння.

В роботі [5] Потреба в технічному діагностуванні ЦПГ підвищилася також у зв'язку з розширенням застосування «безрозбірного відновлення» зєднань ДВЗ.

За результатами досліджень А. А. Гончарова характеристики нових двигунів і бувших в експлуатації розрізняються в середньому: (потужність N_e) до 25%, питома витрата палива (g_e) -29%, показник екологічності ($P_{\text{екол}} \text{CO}$) - до 63%.

При дослідженні впливу стану ГРМ на параметри ДВЗ в роботах Д. В. Федорова наведено такі дані: знос кулачків розподільного вала в межах допустимих величин знижує всі показники ДВЗ від 3 до 15%, значення коефіцієнта наповнення циліндрів зменшується на 8% при малих частотах обертання колінчастого вала ($n = 1000 \dots 2000 \text{ хв}^{-1}$) і на 5% - на номінальних ($n = 2200 \dots 2500 \text{ хв}^{-1}$); при зносі кулачків розподільного вала на 0,7 ... 1,2 мм ефективна потужність двигунів ЗМЗ знижується на 5 ... 9%, а витрата палива і негативний вплив відпрацьованих газів збільшуються на 4%.

Згідно з численними дослідженнями [9], довговічність як нового, так і капітально відремонтованого двигуна залежить в основному від технічного стану двох з'єднань: «шийка колінчастого вала - вкладиш» і «поршневі кільця - гільза циліндра». Дані відмови, є найбільш частими причинами капітального ремонту авто-тракторних двигунів. При аналізі значної кількості робіт відзначається що, капітальний ремонт двигуна визначається в першу чергу зносом циліндрів, а загальний - необхідністю заміни поршнів і поршневих кілець (іноді тільки поршневих кілець). Одночасно з ремонтом циліндрів ремонтується колінчастий вал і замінюються інші деталі кривошипно-шатунного механізму. Ознаками необхідності ремонту двигуна є збільшена витрата масла на доливання, димлення (прорив газів в картер),

Згідно з даними [5, 7], кількість відмов збільшується на 20 ... 30% саме після ремонту двигуна.

Таким чином, можна зробити висновок, що система живлення має велику частку відмов і її стан в свою чергу є однією з причин зносу ЦПП, що в цілому впливає на ефективність роботи двигуна і необхідність діагностики в процесі експлуатації не викликає сумнівів. У зв'язку з випадковим характером виникнення відмов неможливо точно передбачити момент їх настання, тому доцільно регулярно контролювати технічний стан двигуна. Періодичний контроль дозволить своєчасно визначити настання моменту граничного стану деталей циліндропоршневої групи двигуна, починаючи з якого його експлуатація економічно невиправдана, і тому повинна бути припинена.

1.3 Використання автомобілів оснащених бензиновими ДВЗ з електронною системою управління в АПК

Автомобілі в АПК є одним з основних факторів підвищення продуктивності праці. При цьому на частку технічного прогресу в удосконаленні автомобілів припадає від 40 до 50% зростання продуктивності праці, а решта 50-60% припадають на частку інших факторів [22].

Широке застосування в технологічному процесі АПК знаходять автомобілі малої і середньої вантажопідйомності зокрема виробництва Ульяновського та Горьковського автозаводів для перевезення різних вантажів, людей, а також в якості машин техдопомоги і т.д. (рисунок 1.4) [4, 12].

Спостерігається тенденція доставки товарів від фермерів безпосередньо до споживача. Найчастіше продаж товару здійснюється з спеціально переобладнаного автомобіля.

Виробники автомобілів пропонують різні програми, для забезпечення сільськогосподарських організацій, лісопереробних підприємств, фермерських господарств, кооперативів та індивідуальних підприємців, які здійснюють діяльність у сільській місцевості, можуть додатково отримувати цільову матеріальну підтримку.

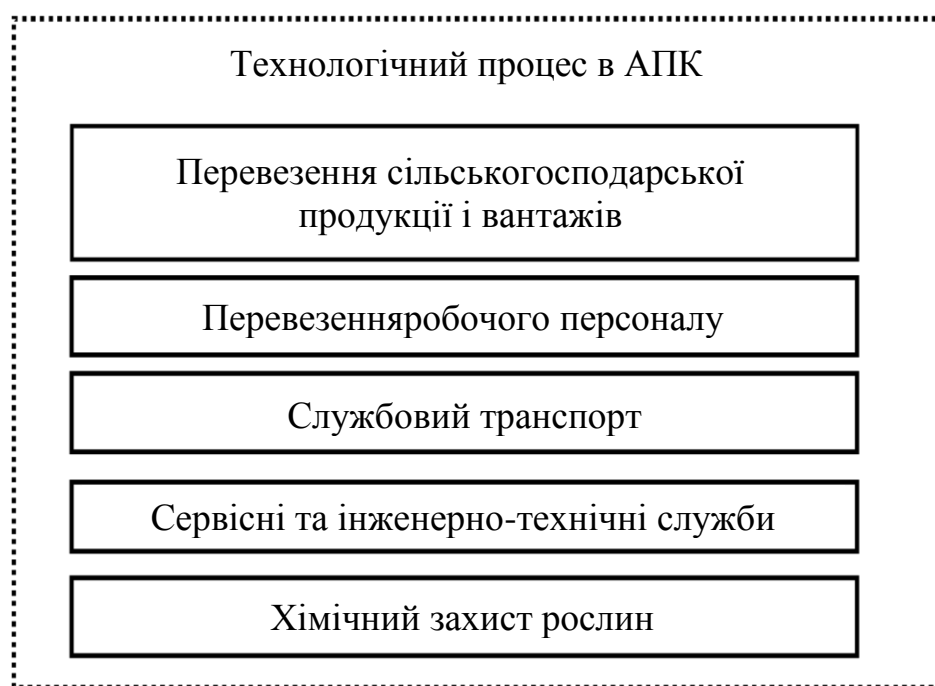


Рисунок 1.4 - Використання автомобілів УАЗ і ГАЗель в технологічному процесі АПК

Таким прикладом є програма «УАЗ - в кожен сільський будинок» розроблена, технічно вивірена і затверджена колегіальним рішенням адміністрації Ульяновської області і керівництва Ульяновського автомобільного заводу [4]. На дані автомобілі встановлюють двигуни внутрішнього згоряння з електронною системою управління [9]. Перевага даних автомобілів: доступна цінова категорія; напрацьований досвід з технічного обслуговування і ремонту; доступність запчастин; наявність діагностичного обладнання; хороша прохідність по бездоріжжю [4].

1.4 Технічний сервіс і оперативний контроль бензинових ДВЗ з електронною системою управління в умовах АПК

Авторами роботи – І. П. Терських, Н. І. Овчинниковою, В. М. Вільчинським відзначається, що з переходом до ринкової економіки і різноманіттям форм власності особливого значення набувають питання матеріально-технічного сервісного і дилерського обслуговування товаровиробників з приватною власністю на техніку і землю. На даній стадії розвитку фермерських господарств інженерною наукою запропонована наступна схема їх технічного сервісу.

1. Первинні сервісні підприємства та їх об'єднання:
 - а) Дилерське підприємство.
 - б) Спеціалізована сервісна майстерня крупномеханізованих господарств.
 - в) Універсальна ремонтно-обслуговуюча ділянка (пункт технічного обслуговування).
 - г) Ремонтно-обслуговуючі і постачальницько-побутові виробництва крупномеханізованих господарств.
2. Об'єднання фермерів у формі товариства (ремонтні майстерні, машинні двори).
3. Технічний сервіс на районному рівні (СТО, РТП).
4. Технічний сервіс на обласному рівні (ремзавод, Агроснаб).
5. Технічний сервіс на базі машинобудівних заводів.
6. Спеціалізовані ремонтні підприємства.
7. Товаропровідна мережу АГРОСНАБ.

У роботі А. Ф. Ахметова [12] виділено три основні варіанти організації спеціалізованого технічного сервісу в агробізнесі:

- Власні сервісні структури сільськогосподарських підприємств;
- Сервісні організації районного та регіонального рівнів, що залишилися на базі колишніх підприємств «Сільгосптехніки»;
- Комерційні підприємства, що здійснюють матеріально-технічне постачання і сервісне обслуговування на правах дилера заводу виробника. Сільськогосподарські підприємства, які мають в своєму парку автомобілі УАЗ і ГАЗ, в гарантійний період обслуговування здійснюють в дилерських центрах УАЗ і ГАЗ. Дилерські центри розташовані в межах міста і не мають представництва в районах. При цьому пробіг автомобіля до дилерського центру, може становити понад 500 км. Більш того в дилерських центрах розвинена концепція агрегатної заміни, що не дозволяє виробити ресурс вузлів і агрегатів.

За даними [15] забезпеченість господарств пунктами технічного обслуговування машин становить 54,8% від потреби, ремонтними майстернями колективних господарств - 97%, районними майстернями і станціями технічного обслуговування - 25%. На наявній ремонтно-обслуговуючій базі в господарствах виконується більше 80% всього обсягу робіт по забезпеченню ефективності експлуатації машин. Більшу частину, матеріально-технічної бази господарств становить система «Агроснабтехсервіс», проте вона орієнтована на дилерське обслуговування техніки наступних заводів виробників: ПО Красноярського комбайнового заводу, Мінського тракторного заводу, Бобруйськагромаш, Алттрак, Алтайдизель, Воронежсільмаш, Волгоградського тракторного заводу, Ярославського моторного заводу. Матеріально-технічна база ремонтних майстерень, гаражів, машинних дворів, потребує оновлення. Що стосується сучасного діагностичного обладнання для діагностики електронної системи управління ДВЗ автомобілів УАЗ і ГАЗ, то в багатьох господарствах, діагностичне обладнання відсутнє. Часто зустрічається діагностичне обладнання, таке як сканер-тестер ДСТ-12 або вбудовані бортові комп'ютери. Районні станції технічного обслуговування мають краще оснащення і сучасні мотор-тестери, сканери, автомобільні осцилографи.

Обслуговування на станціях технічного обслуговування призводить до утворення черг та супутніх проблем [11].

Частка участі водіїв в проведенні обслуговуючих робіт за останні роки зросла з 25 до 85% [12].

В даний час перевага віддається більш досконалій схемі управління процесами ТО, яка передбачає визначення стану вузлів шляхом інструментального контролю.

Найбільш перспективним напрямком є автоматизація управління процесом ТО за результатами діагностики вузлів і з'єднань, яке вимагає впровадження сучасних інформаційних технологій на всіх рівнях виробництва, починаючи з бортової електроніки машини і закінчуючи ІС, яка охоплює всі структури АПК [15]. При наявності технічних засобів і ефективних методів контролю, оперативне діагностування бензинових двигунів з електронним управлінням може повністю виконуватися силами і засобами сільськогосподарських підприємств [14].

1.5 Напрями розвитку діагностування ДВЗ динамічним методом

У 1968 році співробітниками СібіМЕ був запропонований і досліджений безгальмівний динамічний метод визначення потужності двигуна. Метод заснований на використанні перехідного процесу двигуна, полягає в вимірі кутового прискорення при вільному розгоні поблизу номінальних оборотів. Розгін двигуна здійснювався ступінчастою зміною подачі палива від мінімальної до максимальної величини. З того часу роботи з дослідження перехідних процесів дизельних і карбюраторних двигунів були продовжені не тільки в СібіМЕ, але і в інших вузах. Виявлено, що в даний час в проводяться НДР по вдосконаленню методів і технологій ТО на основі автоматизованого контролю технічного стану машин. Визначено пріоритетні напрями досліджень з метою вибору найбільш інформативних динамічних характеристик [12]. Перевага динамічного методу діагностики полягає у відсутності процесу розбирання ДВЗ, оперативності, можливості діагностики в польових умовах, універсальності, естетичності і відсутності суб'єктивності, при оцінці технічного стану ДВЗ, а також невисока вартість обладнання.

Розвиток динамічного методу привів до появи різних способів оцінки параметрів технічного стану ДВЗ [10, 15, 22]. На кожен діагностичний метод розроблений алгоритм проведення діагнозу, реалізований певним електронним приладом. У СіБІМЕ розроблений ряд приладів: ІМД-Ц, і його модифікації, Імпульс-І2, Електроніка ВПС, Цикл-1, Цикл-2 та інші, призначені для діагностики дизельних, карбюраторних ДВЗ і ДВЗ з турбонаддувом [15].

Варто відзначити, що вдосконалення динамічного методу розвивалося більшою мірою для дизельних двигунів [33]. Для бензинового двигуна розроблені методи, які дозволяють визначати загальний стан і стан окремих систем [13]. Основні діагностичні режими і параметри контролю бензинових ДВЗ представлені на рисунку 1.5.



Рисунок 1.5 - Схема режимних ознак динамічного методу для ДВЗ з іскровим запалюванням

У роботі В. А. Змановського, запропонований для оперативного контролю основних параметрів технічного стану автотракторних ДВЗ в умовах експлуатації

машин динамічний метод, заснований на аналізі динамічних характеристик вільного розгону і повного вибігу. Метод дозволяє без розбирання визначити стан двигуна за узагальненими показниками (ефективна потужність, максимальний крутний момент, коефіцієнт пристосовності, початок дії регулятора) і дати кількісну оцінку деяких параметрів технічного стану (циклова подача палива, кут випередження впорскування, нещільності ЦПГ і плунжерних пар) окремих циліндрів.

Робочими режимами діагностується двигуна є:

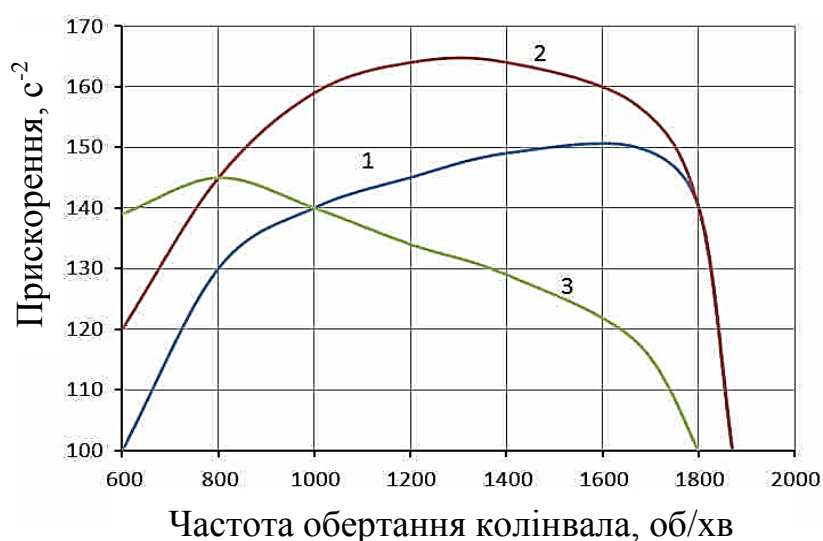
а) при визначенні узагальнених показників - вільний розгін на всіх і на половині працюючих циліндрів;

б) при кількісній оцінці параметрів технічного стану - вільний розгін на половині працюючих через такт циліндрів і повний вибіг.

В якості оціночних критеріїв при динамічному методі діагностики ДВЗ найбільш доцільно використовувати:

а) для визначення узагальнених показників - середні прискорення колінчастого вала за робочі цикли в режимі вільного розгону;

б) для кількісної оцінки параметрів технічного стану - середні кутові прискорення колінчастого вала на тактах розширення контрольованих циліндрів в режимі вільного розгону і повного вибігу.



1 - кут ранній (28° до ВМТ); 2 - кут нормальний (18° до ВМТ);

3 - кут пізній (9° до ВМТ)

Рисунок 1.6 - Залежність розгону двигуна від кута подачі палива

Для узагальненої оцінки досить мати практичний досвід [15], щоб за формою динамічної характеристики, при наявності еталонних кривих, отриманих для двигуна з нормальним технічним станом зробити висновок: завищена або занижена циклова подача палива, ранній чи пізній кут випередження впорскування палива, допустима або неприпустима нещільність ЦПГ і т.д. (рисунок 1.6)

В результаті досліджень встановлено, що контроль технічного стану окремих циліндрів можливий за умови синхронізації вимірювань кутових прискорень колінчастого вала з ВМТ циліндра, що перевіряється [15].

Мета досліджень В.Ф. Синього - розробка оперативних способів визначення ціліндрової і загальної герметичності камер згоряння двигунів за нерівномірності обертання колінчастого вала, що дозволяють значно знизити трудомісткість діагностування в умовах експлуатації.

Одним із завдань роботи було оцінити можливість визначення герметичності камер згоряння для кожного циліндра і двигуна в цілому по нерівномірності обертання колінчастого вала.

Аналіз проведених досліджень показав, що можна оцінити герметичність камери згоряння окремо кожного циліндра по моменту опору обертання, визначеного шляхом вимірювання середнього кутового прискорення колінчастого вала на робочому такті (поправкою на момент інерції двигуна) двома способами.

При першому способі результат дослідження виявив, що при постійній кутовій швидкості колінчастого вала (такт розширення) або на частині робочого такту при вибігу двигуна, коли момент інерції залишається незмінним між середнім значенням кутового прискорення, і дійсним тиском стиснення в в.м.т. існує лінійна залежність.

При прокручуванні основного двигуна з постійною швидкістю обертання колінчастого вала середнє значення прискорення уповільнення на такті стиснення буде дорівнювати середньому значенню прискорення розгону на такті розширення. Чим вище герметичність камер згоряння двигуна, тим більше нерівномірність обертання колінчастого вала в циклі. Для визначення загальної герметичності камер згоряння двигуна необхідно знайти середнє значення сигналу прискорення колінчастого вала при прокручуванні основного двигуна при постійних обертах.

Другий спосіб при вільному вибігу двигуна. За допомогою осцилографа Н-115 і пристрою «Нерівномірність» записували мітки в.м.т., зубів маховика, миттєві значень кутової швидкості і прискорення, а також їх середнє значення. Виміри проводилися за допомогою модернізованого приладу ІМДЦГ. Експериментальні дані обробляли на ЕОМ «СМ-4» і «Електроніка100 / 25».

Динамічний спосіб контролю бензинового двигуна в режимі вільного розгону був вивчений і більш детально представлений в роботі Клейна А. Т. [7].

Забезпечити роботу карбюраторного двигуна в режимі вільного розгону не представлялося можливим через різке збільшення подачі палива (різкого відкриття дросельної заслінки). Обумовлено це тим, що при різкому відкритті дросельної заслінки вступав в дію насос-прискорювач, подаючи в початковий момент паливо, кількість якого не залежить від швидкісного режиму і визначається тільки технічним станом насоса-прискорювача. Це неминуче спотворювало характеристику вільного розгону [33].

Для отримання динамічних характеристик, що максимально наближаються до статичних показників на всьому швидкісному діапазоні, був розроблений статико-динамічний спосіб випробування карбюраторних двигунів. Він ґрунтується на вільному розгоні і вибігу при періодичному відключенні і включенні запалювання, яке забезпечує роботу двигуна у вузькому інтервалі обертів $\Delta n = n_2 - n_1$, при фіксованому положенні дросельної заслінки (рисунок 1.7).

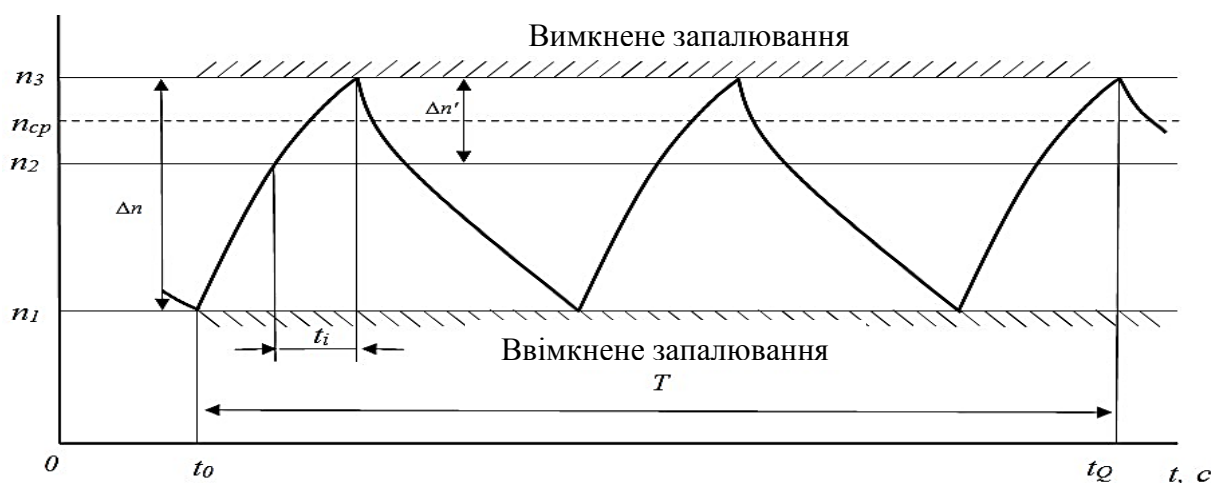


Рисунок 1.7 - Перехідні процеси карбюраторного двигуна при роботі в статико-динамічному режимі (дані А. Т. Клейна)

Випробування проводилися на бензиновому карбюраторному двигуні марки ГАЗ 51 з номінальною частотою обертання 2800 об/хв.

Прискорення визначають як середнє значення в заданому інтервалі кутової швидкості.

$$\varepsilon_{\text{cp}} = \Delta\omega / \Delta t, \quad (1.1)$$

де ε_{cp} - прискорення вільного розгону за цикл, с^{-2} ; Δt - час розгону, с ; $\Delta\omega$ - заданий діапазон кутової швидкості, с^{-1} .

Якщо вважати $\Delta\omega = \text{const}$ і час $T = \text{const}$ за який виконується задане число циклів вільного розгону Q , то середнє прискорення за всі цикли складе:

$$\varepsilon_{\text{cp}} = \Delta\omega Q / T. \quad (1.2)$$

Ефективні показники двигуна тим вище, чим більше періодичних циклів Q розгін-вибіг зробить за фіксований час T .

Розгін запалюванням має недолік, так як при випробуванні час вільного вибігу більший, ніж час вільного розгону, відбувається заливання свічок паливом, що підвищує ймовірність пропусків запалювання в циліндрі, а також потрапляння та накопичення палива в випускній системі, що призводить до вибухів. З причини того, що розгін забезпечується у вузькому діапазоні оборотів, це веде до зниження інформативності перехідних характеристик [33].

Переваги двигунів з електронним управлінням і примусовим уприскуванням палива - це можливість управляти запалюванням і паливоподачею [3, 27], тому режим вільного розгону двигунів з уприскуванням можливо задавати періодичним відключенням-включенням подачі палива при повному відкритті заслінки.

З огляду на переваги двигунів з електронною системою управління запропонований спосіб контролю в режимі циклічного розгону-вибігу [11]. Спосіб усуває недоліки способу запропонованого А. Т. Клейном, так як виключає подачу палива при вільному вибігу. Це досягається управлінням подачею палива, за рахунок включення і виключення електромагнітних форсунок при досягненні порогових значень частоти обертання колінчастого вала. Дросельна заслінка фіксується на час виконання тесту. Швидкісний діапазон задають в області номінальної частоти обертання. Потужність двигуна визначають кількістю вільних розгонів за фіксований

час в заданому інтервалі швидкісного діапазону. Порівнюють з еталонними значеннями і судять про технічний стан двигуна.

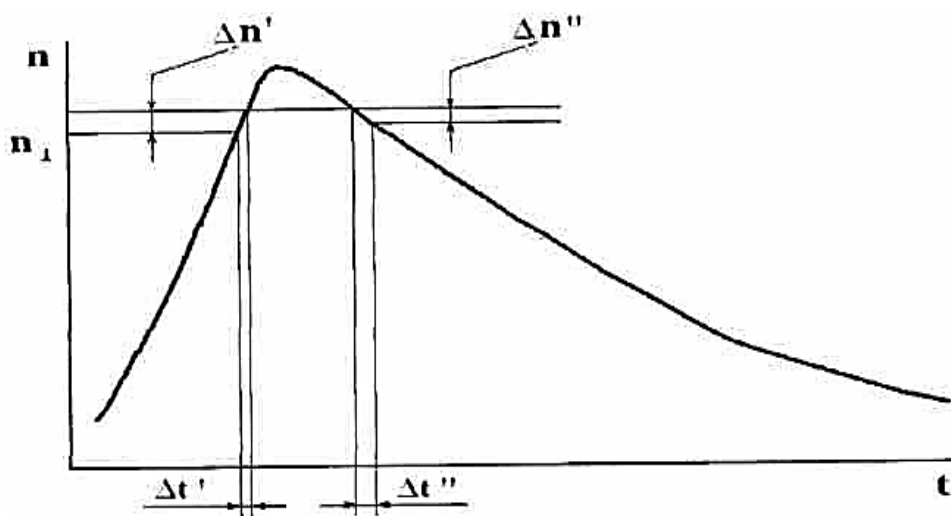
Даний спосіб також має недолік через вузький швидкісний діапазон, що призводить до зниження інформативності.

В роботі [8] розроблено систему діагностування двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління з питань зовнішньої швидкісної характеристики. У розробленій системі визначення зовнішньої швидкісної характеристики засноване на розгоні двигуна, за рахунок зміни положення дросельної заслінки, при цьому, реєструється сигнал датчика колінчастого вала. Дані для визначення прискорення вільного розгону засновані на дискретному перетворенні Фур'є сигналу ДПКВ. Діагностика двигуна заснована на застосуванні нечіткої логіки.

Оцінка стану проводиться за розвтом потужності двигуна, і визначити напрямок пошуку несправності в такому випадку важко.

Відомий спосіб визначення технічного стану двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління [16]. При випробуваннях всі виміри проводяться при примусово включеному електродвигуні вентилятора системи охолодження. Вимірювання на розгоні миттєвих значень кутових швидкості і прискорення колінчастого вала для кожного циліндра виконують з моменту часу досягнення певної частоти обертання колінчастого вала в циклі роботи двигуна. Фіксується значення частоти обертання колінчастого вала, при якій завершується вимірюваний цикл, при цьому в інтервалі необхідних частот обертання колінчастого вала стабілізується циклова подача палива і встановлюється постійний момент запалювання, що виключає детонацію в даному режимі (рисунок 1.8). Вимірювання на вибігу проводять для кожного циліндра на робочому ході і тактах стиснення з моменту часу досягнення колінчастим валом частоти завершення вимірюваного циклу на розгоні при відключеній подачі палива в усі циліндри. При досягненні двигуном певного значення частоти обертання колінчастого вала вираховують із прискорення розгону задані гармонійні вибігання на тактах стиснення всіх циліндрів крім того циліндра, який на розгоні на такті робочого ходу обраного циліндра знаходився на такті стиснення. Визначають середні значення отриманих величин в

кожному циліндрі за робочий хід його поршня, по їхньому значенню виявляють непрацюючі циліндри. Якщо періодично з'являються негативні значення прискорення розгону колінчастого вала на робочих тактах циліндрів, це говорить про пропуски займання. Ефективну динамічну потужність оцінюють за середнім значенням прискорення розгону на робочому такті кожного циліндра. Оцінку герметичності надпоршневого простору виконують за середнім значенням прискорення вибігу кожного циліндра.



$\Delta t'$ - цикл роботи двигуна на розгоні після досягнення колінчастим валом номінальної частоти ($n_{\text{ном}}$), $\Delta t''$ - цикл роботи двигуна на вибігу з моменту часу досягнення колінчастим валом завершення вимірюваного циклу при розгоні

Рисунок 1.8 - Інформативна смуга частоти обертання колінчастого вала на розгоні і вибігу

У Новосибірському ДАУ запропонований спосіб для визначення технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) поршневих двигунів внутрішнього згоряння в експлуатаційних умовах [17]. Спосіб полягає в вимірі тиску картерних газів в період вільного розгону двигуна. В процесі вимірювання тиску картер двигуна роз'єднується з атмосферою. Для оцінки технічного стану ЦПГ порівнюють вимірні показники тиску з нормативними значеннями. Даний метод вимагає установки додаткового датчика і часткової герметизації системи вентиляції картерних газів, що ускладнює його використання при дистанційному діагностуванні.

В роботі [22] пропонується поєднання методів для оцінки технічного стану двигуна. Наприклад, метод вимірювання прискорень колінчастого вала на холостому ходу, в тому числі при відключенні циліндрів, дозволяє виключати вплив системи пуску на результати діагнозу, а також оцінювати рівномірність крутних моментів по циліндрах на холостому ходу і виявляти причини відхилень нерівномірності моментів від нормативу. Якщо до перерахованих режимів додати режим розгону і вибігу колінчастого вала, то додатково з'являється можливість оцінювати технічний стан та інших систем двигуна.

Проведений аналіз літературних джерел дозволяє зробити висновок, що двигуни з електронною системою управління розширюють можливості використання динамічного методу, однак не вивчений циклічний режим розгону-вибігу з мінімальною пусковою частотою обертання колінчастого вала, який би дозволив розширити швидкісний діапазон і інформативність.

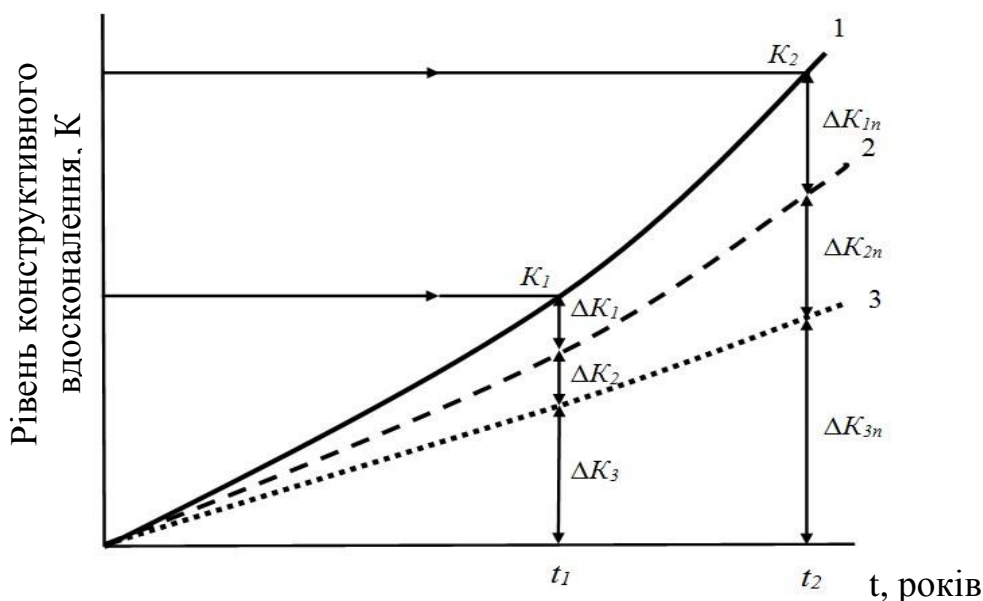
1.6 Види діагностування бензинових двигунів з електронною системою управління

Поняття діагностика електронних систем автомобіля в першу чергу пов'язано з появою на ринку автомобілів з електронною системою управління. У більшості випадків діагностика електронних систем автомобіля має ряд різних проблемних питань, далеко не завжди з мінімальним часом і витратами вдається визначити несправність ДВЗ автомобіля [27].

В роботі [48] автор зазначає, що значна кількість модифікацій електронних блоків управління (ЕБУ), на одній моделі автомобіля створює складності в сфері діагностики так як, необхідна розробка нових засобів діагностування, розробка нових протоколів, адаптація роз'ємів і діагностичних засобів та ін. 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.

Розглядаючи питання концепції вдосконалення методів і засобів технічного діагностування основних систем ДВЗ [48], виявлено, що сучасний рівень конструк-

тивного вдосконалення систем ДВЗ йде зі значним випередженням по відношенню до конструктивного вдосконалення засобів технічної діагностики (рисунок 1.9)



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

Рисунок 1.9 - Залежність конструктивного вдосконалення систем ДВЗ і засобів технічного діагностування К від часу t, років (Дані А. В. Гриценко)

На підставі літературних джерел [1, 51] можна виділити сучасні види діагностики систем автомобіля: бортова, стаціонарна, дистанційна.

1.6.1 Бортове діагностування двигунів внутрішнього згоряння з електронною системою управління

З 1996р. ргідно з нормативними вимогами OBD II, МПСУ повинна здійснювати діагностування не тільки системи управління але і роботу ряду систем двигуна [3].

Дослідження причин забруднення навколишнього середовища автомобілями, проведені за кордоном показали, що підвищений рівень викидів шкідливих компонентів припадає саме на автомобілі, що мають несправні двигуни внутрішнього згоряння [36]. Тому поряд з жорсткістю вимог до токсичності передбачається: контроль системи подачі палива; діагностування пропусків запалювання в циліндрах; перевірка системи рециркуляції відпрацьованих газів, перевірка ефективності роботи нейтралізатора; системи уловлювання парів палива і системи подачі вторинного повітря у випускную систему.

Діагностування може проводитися як при непрацюючому двигуні, так і при нормальному його функціонуванні. Методи діагностування засновані на перевірці правильності роботи ланцюгів, вимірюванні характеристик сигналів в певних точках схеми при заданих режимах роботи та порівнянні цих характеристик з встановленими нормами значеннями, а також аналізі відгуків при подачі тестуючих сигналів [3].

Однією з особливостей бортового діагностування двигуна є прагнення максимально використовувати для цих цілей інформацію, що отримується від датчиків системи управління, а в разі необхідності введення нових датчиків вибирають такі, інформація від яких може служити для вдосконалення системи управління і діагностування кількох дефектів. Це змушує постійно шукати нові методи і засоби діагностування і розробляти алгоритми з використанням нових діагностичних параметрів [36].

Однією з найважливіших функцій блоку управління є діагностика роботи всіх елементів системи управління [3, 35]. Для цього апаратна частина блоку містить спеціальні драйвери, що дозволяють на апаратному рівні не тільки визначати помилки в ланцюгах управління і повідомляти про них керуючу програму, а й забезпечувати захист внутрішніх елементів і ланцюгів блоку управління.

Однак головна роль в підсистемі самодіагностики відводиться керуючій програмі, що дозволяє контролювати параметри роботи системи. Програмні модулі діагностики визначають вихід значень параметрів за межі необхідних діапазонів і встановлюють ознаки помилок в пам'яті контролера [3, 35]. Помилки можуть визначатися за допомогою простих порівнянь виміряних величин з межами заданих

діапазонів або розраховуватися на основі більш складних процедур, що реалізують робочі моделі підсистем двигуна і автомобіля.

У разі постійних помилок керуюча програма здатна переходити до управління двигуном по резервним алгоритмам [35]. Ці алгоритми забезпечують з одного боку, захист двигуна і його підсистем, з іншого боку, гарантують роботу двигуна і рух автомобіля до станції техобслуговування. Розвиток ЕСУД більшою мірою визначено вдосконаленням саме системи самодіагностики керуючої програми, що дозволяє гарантувати виконання оголошених виробником автомобілів критеріїв токсичності, економічності, комфортності в роботі двигуна [36].

Найбільшого поширення набули вбудовані системи з мікропроцесорною обробкою, накопиченням і видачею інформації водієві в бортовий накопичувач і на штекер. Для автомобілів ГАЗ і УАЗ пропонується маршрутний бортовий комп'ютер Multitronics Di15G призначений для спільної роботи з наступними електронними блоками управління: МІКАС 5.4 201.3763; МІКАС 7.1 241.3763, 301.3763. 00-01, 302.3763. 00-01; МІКАС 5.4 209.3763 001; МІКАС 7.1 243.3763 000-01; МІКАС 7.2. У більш сучасному виконанні: Multitronics VG1031UP, ШТАТ «Газель» X-6 RGB, Gamma GF 231, Multitronics RI 500.

Бортові системи самодіагностики не в змозі на 100% точно визначити несправність. Внаслідок цього достовірність отриманої інформації коливається в межах від 30% до 80%.

Розвиток діагностування МПСУ йде за трьома основними напрямками:

1. Удосконалення алгоритмів діагностування, що дозволяє не тільки встановити факт несправності, але і прогнозувати відмови або вводити корекцію в разі зміни характеристик.
2. Збільшення числа діагностованих параметрів і глибини їх діагностування.
3. Розширення можливостей зовнішнього діагностування, в тому числі повноти виведеної інформації про дефекти і заходи їх усунення.

З появою смартфонів на платформі Android, iOS і Windows існує велика кількість діагностичних програм таких як: OBD Авто Доктор; Torque Pro; Car Scanner; OpenDiag; EOBD Facile; CVTz50; Сканматик.

Діагностика виконується за допомогою адаптерів стандарту OBD 2 і ELM 327. Застосування сучасних інформаційних технологій з використанням Bluetooth пристроїв дає можливість створювати досить надійні і працездатні діагностичні комплекси [39]. Існують різні варіанти підключення пристроїв для діагностики автомобіля: за допомогою кабелю, по Bluetooth і по Wi-fi.

Схема підключення смартфонів на платформі Android, iOS і Windows представлена на рисунку 1.10.

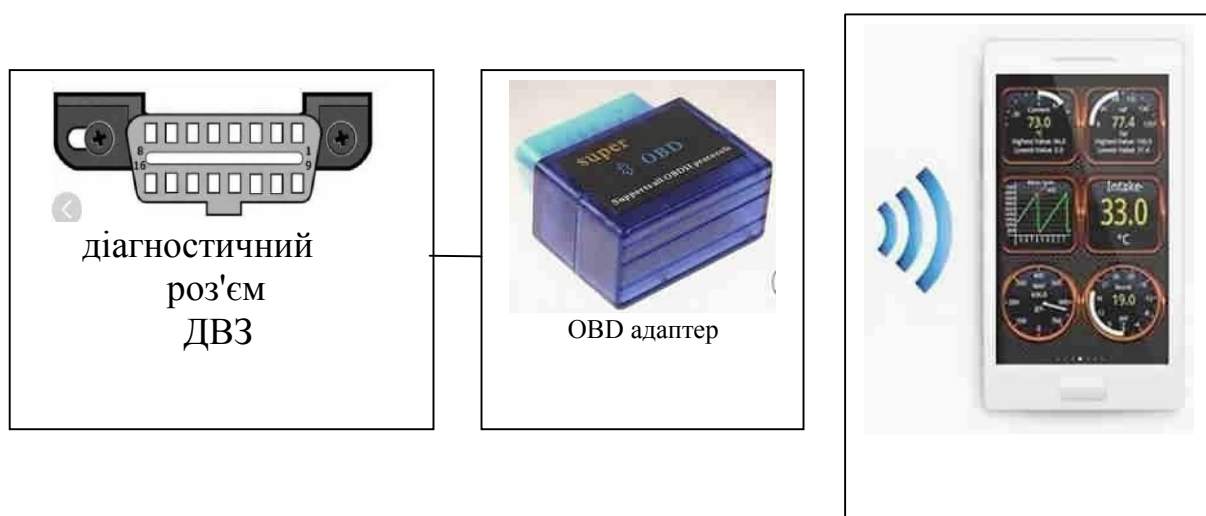


Рисунок 1.10 - Блок схема підключення мобільного телефону з ЕБУ через адаптер стандарту OBD 2

1.6.2 Стаціонарне діагностування бензинових двигунів з електронною системою управління

Діагностика в сервісному центрі менш обмежена ціною, але вона вимагає доставки автомобіля в будівлі сервісного центру перед тим, як може бути визначений кожен дефект або можуть бути зроблені коректувальні дії (наприклад, отримання ремонтних частин). Діагностика із застосуванням спеціалізованого обладнання (сканерів і мотор-тестерів) дозволяє підвищити достовірність отриманої інформації на відміну від бортової самодіагностики.

Сучасні пости діагностики ДВЗ повинні включати наступне обладнання [51]:

- сканер, мотор-тестер, осцилограф;
- стенд для перевірки електромагнітних форсунок;

- газоаналізатор;
- імітатори вихідних електричних сигналів різних датчиків;
- набір манометрів і перехідників для вимірювання тиску палива.

Наприклад, аналіз сільськогосподарських підприємств Вінницької області показав, що оснащення постів діагностики не відповідає сучасним вимогам для діагностики автомобілів оснащених бензиновими ДВЗ з примусовим уприскуванням палива, більш того в багатьох підприємствах такі пости і обладнання повністю відсутні [14].

Засоби та прилади для діагностики вітчизняних автомобілів з ЕСУД застосовувані в сервісних центрах можна розділити на три категорії:

- Сканери кодів діагностики;
- Тестери-сканер;
- Мотор-тестери.

Сканери кодів діагностики дозволяють зчитувати, розпізнавати і стирати коди несправностей, визначені системою самодіагностики блоку управління. Основна функція сканерів – зчитування і розшифровка кодів помилок з пам'яті несправностей блоків управління двигуном, автоматичною трансмісією, антиблокувальною системою гальм (ABS). Блоки управління так само оснащуються функціями, що дозволяють передавати фактичні величини (параметри, що вимірювані датчиками і розраховані блоком управління) через сканер для відображення на ПК. Ця функція дозволяє діагносту отримати додаткову інформацію для виявлення справжньої несправності. Так само за допомогою сканерів виконується узгодження і адаптація різних вузлів електронних систем автомобіля, скидання сервісних інтервалів і багато інших функцій. Скануючі пристрої, сьогодні наприклад, дозволяють виробляти не тільки зчитування діагностичних кодів несправностей і їх стирання, але і зчитування широкого спектру поточних параметрів роботи різних систем автомобіля, виробляти активацію і деактивацію будь-яких виконавчих пристроїв. Так само з'явилася велика кількість тестуючих пристроїв, що відрізняються різноманітністю тестів перевірки тих чи інших систем або параметрів двигуна [10].

Тестери-сканери можуть забезпечити візуалізацію системних параметрів електронного блоку, що визначають роботу двигуна, аж до системних змінних, що дозволяють судити про роботу алгоритму керуючої програми.

Мотор-тестери дозволяють забезпечити збір і відображення параметрів роботи двигуна і автомобіля незалежно від блоку управління і забезпечити контроль вихідних параметрів виконавчих пристроїв, які не контролюються електронікою ЕСУД. Мотор-тестер можливо розглядати як вимірювальний прилад з функціями сканера, що дозволяє діагностувати механіку двигуна. По суті, він є осциллографом, спеціально адаптованим для діагностики автомобільної електроніки, високовольтних ланцюгів систем запалювання і стану механіки двигуна. Мотор-тестери не прив'язані до будь-якої автомобільної марки або системи і це дозволяє діагностувати двигуни будь-яких типів і будь-які електронні системи. Здебільшого саме в мотор-тестерах сьогодні реалізуються давно розроблені методи і способи діагностування, що потребують складних обчислень і обробок [10].

Сьогодні на ринку сучасного автомобільного технічного сервісу пропонується найширший спектр апаратного діагностичного обладнання різних фірм як вітчизняних так і зарубіжних. У Росії першою на ринок вийшла фірма НВП «НТС». Перелік спеціалізованого обладнання, що виробляється цією фірмою, перекидає список аналогічних приладів інших фірм.

Все сильніше поповнюється різноманітність автомобільних осцилографів. З'являються пристрої, що включають в себе функції цілого діагностичного комплексу.

Кількість різних сканерів, тестерів, автомобільних осцилографів дуже різноманітна. У таблиці 1.1 наведено перелік деяких широко поширених діагностичних приладів.

Для перевірки системи живлення розроблені стаціонарні засоби діагностики [24] опис яких наведено нижче.

Для перевірки пропускної здатності електромагнітних форсунок в роботі Н.Ю. Веріютіна [24] досліджено і запропоновано безрозбірний спосіб (без зняття форсунок), заснований на реєстрації величини і форми імпульсів наведених хвиль від коливань палива як стислого рідкого середовища при відсіканні подачі палива

електромагнітними форсунками на працюючому двигуні. Устаткування необхідне для реалізації цього способу включає в себе: високочутливий датчик тиску рідини, резервуар для палива з демпферним пристроєм, набір уніфікованих штуцерів і перехідників для монтажу датчиків, пристрій реєстрації сигналу (АЦП або USB осцилограф), ЕОМ з програмним забезпеченням.

Таблиця 1.1 - Перелік сучасного діагностичного обладнання

Найменування	Модель	Виробник	Країна
Комп'ютерний мотор-тестер	«АВТОАС-ПРОФІ-3»	ТОВ НВП "АСЕ" Представник "ГАРО"	Росія
Мотортестер	MotoDoc II MotoDoc III	ЗАТ НВП "Лан Тек"	Росія
Мотор-тестер	Спрут-Тестер	НВО "Енергія"	Україна
Блок автомобільної діагностики	АМД-4АК	НПП "НТС" Представник "ГАРО"	Росія
Комплекс мотортестер	MT10K	НПП "НТС" Представник "ГАРО"	Росія
Мотор-тестер	USB AutoscopeII	Транстехсервіс	Росія
Осцилограф	USB Autoscope IV	-	Росія

Значення величин імпульсів наведених хвиль від коливань палива як стислого рідкого середовища, що створюються в системі подачі палива, дають інформацію про якість функціонування системи подачі палива. При наявності будь-якої несправності в паливній апаратурі значення величин імпульсів наведених хвиль від коливань палива змінюються. Таким чином, якщо в роботі паливної апаратури є відхилення, то значення величин імпульсів наведеної хвилі від коливань палива будуть відрізнятися від аналогічних значень нормально працюючої системи, що дозволить зробити висновок про технічний стан системи подачі палива двигуна.

Запропонований спосіб дозволяє визначити пропускну здатність електромагнітних форсунок з точністю 3% від номінального значення. Трудомісткість знижується в 3 рази в порівнянні зі способом тестування електромагнітних форсунок на стенді [24].

Недоліком даного способу є установка додаткових датчиків і спеціального обладнання, що обмежує його застосування при бортовому і дистанційному діагностуванні.

В роботі [13] запропонований і досліджений спосіб діагностування електробензонасосів системи подачі палива автомобіля. Спосіб полягає в вимірі зменшення частоти обертання колінчастого вала двигуна при почерговому відключенні кожного циліндра за допомогою електронного вимикача запалювання, яким припиняють іскроутворення в обраному циліндрі в необхідні моменти часу. При діагностуванні мотор-тестер який підключають до автомобіля, задає частоту обертання колінчастого вала двигуна, відповідну максимальній продуктивності електробензонасоса, підтримує її незмінне значення шляхом забезпечення максимальної тривалості упрскування, контролюють циклову подачу палива мотор-тестером, яка повинна приймати незмінне значення, вимірюють мотор-тестером частоту обертання колінчастого вала двигуна до моменту вироблення палива. Зниження частоти обертання вказує на недостатню продуктивність електробензонасоса. Додатково, для конкретизації несправностей електробензонасоса встановлюють прозору трубку в зливну магістраль і органолептичним методом контролюють наявність палива в зливному шлангу, його повна відсутність або переривчастий незначний потік вказують на знос електробензонасоса. Для конкретизації ступеня зносу електробензонасоса під'єднують до його клем зовнішній блок живлення з регульованою напругою, яку задають поспідовно 12, 10 і 8 В, контролюють мотор-тестером частоту обертання колінчастого вала двигуна для цих значень напруг і час вироблення палива електробензонасосом, будують характеристики залежності часу вироблення палива і частоти обертання колінчастого вала двигуна від напруги живлення електробензонасоса при 8, 10, 12 В, за нахилом побудованих характеристик в порівнянні з еталонними, визначають ступінь зносу.

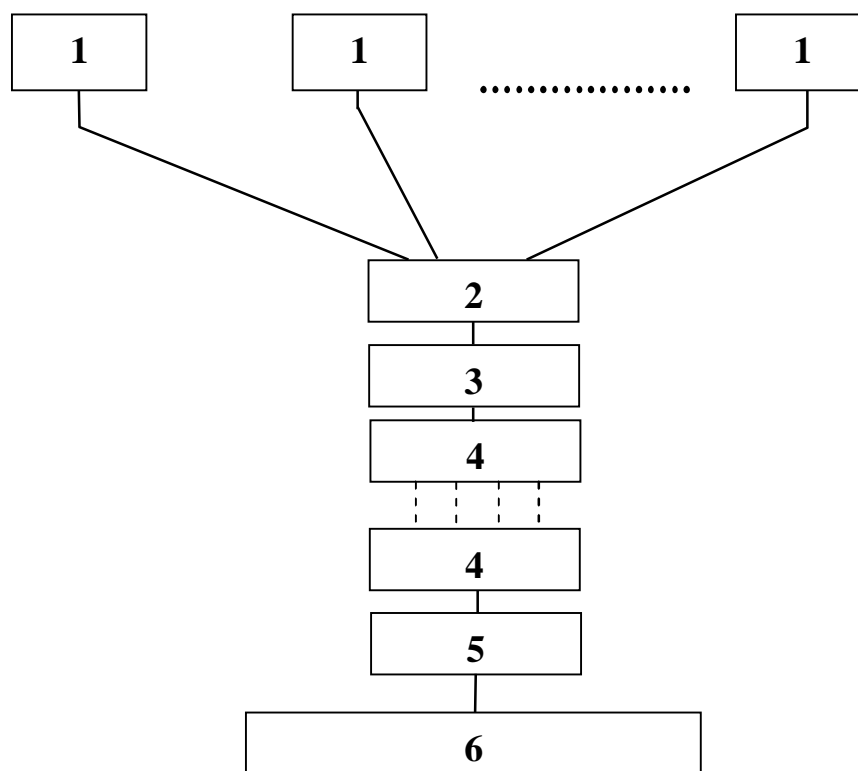
За даним способом можна зробити висновок: спосіб виключає використання манометра для вимірювання тиску, однак вимагає виконання операцій по монтажу і демонтажу зливних магістралей, що призводить до зниження оперативності способу.

Також для перевірки електромагнітних форсунок запропонований режим діагностування при 25 і 70% відкриття дросельної заслінки, відключенням трьох циліндрів і установкою максимально можливої подачі палива в працюючий циліндр. Діагностичним параметром є різниця частоти обертання колінчастого вала двигуна $\Delta n = n_{\text{НОМ}} - n_{\text{Т}}$.

1.6.3 Дистанційне діагностування бензинових двигунів внутрішнього згоряння з електронним управлінням

Дистанційне діагностування в розвинених країнах розвивається швидкими темпами і є перспективним напрямком [22].

Схема дистанційного діагностування в умовах сучасного діагностичного комплексу представлена на рисунку 1.11.



1 - контролер управління функціональними блоками; 2 - діагностичний роз'єм; 3 - пристрій перетворення сигналів; 4 - телекомунікаційні засоби зв'язку; 5 - пристрій для прийому-передачі сигналів; 6 - діагностичний комплекс з комп'ютером

Рисунок 1.11 - Схема дистанційного діагностування

Дистанційна діагностика має такі переваги:

- Прискорюється процес діагностики автомобілів, тому що відпадає необхідність переганяти їх до місця знаходження діагностичного центру. Одночасно виключаються транспортні витрати.
- З'являється можливість проводити діагностику автомобілів, які в даний момент не можуть самостійно пересуватися.
- Збільшується пропускна здатність діагностичного центру, тому що відпадає необхідність заїзду автомобіля на місце діагностики та підключення його до діагностичного комплексу.
- При установці додаткового обладнання на діагностичному комплексі з'являється можливість одночасної діагностики декількох автомобілів.
- Консультація водія, дистанційне стирання помилок.
- Зниження ціни діагностування шляхом економії часу на переїздах і витрат на первинну перевірку на місці двигуна інженером.

На ринку представлена система дистанційної діагностики CityPoint [37]. CityPoint, обслуговує кілька тисяч абонентів, є одним з постачальників телематичних послуг в Європі. Телематика - це передача даних між системою і об'єктами. Для забезпечення безпеки транспорту, вантажоперевезень, контролю витрат палива і логістики CityPoint використовує технології Глобальної супутникової навігаційної системи (ГЛОНАСС). CityPoint отримує всю діагностичну інформацію з автомобіля під час руху і може повідомити про необхідність технічного огляду у найближчого дилера, як по електронній пошті, так і повідомленнями в системі. Встановлене обладнання на автомобіль дозволяє отримувати інформацію з CAN-bus шини даних (J1939) і передавати її на Сервер CityPoint.

Залежно від марки машини, моделі і року випуску, система CityPoint може "зчитувати" і передавати для зручності користувача деякі або всі параметри. Всього близько 40 параметрів.

Також відома дистанційна технічна діагностика автомобіля «Стрекоза».

Компанією «ВІСТ Груп» (Україна), для моніторингу і контролю господарського транспорту і транспорту загального призначення пропонується система VG FLEET.

Система дозволяє в режимі реального часу вести контроль режимів експлуатації (швидкість автомобіля, частота обертання колінчастого вала) і стану обладнання (температура охолоджуючої рідини, вібрація), використовуючи як штатні датчики системи управління двигуном, так і додатково встановлені.

1.7 Безрозбірні динамічні методи контролю технічного стану бензинових двигунів внутрішнього згоряння реалізованих в сучасному діагностичному обладнанні

Вже зазначалося, що багато станцій технічного обслуговування автомобілів користуються продукцією НПП «НТС». НПП «НТС» охоплені всі електронні системи управління двигуном на заводах «Авто ВАЗ» і «ГАЗ».

У мотор-тестерах «Автоас-профі», МТ-10 реалізовані ряд тестів: "Розгін", "Механічні втрати", "Баланс потужності" і "Баланс індикаторної потужності».

Тест «Розгін» призначений для отримання даних, що дозволяють зробити непряму оцінку динамічних (потужних) характеристик двигуна, що працює без зовнішнього навантаження за часом або прискоренню колінчастого вала, при швидкому відкритті дросельної заслінки (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 - Вікно мотор-тестера МТ-10 в режимі тесту «Розгін»

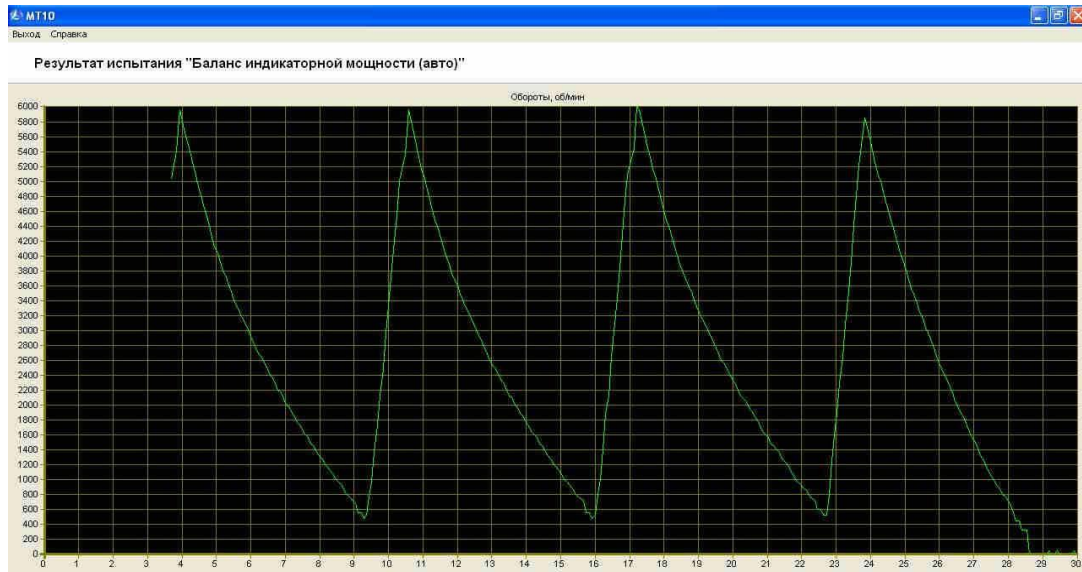


Рисунок 1.13 - Вікно мотор-тестера МТ-10 в режимі тесту
«Баланс індикаторної потужності»

Меншому значенню часу розгону - більшому прискоренню, відповідає більш високий крутний момент і, відповідно, більша потужність двигуна. Для порівняльної оцінки можна використовувати величини часу розгону і значення прискорення, раніше отримані при діагностиці автомобілів з однотипними двигунами.

Для підвищення достовірності вимірювання алгоритм проведення тесту передбачає цикл з трьох послідовних розгонів. Додаткові споживачі електроенергії повинні бути відключені. Двигун прогрітий. Встановлено значення початкової і кінцевої частоти обертання колінчастого вала, що визначають необхідний інтервал розгону.

Щоб уникнути поломок не рекомендується проводити тест на двигунах з явними механічними несправностями (привід механізму ГРМ, сторонні стуки і шум при роботі двигуна) і з підвищеним зносом, а також перевищувати граничну частоту обертання колінчастого вала, встановлену для даної моделі двигуна.

Тест «Баланс індикаторної потужності» проводиться в автоматичному режимі при фіксованому положенні дросельної заслінки (рисунок 1.13). Розгін вибіг здійснюється в заданому діапазоні частоти обертання колінчастого вала. По закінченню тесту виводяться дані, порівнюючи які з еталонними, роблять висновки про стан двигуна.

Тест «Баланс потужності» призначений для оцінки відносного внеску кожного циліндра в сумарну потужність двигуна. Тест проводиться шляхом послідовного автоматичного вимкнення циліндрів двигуна за допомогою блокування іскри у відповідному циліндрі. Виключений циліндр створює навантажувальний момент для двигуна. Частота обертання колінчастого вала при цьому знижується тим сильніше, чим більша потужність циліндра, що відключається і нижче потужність працюючих.

Відносний внесок кожного циліндра відображається в %. Значення 100% присвоюється циліндру, при блокуванні якого падіння оборотів досягає максимального значення (рисунок 1.14)

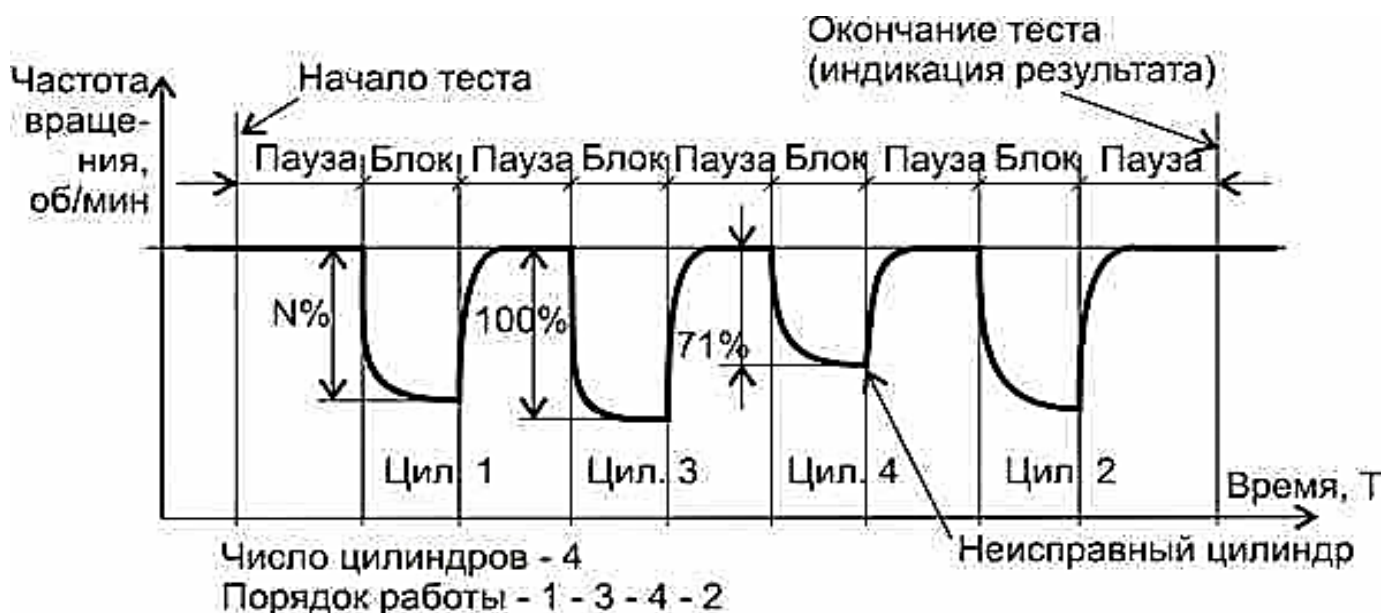


Рисунок 1.14 - Баланс потужності 4-циліндрового двигуна (вікно мотор-тестера)

Знижена ефективність роботи циліндра, вказує на можливу присутність якогось дефекту в системі живлення, запалювання, ЦПГ або механізмі газорозподілу. Частота обертання колінчастого вала не повинна перевищувати для 4-х циліндрового двигуна - 4500 об/хв. Якщо низька ефективність роботи циліндра зберігається і на інших (низьких, середніх або підвищених) оборотах двигуна, проводиться вимір компресії в даному циліндрі.

На додаток вищеописаним способам в мотор-тестері МТ-10 реалізований спосіб визначення моменту механічних втрат в режимі вибігу шляхом заміру часу, за

який змінюються обороти від «мах» до «мін», можливий вибір потрібного діапазону оборотів.

Тест «Пошук непрацюючих циліндрів» дозволяє оперативно виявити, або повністю не працюючих циліндрів, або циліндри, що працюють зі зниженою ефективністю. Оцінка роботи циліндрів виробляється шляхом візуальної оцінки графіка, що відображає короткочасне падіння частоти обертання колінчастого вала двигуна при послідовному відключенні (на 2 сек) по черзі всіх циліндрів двигуна, з проміжною витримкою між окремими відключеннями, рівній 2 сек.

Порядок проведення режиму.

- 1) Запустити двигун, при необхідності, підвищити навантаження на двигун, включивши габаритні вогні і ближнє світло фар.
- 2) Встановити потрібну частоту обертання колінчастого вала двигуна.
- 3) Запустити тест «Пошук непрацюючих циліндрів».

Тест може виконуватися багаторазово, при цьому графіки зберігаються з накладенням один на одного.

Цифровий осцилограф USB Autoscope IV дозволяє виробляти діагностику з метою пошуку несправностей в електронних системах автомобіля і механічній частині бензинових двигунів. Прилад підключається до ПК через USB-порт. USB Autoscope IV є модернізованим варіантом з удосконаленими аксесуарами і адаптерами і вбудованим в корпус приладу адаптером запалювання. Більшість датчиків отримують живлення від самого приладу, що полегшує їх використання та значно прискорює процес вимірювання сигналів. Використання осцилографа при діагностуванні вимагає високий рівень кваліфікації діагноста.

Результати опитування діагностів на станціях технічного обслуговування автомобілів, які користуються мотор-тестером МТ-10 показав, що закладені тести практично не використовуються так як не достатньо описуються умови проведення випробувань, некоректно виводяться результати випробувань, відсутні еталонні характеристики двигунів на які орієнтовані тести. Назва тесту «Баланс індикаторної потужності» і результат, який виводиться після закінчення тесту, не відображає суті назви.

На підставі ситуації, що склалася можна зробити висновок, що розробники заклали в діагностичне обладнання можливості для реалізації динамічного методу, з можливістю самостійного проведення досліджень і подальшого доопрацювання.

1.8 Висновки до розділу

1. У технологічному процесі АПК використовуються автомобілі малої і середньої вантажопідйомності, на які встановлюють бензинові ДВЗ з електронною системою управління. Виявлено, що сучасний рівень конструктивного вдосконалення систем ДВЗ йде зі значним випередженням по відношенню до конструктивного вдосконалення засобів технічної діагностики. Удосконалення електронних систем ДВЗ, дає можливості для реалізації різних тестових режимів при діагностуванні.

2. Несправності циліндропоршневої групи (ЦПГ) і системи живлення, суттєво впливають на ефективність роботи бензинових ДВЗ з електронною системою управління, і вимагають періодичного контролю.

3. Розвиток ефективних динамічних методів діагностики направлено в основному на дизельні двигуни і недостатньо вивчені для бензинових двигунів з електронною системою управління. Зокрема не вивчений розгін-вибіг з мінімальної пускової частоти обертання колінчастого вала.

4. Аналіз сучасного діагностичного обладнання показав, що існуючі методи і способи контролю технічного стану двигунів з електронним управлінням потребують подальшого вдосконалення. Більш того в більшості випадків методи і способи спрямовані на пошук несправностей датчиків системи управління, ніж на контроль стану механічної частини двигуна.

5. Розвиток смартфонів на платформі Android, iOS і Windows дозволяють за допомогою діагностичних програм і адаптерів стандарту OBD 2 і ELM 327 здійснювати діагностику електронної системи двигуна, використовуючи технологію Bluetooth і Wi-fi, і становлять великий інтерес для реалізації динамічного методу контролю технічного стану. З розвитком бортової і дистанційної діагностики необхідні діагностичні параметри, які мають достатню роздільну здатність і займають невеликий обсяг даних для передачі телекомунікаційними засобами зв'язку.

2 ТЕОРИТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ДИНАМІЧНОГО МЕТОДУ ДІАГНОСТУВАННЯ

2.1 Сутність динамічного методу контролю технічного стану ДВЗ

Перехідний режим двигуна можливий при миттєвому порушенні умов статичної рівноваги між індикаторним моментом і моментом опору. Змінити індикаторний момент можна шляхом миттєвої зміни подачі палива, а зміну моменту опору можна викликати за рахунок різкої зміни зовнішнього навантаження [6].

У загальному випадку це можна записати наступним виразом:

$$M_e = M_i - M_t - M_c - M_\varepsilon \quad (2.1)$$

де M_e - ефективний момент двигуна, Н · м;

M_i - індикаторний момент двигуна Н · м;

M_t - момент механічних втрат двигуна Н · м;

M_c - момент опору споживача, Н · м;

M_ε - витрати крутного моменту на збільшення кінетичної енергії всіх рухомих мас двигуна Н · м.

Режим вільного розгону представляє окремий випадок, що характеризується відсутністю зовнішніх опорів і навантаження на вихідному валу двигуна. На підставі цього:

$$M_i - M_t - M_\varepsilon = 0 \quad (2.2)$$

або

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_i - M_t, \quad (2.3)$$

де J - приведений до осі колінчастого вала момент інерції всіх рухомих елементів двигуна, Н · м²;

$d\omega/dt$ - кутове прискорення колінчастого вала, рад/с².

В силу того, що величина моменту інерції є величиною практично постійною для даного типу двигунів, процес оцінки ефективності потужності зводиться до вимірювання прискорення колінчастого вала при номінальній частоті обертання колінчастого вала [6].

З виразу (2.2) випливає, що весь надлишок індикаторного моменту M_i реалізується на збільшення кінетичної енергії рухомих мас двигуна M_ε .

Аналіз рівнянь показує, що зміна значень прискорення вільного розгону змінюється при зміні величини і характеру індикаторного моменту. Загальновідомо, що індикаторний момент і момент механічних втрат визначаються відповідними параметрами технічного стану двигуна. На підставі результатів досліджень, проведених в СибІМЕ, були виявлені параметри, які найбільшою мірою впливають на динамічні швидкісні характеристики ДВЗ. Істотний вплив роблять: циклова подача палива; кут випередження впорскування; нещільність циліндропоршневої групи (ЦПГ), а на характеристики повного вибігу: нещільність ЦПГ і «час - перетин» клапанів, тобто фактори, що впливають на тиск стиснення [56]. На підставі цього прискорення можна представити наступною функцією:

$$\varepsilon(\omega) = f(x_1; x_2 \dots x_k; x_1 x_2; x_1 x_3; \dots x_k x_i) \quad (2.4)$$

де $\varepsilon(\omega)$ - залежність кутового прискорення колінчастого вала від кутової швидкості;

x_1 - кількість палива, що подається в циліндри двигуна;

x_2 - нещільність циліндропоршневої групи;

x_3 - кут випередження запалювання.

Як зазначалося в роботі [22] прискорення вільного розгону як діагностичний параметр має складності, пов'язані з необхідністю чисельного диференціювання функції зміни кутової швидкості обертання колінчастого вала.

2.2 Обґрунтування діагностичного параметра для визначення технічного стану ДВЗ

Час робочого циклу двигуна характеризує процеси, які протікають в циліндрі двигуна [35]. Чим вище потужність двигуна і крутний момент, тим менше час розгону від мінімальних до максимальних обертів. Відомо, що час вільного розгону на багато менший часу вільного вибігу.

При вільному розгоні-вибігу час циклу $t_{\text{ц}}$, визначається як сума часу розгону і швидкодії (рисунок 2.1):

$$t_{\omega} = t_p + t_{\epsilon} = \frac{\Delta\omega}{\epsilon_p} + \frac{\Delta\omega}{\epsilon_{\epsilon}} = \Delta\omega \frac{\epsilon_p + \epsilon_{\epsilon}}{\epsilon_p \cdot \epsilon_{\epsilon}} \quad (2.5)$$

де t_p - час розгону, с;

t_{ϵ} - час вибігу, с;

$\Delta\omega$ - зміна частоти обертання колінчастого вала, об/хв;

ϵ_p - прискорення вільного розгону, рад/с²;

ϵ_{ϵ} - прискорення вільного вибігу, рад/с².

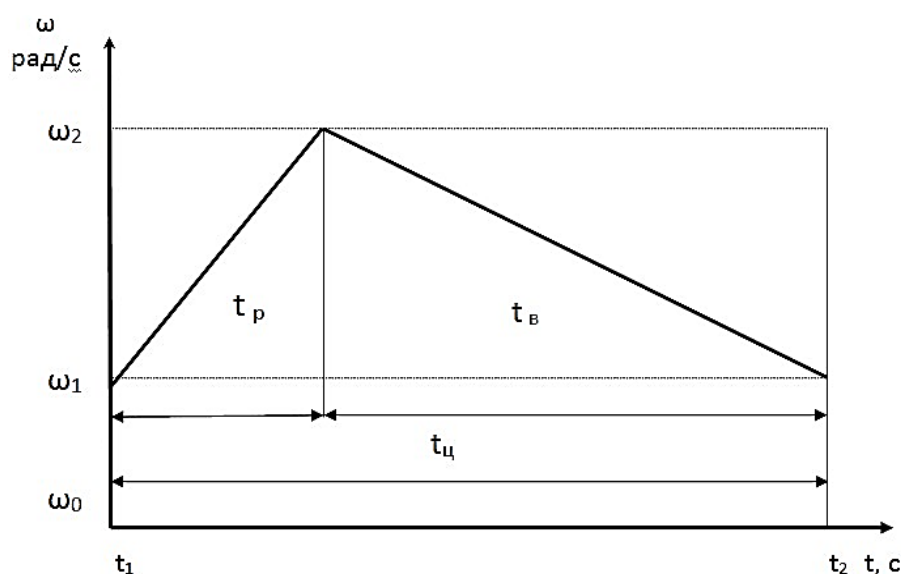


Рисунок 2.1 - Характеристика переходного процесу двигуна при роботі в режимі вільного розгону-вибігу

При технічно справному стані ДВЗ позначимо час циклу t_{ω} як $t_{\omega 0}$, при несправному стані $t_{\omega\alpha}$, і $t_{\omega\beta}$ тоді вираз (2.5) набуде вигляду:

$$t_{\omega 0} = \Delta\omega \frac{\epsilon_{p0} + \epsilon_{\epsilon 0}}{\epsilon_{p0} \cdot \epsilon_{\epsilon 0}} \quad (2.6)$$

де "0" - індекс нормального стану.

$$t_{\omega\alpha} = \Delta\omega \frac{\alpha\epsilon_{p0} + \epsilon_{\epsilon 0}}{\alpha\epsilon_{p0} \cdot \epsilon_{\epsilon 0}} \quad (2.7)$$

$$t_{\omega\beta} = \Delta\omega \frac{\epsilon_{p0} + \beta\epsilon_{\epsilon 0}}{\beta\epsilon_{p0} \cdot \epsilon_{\epsilon 0}} \quad (2.8)$$

де " α " - індекс значення відхилення осі нормального стану по ε_p ;

" β " - індекс значення відхилення осі нормального стану по ε_ε .

Позначимо відношення часу циклу нормального стану $t_{ц0}$ до часу циклу при зміненому стані $t_{ц\alpha}$ як $Kt_{ц}$ тоді:

$$Kt_{ц} = \frac{t_{ц0}}{t_{ц\alpha}} = \frac{\varepsilon_p + \varepsilon_\varepsilon}{\varepsilon_p \cdot \varepsilon_\varepsilon} \cdot \frac{\alpha \varepsilon_{p_0} \cdot \varepsilon_{\varepsilon_0}}{\alpha \varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{\alpha(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha \varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.9)$$

Аналіз виразу (2.9) показує, що при значеннях $1 < \alpha < 1$ змінюється значення часу $Kt_{ц}$, тобто відображає зміну технічного стану ДВЗ. Аналогічно можна зробити висновок, що при зміні $1 < \beta < 1$, $Kt_{ц}$ також є діагностичним параметром.

При зміні одночасно $\alpha \neq 1$ і $\beta \neq 1$ вираз (2.9) набуде вигляду:

$$Kt_{ц} = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} \quad (2.10)$$

Розглянемо можливі поєднання " α " і " β ":

1. $\beta < 1$ практично виключає стан $\alpha = 1$, таке можливо при зношеній циліндропоршневій групі (ЦПГ) або прогарі днища поршня. Згідно з даними [5] β може приймати крайні значення від 0,7 до 0,75. Відповідно, при зношеній ЦПГ і справній паливної системи, двигун не зможе розвивати задану потужність, і значення α буде знаходитися в діапазоні від 1,1 до 1,2.

2. $\beta > 1$, $\alpha > 1$, при дотриманні технології варіант $\beta > 1$ виключає проведення контролю. Такий варіант можливий у разі заклинювання двигуна.

3. $\beta = 1$, $1 < \alpha < 1$, такий варіант можливий при справній механічній частині двигуна, але з несправною системою живлення (завищена або занижена топлівоподача). Значення α буде знаходитися в діапазоні від 0,95 до 1,8 Розрахунок значення $Kt_{ц}$ виконували за виразом 2.9. Перший варіант:

$$Kt_{ц} = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{1,2 \cdot 0,7(558 + 123)}{1,2 \cdot 558 + 0,7 \cdot 123} = 0,85$$

Прискорення розгону двигуна ЗМЗ 4062.10 в діапазоні частоти обертання від 1000 до 5000 об/хв, розраховувалося за відомим залежностям 2.11-2.12:

$$\varepsilon_p = \frac{C}{J} (a + bc_n) \left[\frac{z\eta_M - z_\varepsilon}{z(1 - \eta_M)} \right] \quad (2.11)$$

$$\varepsilon_{\varepsilon} = \frac{C}{J} (a + bc_n) \left[\frac{z_{\varepsilon} - z\eta_m}{z(1 - \eta_m)} \right] \quad (2.12)$$

де
$$C = \frac{716,2V_h z}{225\tau};$$

J - приведений момент інерції двигуна, $\text{Н} \cdot \text{м}^2$;

z - число циліндрів двигуна;

V_h - робочий об'єм циліндра, м^3 ;

τ - тактність двигуна;

η_m - механічеській ККД;

a, b - постійні коефіцієнти, що залежать від типу двигуна;

c_n - середня швидкість поршня, м/с .

Розрахункове прискорення розгону 558 рад/с^2 , прискорення вибігу 123 рад/с^2 .

За другим варіантом:

$$Kt_{\varepsilon} = \frac{\alpha\beta(\varepsilon_{p_0} + \varepsilon_{\varepsilon_0})}{\alpha\varepsilon_{p_0} + \beta\varepsilon_{\varepsilon_0}} = \frac{1,8 \cdot (558 + 123)}{1,8 \cdot 558 + 1 \cdot 123} = 1,09$$

За розрахунковими даними видно, що значення Kt_{ε} змінюються при зміні технічного стану, проте встановити взаємозв'язок між діагностичним параметром і технічним станом ЦПГ і системи живлення, можливо тільки експериментальним способом.

2.3 Обґрунтування способу розгону двигуна з електронним управлінням при проведенні діагностування

В роботі [7] зазначалося, що переведення карбюраторного двигуна в режим вільного розгону шляхом різкого збільшення подачі палива (різкого відкриття дросельної заслінки) неприйнятне. Обумовлено це тим, що при різкому відкритті дросельної заслінки вступає в дію насос-прискорювач, подаючи в початковий момент паливо, кількість якого не залежить від швидкісного режиму і визначається тільки технічним станом насоса-прискорювача, що спотворювало характеристику вільного розгону. Для отримання динамічних характеристик, що максимально наближаються до статичних показників на всьому швидкісному діапазоні, був розроблений статико-

динамічний спосіб випробування карбюраторних двигунів. Він ґрунтується на вільному розгоні і вибігу при періодичному відключенні і включенні запалювання, яке забезпечує роботу двигуна у вузькому інтервалі обертів $\Delta n = n_2 - n_1 \approx \text{const}$ при фіксованому положенні дросельної заслінки.

Заміщення карбюраторних двигунів на двигуни з примусовим уприскуванням палива і електронним управлінням паливopoдачею дають нові можливості для здійснення тестових режимів з метою отримання діагностичної інформації, так як дозволяють управляти паливopoдачею. Однак вільний розгін не може бути заданий різким відкриттям дросельної заслінки через неоднозначний вплив перехідних характеристик.

Також в роботі [7] зазначалося, що при різкому відкритті дросельної заслінки різними операторами, час відкриття заслінки становило 0,05 ... 0,09 секунди. Вплив тривалості часу відкриття на перехідні процеси виявлено не було. Однак, це справедливо для карбюраторних двигунів. За даними [35] час відкриття дросельної заслінки можна порівняти з часом циклу роботи двигуна на холостому ході при частоті обертання колінчастого вала 900 хв^{-1} . Відомо, що цикловоє наповнення циліндрів є визначальним фактором для розрахунку кількості палива, що впорскується для двигунів з електронним управлінням. Так як, дросель дозволяє створювати штучний змінний гідравлічний опір в системі впуску з метою регулювання потужності двигуна, це призводить до зміни циклового наповнення в момент різкого відкриття дроселя [36].

У даній роботі пропонується здійснювати розгін-вибіг включенням і вимиканням подачі палива при фіксованому положенні дросельної заслінки в крайньому відкритому положенні [14]. Даний спосіб має перевагу перед розгоном різким відкриттям дроселя, оскільки дозволяє нижній поріг частоти обертання колінчастого вала знизити до мінімальних пускових, що неможливо здійснити при управлінні дросельною заслінкою. Також даний спосіб розгону-вибігу не спотворює початкову характеристику вибігання, оскільки заслінка фіксована і не створює змінний гідравлічний опір у впускному колекторі і найважливіше, виключає людський фактор при здійсненні розгону-вибігу. У зв'язку з тим, що неможливо або

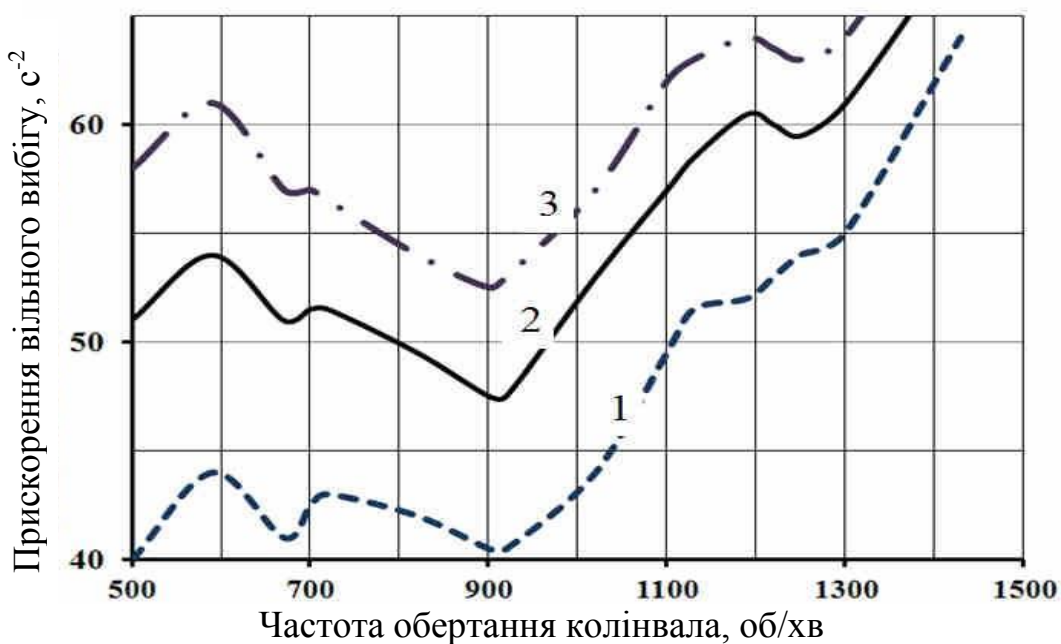
важко визначити аналітичним шляхом вплив способу вільного розгону на вихідні характеристики двигуна ЗМЗ 4062, залишається тільки експериментальний шлях.

2.4 Обґрунтування швидкісного діапазону при проведенні діагностування в режимі розгону-вибігу

У роботах [5, 6] зазначалося, що нещільність ЦПГ найбільший вплив на параметри перехідних характеристик дає на малих обертах як при розгоні двигуна, так і при повному вибігу. Для двигуна СМД -15 характеристика вибігу, що має знос ЦПГ на 25 ... 30% відрізняється від двигуна з нормальним технічним станом, а характеристика розгону - на 2 ... 3%. Прискорення вибігання зростає при збільшенні сумарної нещільності ЦПГ. Це явище пояснюється, якщо проаналізувати діаграми чистого стиснення і розширення при вибігу [65]. При ідеальній герметичності ЦПГ і при відсутності теплових втрат лінії стиснення і розширення будуть збігатися незалежно від швидкісного режиму. При збільшенні відносної нещільності тиск стиснення в циліндрі буде знижуватися і лінії стиснення будуть розташовуватися нижче лінії стиснення, відповідної ідеальній герметичності. В процесі вибігу це явище буде посилюватися за рахунок того, що процес стиснення і розширення в одному і тому ж циліндрі відбувається при різних кутових швидкостях колінчастого вала двигуна. При чому робота, що витрачається на стиснення завжди буде більша, ніж робота, що здійснюються стисненим газом на розширення.

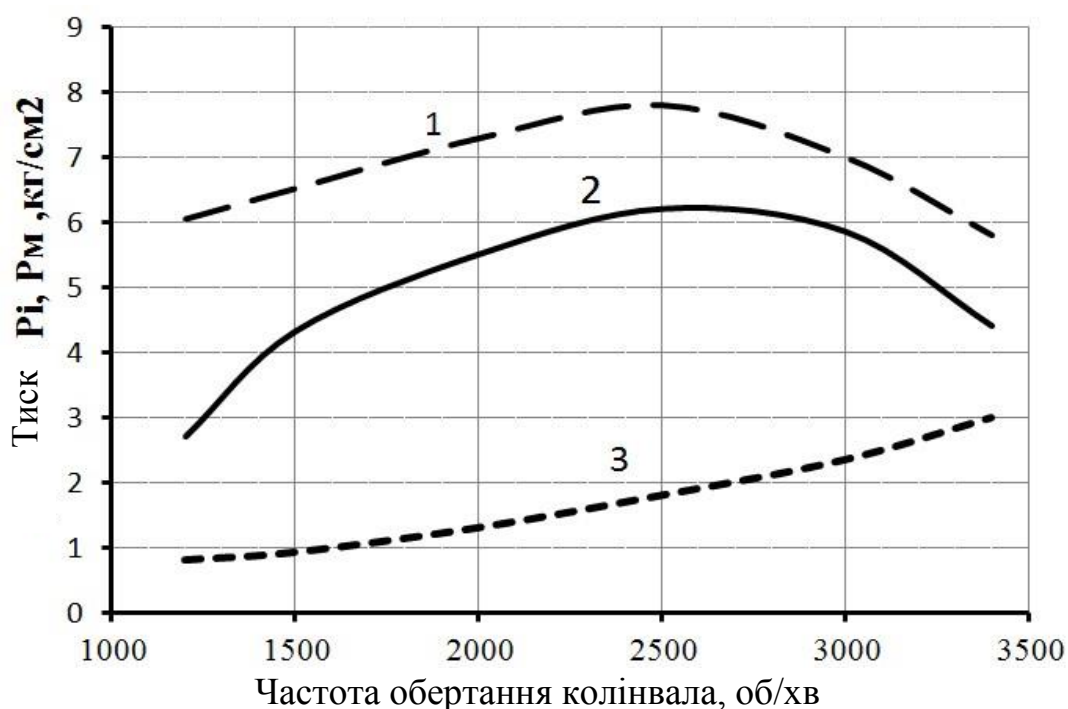
Зі зменшенням частоти обертання колінчастого вала збільшується приріст прискорення вибігу (рисунок 2.2), що за виразом 2.5 однозначно змінює час циклу розгону-вибігу. З огляду на що двигун працює в циклічному режимі розгону-вибігу, необхідно розглянути умови виходу двигуна в розгін з найменшою частоти обертання колінчастого вала після вибігу.

При збільшенні нещільності ЦПГ індикаторний момент зменшується через втрати заряду, втрата заряду тим більше, чим менше частота обертання колінчастого вала. Істотний вплив на індикаторний момент надає величина циклової подачі палива, рисунок 2.3. При збідненості паливної суміші, швидкість згоряння зменшується і як наслідок зменшується індикаторний тиск [19].



1 - $S = 0,92 \text{ мм}^2$, 2 - $S = 4,12 \text{ мм}^2$, 3 - $S = 9,62 \text{ мм}^2$

Рисунок 2.2 - Залежність прискорення вибігу від нещільності ЦПГ
(дані В. А. Змановського)



1 - Індикаторний тиск (P_i) при справній системі живлення; 2 - Індикаторний тиск (P_i) при збідненій суміші 0,75Gт; 3 - Тиск механічних втрат

Рисунок 2.3 – Середній індикаторний і механічний тиск карбюраторного двигуна в режимі вільного розгону (дані А. Т. Клейна)

При розгоні без прискорювального насоса індикаторний тиск на початковій стадії розгону знижується, що призводить до зниження індикаторного моменту майже в 1,5 рази, в порівнянні з розгоном з включеним прискорювальним насосом. При збідненості суміші (0,75Gt) індикаторний тиск знижується в 2,2 рази. Динамічний момент чутливий до бідних сумішей і більш інтенсивно зменшується, ніж статичний. На втрати заряду також впливає розкладання (старіння) моторного масла. За даними [9] при зміні моторного масла на двигуні ЯМЗ-238 витрата картерних газів зменшувалася більш ніж в два рази. Пояснюється, це тим, що свіже масло краще утримується на поверхні і ущільнює сполучення поршень-кільце-гільза.

Розрахувати зміну індикаторного моменту з мінімальної частоти обертання колінчастого вала після вільного вибігу при перехідних режимах двигуна не є можливим, це пояснюється відсутністю математичних залежностей багатьох параметрів від технічного стану двигуна. Існуючі залежності, дозволяють визначати індикаторні показники двигуна при номінальній частоті обертання двигуна [19]. У разі моделювання процесів ДВЗ приймається значний ряд припущень [5, 9].

Тому для обґрунтування факторів, що впливають на режим пуск-розгін, необхідно проаналізувати відмінність умов виходу двигуна в розгін після запуску стартером і після вільного вибігу. В. Н. Болтінській відзначав, що при високих пускових якостях пуск карбюраторного двигуна можливий при частоті обертання колінчастого вала, близькому до нуля [19].

Баланс моментів при пуску за допомогою стартера, можна записати у вигляді рівняння 2.11 [19]

$$M_n + \sum M_i > M_t + M_J \quad (2.11)$$

де M_n - момент пускового пристрою;

$\sum M_i$ - сума індикаторних моментів, що розвиваються окремими циліндрами;

M_J - момент, споживаний на опір кінетичної енергії рухомих частин, $M_J = 0$;

M_t - момент, що витрачається на подолання сил тертя рухомих частин.

При виході ДВЗ в розгін після вибігу $M_n = 0$, рівняння 2.11 набуде вигляду:

$$\sum M_i > M_t + M_J \quad (2.12)$$

При вибігу момент механічних втрат знаходиться за виразом 2.13

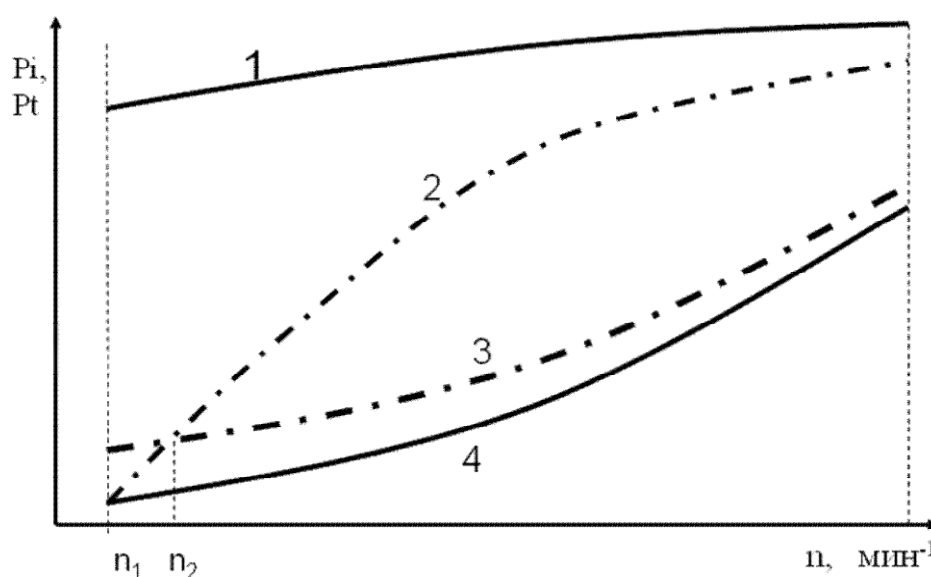
$$j \frac{d\omega}{dt} = -Mt,$$

$$M_t = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2.13)$$

де x_1, \dots, x_n - параметри технічного стану двигуна.

Порівняння виразів 2.11 і 2.12 показує, що ліва частина рівняння 2.11 за величиною буде більше, тобто вихід в розгін після запуску стартерів благоприємний.

Аналізуючи умови виходу двигуна у вільний розгін після вільного вибігу, можна зробити припущення, що зі зниженням частоти обертання до мінімальної пускової, при відхиленні технічного стану ЦПГ і системи живлення розгін не здійсниться, або призведе до збільшення часу розгону. Графічно дане припущення представлено на рисунку 2.4.



- 1 - індикаторний тиск (P_i) при справному стані системи живлення і ЦПГ,
 2 - індикаторний тиск (P_i) при несправному стані системи живлення і ЦПГ,
 3 - тиск механічних втрат (P_t) при несправному стані ЦПГ, 4 - тиск механічних втрат (P_t) при справному стані ЦПГ; n_1 - частота обертання колінчастого вала при якій двигун виходить в розгін при справному стані; n_2 - частота обертання колінчастого вала при якій двигун виходить в розгін при несправному стані.

Рисунок 2.4 - Характер зміни індикаторного тиску і тиску механічних втрат від різного стану ДВЗ

Якщо дотримуватися цього припущення, то при справному стані систем ДВЗ крива 1 (індикаторний тиск) не перетинає криву 4 (тиск механічних втрат) і вільний розгін можливий з мінімальної пускової частоти обертання двигуна.

У разі відхилення технічного стану крива 2 перетинає криву 3 і вихід двигуна в розгін неможливий нижче точки перетину кривих n_2 , так як порушується умова балансу моментів 2.12.

Можна зробити припущення, що частота обертання двигуна, з якої можливий вільний розгін буде діагностичним параметром.

3 ПРОГРАМА І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Мета і завдання досліджень

Виходячи з поставлених завдань дослідження і теоретичних передумов в вищевикладеному роздільно, необхідно експериментальне підтвердження можливості діагностування технічного стану ЦПГ і системи живлення двигуна за параметрами перехідної характеристики вільного розгону - вибігу. При цьому потрібно вирішити завдання експериментального дослідження:

1. Виявити вплив способу здійснення вільного розгона-вибігу двигуна на характеристику перехідного процесу;

2. Обґрунтувати способи імітації несправностей системи подачі палива і нещільності ЦПГ.

3. Зняти еталонну характеристику перехідного процесу вільного розгону - вибігу двигуна внутрішнього згорання з електронною системою управління.

4. Оцінити вплив датчиків системи електронного управління на характеристики перехідного процесу вільного розгону-вибігу:

- датчика температури охолоджуючої рідини;
- датчика детонації;
- датчика масової витрати повітря;
- датчика положення розподільного вала;
- датчика положення дросельної заслінки.

5. Встановити закономірності зміни перехідної характеристики вільного розгону-вибігу при спільних розрегулюваннях системи живлення і нещільності ЦПГ.

Згідно з програмою досліджень проведення випробування розбивається на два етапи. Перший етап необхідний для визначення способу здійснення вільного розгону-вибігу. Другий етап передбачає зняття характеристик для визначення взаємозв'язку між параметрами перехідної характеристики і технічним станом ЦПГ і системи живлення.

3.2 Вибір об'єкта досліджень

Вибір фізичного об'єкта проводився з урахуванням чисельності двигунів даної марки, а також можливістю поширення результатів для інших марок. В якості критерію подібності можна використовувати динамічний критерій

$$n = \frac{M_{кр}}{J_{пр} \omega^2} \quad (3.1)$$

де $M_{кр}$ - крутний момент двигуна, Н · м;

$J_{пр}$ - приведений момент двигуна, Н · м²;

ω - кутова швидкість колінчастого вала, с⁻¹.

Об'єктом досліджень обраний бензиновий двигун ЗМЗ-4062.10 з блоком управління Мікас 7.1 зі штатним обладнанням, оскільки є базовим двигуном з електронним управлінням в лінійці ЗМЗ. Технічна характеристика двигуна ЗМЗ 4602.10 представлена в таблиці 3.1

Таблиця 3.1 - Технічна характеристика двигуна ЗМЗ-4062.10

Технічні характеристики:	показник
Кількість циліндрів	4
Робочий об'єм циліндрів, л	2,28
Ступінь стиснення	9,3: 1
Діаметр циліндра, мм	92
Хід поршня, мм	86
Номінальна потужність при частоті обертання колінчастого вала хв ⁻¹ , кВт (к.с.)	106,6 (145) при 5200
Максимальний крутний момент при частоті обертання колінчастого вала хв ⁻¹ , Нм (кгсм)	200,9 (20,5) при 4000
Витрата масла на чад, % від витрати палива	0,3
Маса, кг	187
Октанове число бензину, не нижче	92

На даний двигун встановлені наступні датчики:

1. Датчик масової витрати повітря 0 280 212 014 «BOSCH» (Німеччина).

Встановлюється між повітряним фільтром і ресивером.

2. Датчик положення дросельної заслінки 406.1130000-01 резистивного типу, встановлений на дроселі. Сигнал з датчика служить для визначення режиму роботи двигуна (холостий хід, часткові навантаження або повна потужність).

3. Датчик синхронізації (положення колінчастого вала) 23.3847, встановлений на кришці ланцюга поблизу шківів колінчастого вала.

4. Датчик фази 406.3847050-05, встановлений на головці блоку циліндрів.

5. Датчик температурного стану двигуна 19.3828 напівпровідникового типу, встановлений на корпусі термостата.

6. Датчик температурного стану впускного трубопроводу 19.3828 напівпровідникового типу, встановлений на впускній трубі.

7. Датчик детонації «BOSCH», встановлено в зоні 4-го циліндра на блоці з боку впускної системи.

Виконавчі пристрої:

1. Чотири електромагнітних форсунки (ЕМФ) 6354 ZMZ DEKA1D для дозування подачі палива.

2. Регулятор холостого ходу (регулятор додаткового повітря) PXX-60 на базі двофазного моментного двигуна.

3. Електробензонасос СОАТЕ 50.1139 для створення тиску в паливній магістралі.

4. Свічки запалювання типу LR17УС в кількості 4-х штук.

5. Дві котушки запалювання 406.3705, встановлені на кришці клапанів.

Дослідження проводилося на двох експериментальних установках №1 і №2.

Щоб наблизити експериментальні умови до експлуатаційних, експериментальна установка комплектувалася всім штатним обладнанням, включаючи муфту зчеплення і коробку змінних передач.

Загальний вигляд установок № 1 і №2 представлений на рисунках 3.1 і 3.2. На рисунку 3.3 представлена схема експериментальної установки.

3.3 Вибір числа факторів, рівнів варіювання факторів і матриці планування експерименту

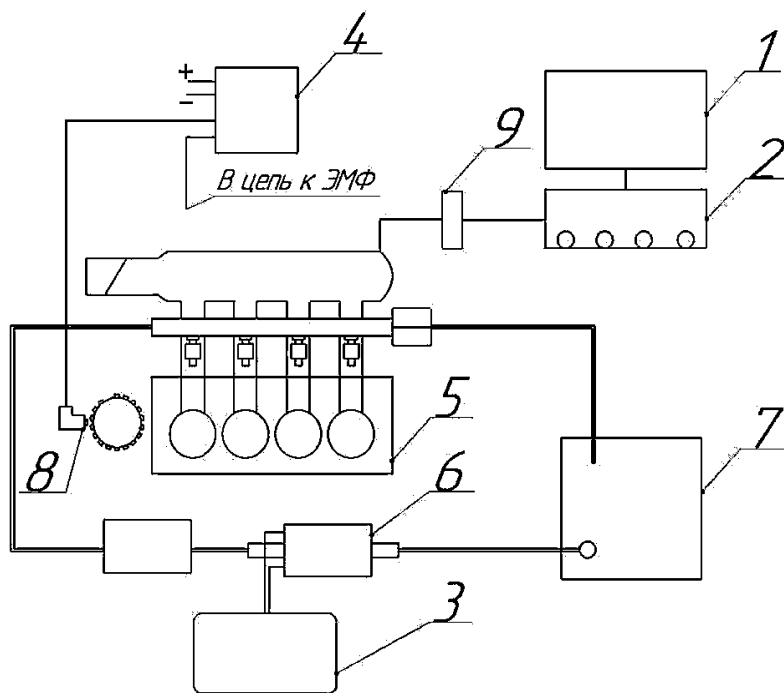
Виходячи з поставлених завдань, необхідно отримати експериментальні дані про вплив факторів на діагностичні сигнали.



Рисунок 3.1 - Загальний вигляд установки №1 для зняття еталонної характеристики



Рисунок 3.2 - Загальний вигляд установки №2



- 1 - персональний комп'ютер; 2 - мотор-тестер МТ-10 з блоком АМД-4;
 3 - джерело постійного струму; 4 - пристрій керування включенням і вимиканням форсунок; 5 - двигун ЗМЗ-4602.10 з блоком управління Мікас 7.1;
 6 - електробензонасос; 7 - паливний бак; 8 - датчик положення колінчастого вала;
 9 - діагностичний роз'єм двигуна.

Рисунок 3.3 - Схема експериментальної установки №2

Як функцій відгуку відповідно до ГОСТ 24026-80 обрані: частота обертання колінчастого вала і час циклу вільного розгону-вибігу.

Як фактори були обрані: тиск у паливній рампі системи живлення, відносна нещільність ЦПГ.

Після вибору факторів на базі аналізу літературних даних [6, 8, 22] було обрано такі рівні варіювання, які наведені в таблиці 3.2.

При виборі інтервалів варіювання факторів враховувалися наступні обмеження: Інтервал варіювання не повинен бути менше похибки, з якою фіксується фактор, а також не повинен бути занадто великим, щоб верхній і нижній рівні не виходили за межі області визначення фактора.

Таблиця 3.2 - Рівні варіювання факторів

Фактор	Рівень варіювання			
	Нижній (-)	Середній (0)	Верхній (+)	Інтервал варіювання
Тиск в рампі системи живлення (x1), (P) кПа	200	250	300	50
Відносна нещільність ЦПГ (x2), (S) мм ²	0,75	1,6	2,35	0,75

Для зручності запису умов експерименту і обробки експериментальних даних в подальшому рівні варіювання факторів записуються в кодованому вигляді: верхній рівень позначають (+), нижній рівень (-), а основний (0).

Кодоване значення фактора x_i визначають за виразом

$$x_i = \frac{x_i^H - x_i^O}{I_i}, \quad (3.2)$$

де x_i - кодоване значення і-го фактора;

x_{iH} - натуральне значення і-го фактора;

x_{iO} - натуральне значення основного рівня і-го фактора;

I_i - інтервал варіювання і-го фактора.

Так як конкретний вид зв'язку між параметрами технічного стану та відгуками був невідомий, як рівняння зв'язку обрана модель регресійного аналізу другого порядку (ГОСТ 24026-80).

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_{ii}x_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{i>j}^k b_{ij}x_ix_j, \quad (3.3)$$

де b_0 - вільний член рівняння;

b_i - коефіцієнт при лінійних членах;

b_{ii} - коефіцієнт при квадратичних членах;

b_{ij} - коефіцієнти взаємодії між факторами;

k - число факторів;

x_i, x_j - фактори.

Для оцінки всіх коефіцієнтів полінома другого ступеня, в силу невеликого числа факторів, проводимо дослідження за планом повного факторного експерименту, в якому дві змінні варіюються на трьох рівнях. Для визначення необхідного числа повторностей в досліді матриці планування експериментів необхідно задатися наступними величинами: довірчою ймовірністю і допустимою помилкою.

Збільшення кількості вимірювань навіть при незмінній їх точності призводить до збільшення надійності довірчих оцінок і зниження довірчого інтервалу для істинного значення вимірюваної величини

Матриця планування експерименту представлена в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 - Матриця планування експерименту

№ досліду	Фактор	
	Тиск в рампі системи живлення	Нещільність ЦПГ
1	+	+
2	0	+
3	-	+
4	+	0
5	0	0
6	-	0
7	+	-
8	0	-
9	-	-

У практиці наукових досліджень рекомендується застосовувати довірчу ймовірність $p = 0,95$, а припустиму похибку брати в частках середньоквадратичного відхилення ($\Delta = \pm\sigma$; $\Delta = \pm 2\sigma$; $\Delta = \pm 3\sigma$).

Виходячи з довірчої ймовірності і допустимої помилки ($\Delta = \pm 2\sigma$), вибирається по залежності, встановленій Романовським В.І., необхідне число повторностей в дослідах матриці, що дорівнює трьом.

3.4 Вимірювальна апаратура та обладнання

Для зняття характеристик перехідного процесу вільного розгону вибігу використовувався мотор-тестер МТ-10, який включає в себе персональний комп'ютер з завантаженим програмним забезпеченням МТ-10 (версія програмного забезпечення v4.1. 347), адаптер АМД-4А (рисунок 3.4).

Для аналізу параметрів програми управління двигуном, закладеним в ЕБУ і зміни калібрувань, використовувалося обладнання та програмне забезпечення (ChipTuning PRO 6) для професійного чіп-тюнінгу та діагностики вітчизняних і зарубіжних автомобілів виробництва «SMS-Software» (рисунок 3.5).

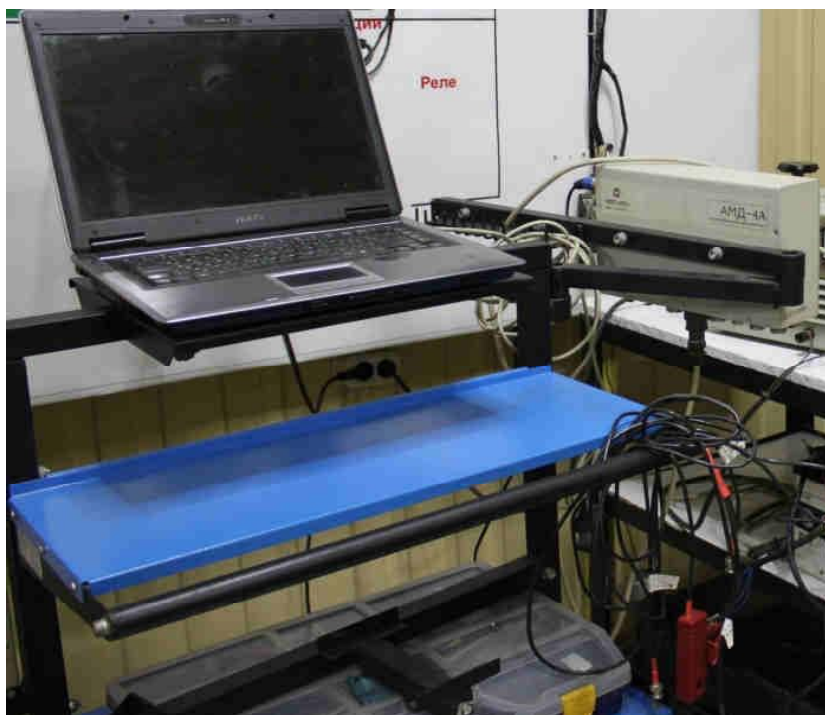


Рисунок 3.5 - Загальний вигляд діагностичного комплексу МТ-10



Рисунок 3.5 - Зовнішній вигляд програматора «ChipTuning PRO 6»



Рисунок 3.6 - Пристрій управління роботою бензинових форсунок

Для реалізації режимів розгін-вибіг застосовувався спеціально розроблений пристрій (рисунок 3.6), що дозволяє управляти включенням і вимиканням паливних форсунок при заданих порогових значеннях частоти обертання двигуна. Цей пристрій необхідний при знятті характеристик: кута випередження запалювання, циклового наповнення і тривалості впорскування, оскільки мотор-тестер МТ-10 не дозволяє одночасно знімати задані характеристики і забезпечувати режим розгону-вибігу з повністю відкритою дросельною заслінкою.



а



б

Рисунок 3.7: а - Мультиметр Defort DDM-1000,
б - Прилад для перевірки свічок запалювання Е - 203П.



а)



б)

Рисунок 3.8: а - Набір для діагностування паливної системи двигуна,
б-компресометр.

Для перевірки опору обмоток електромагнітних форсунок використовували мультиметр Defort DDM-1000 (рисунок 3.7 а), а для перевірки свічок запалювання прилад Е-203П (рисунок 3.7 б).

Для контролю тиску в паливній магістралі використовували набір переходників з манометром (рисунок 3.8 а). Компресію в циліндрах визначали компресометром (рисунок 3.8 б).

3.5 Спосіб імітації нещільності ЦПГ

Одне із завдань дослідження включає постановку експерименту для виявлення залежності параметрів перехідної характеристики вільного разгона-вибігу від різного стану циліндрпоршневої групи (ЦПГ). Аналіз способів імітації нещільності ЦПГ показав, що вони мають недолік, так як виникає необхідність розбирання та збирання ДВЗ при кожній постановці експерименту. Відомий спосіб, коли нещільність створюють послідовним зняттям компресійних кілець. Другий спосіб - свердління отворів в днищі поршня або в голівці циліндрів потрібного діаметру. Третій спосіб - зміна теплового зазору клапанів (клапан затиснутий) - не завжди можливо реалізувати на сучасних ДВЗ [25]. Тому необхідний спосіб імітації нещільності ЦПГ, який дозволив знизити трудомісткість і підвищити оперативність постановки експерименту,

Для імітації нещільності ЦПГ були проаналізовані можливі варіанти з урахуванням конструкції двигуна ЗМЗ-4062.10. Оскільки обраний двигун має конструктивні переваги (вісь свічки запалювання і вісь поршня паралельні і лише мають невелике зміщення один щодо одного), запропонований спосіб імітації ЦПГ, що базується в установці змінних жиклерів з каліброваними отворами в нарізний отвір для гвинта, що виконаний в днищі поршня (рисунок 3.9, 3.10).



Рисунок 3.9 - Спосіб установки змінних жиклерів в днище поршня через свічковий отвір двигуна ЗМЗ-4062.10



Рисунок 3.10 - Змінні жиклери для установки в днище поршня

Даний спосіб дозволяє з мінімальними часовими витратами змінювати нещільність циліндропоршневої групи.

Для підготовки двигуна установки №2 до випробувань, необхідно було виконати наступні роботи:

1. Злити масло і зняти масляний піддон.
2. Зняти високовольтні дроти і вивернути свічки запалювання.
3. Ввернути в отвір свічки першого циліндра кондуктор і кернером намітити місце для свердління отвору під жиклер. Операцію повторити для наступних циліндрів.
4. Зняти головку блоку циліндрів.
5. Згідно розмітці на днищі поршня просвердлити отвори, при цьому видалити стружку за допомогою пирососа.
6. Нарізати різьбу в днищі кожного поршня;
7. Встановити головку блоку циліндрів, масляний піддон і залити моторне масло.

При частковому розбиранні двигуна №2 визначали технічний стан газорозподільного механізму.

Найбільш достовірним і надійним показником оцінки технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) є величина відносної нещільності циліндра. Відносну нещільність можна визначити за максимальною величиною тиску стиснення за допомогою компресіметра, за величиною прориву газу, по величині

витрати масла, по перепаду тисків і за швидкістю зміни тиску в спеціальному бачку, з якого повітря під тиском проходить через нещільності камери в атмосферу [23].

Для визначення відносної нещільності ЦПГ при установці змінних жиклерів в днище поршня використовували прилад К-69М. Даний прилад дозволяє перевіряти технічний стан ЦПГ, прилягання клапанів газорозподілу і прокладки блоку. Прилад придатний для діагностування двигунів внутрішнього згоряння з діаметром циліндрів від 30 до 130 мм.

Порядок перевірки включав два етапи:

I - етап. Визначення відносної нещільності жиклерів.

1. З'єднати повітряну магістраль компресора з приладом, попередньо відрегулювати, тиск на повітряній магістралі до 0,4 МПа.

2. Обертанням рукоятки редуктора приладу встановити стрілку вимірювального манометра на нульову позначку, що відповідає тиску 0,16 МПа.

3. Вставити в швидкознімну муфту тарувальний штуцер з комплекту приладу і звірити показання манометра з величиною зазначеною в паспорті.

4. Зняти тарувальний штуцер з швидкознімної муфти.

5. Вставити в швидкознімну муфту штуцер з жиклером. Як тільки стрілка вимірювального манометра зупиниться, зробити відлік показників. Результати вимірювання занести в акт перевірки. Операцію провести для всіх наступних встановлених жиклерів.

II- етап. Вимірювання відносної нещільності при установці жиклерів в днище поршня двигуна.

1. Прогріти двигун до робочої температури за допомогою встановленого в систему охолодження електричного нагрівача.

2. Через отвір свічки встановити в кожен циліндр жиклер з відповідним номером.

Після установки жиклера в поршень визначалася відносна нещільність циліндра пневматичним калібратором, а також замірялась величина компресії компресометром. Отримані результати заносилися в таблицю.

3.6 Спосіб імітації несправностей системи живлення

З вищеописаного в розділах виявлено, що система живлення суттєво впливає на вихідні показники двигуна і його довговічність, тому необхідно провести випробування, імітуючи відмови системи живлення, які зустрічаються часто при експлуатації. До несправностей системи живлення, які зустрічаються при експлуатації відносяться: зниження продуктивності електробензонасоса, несправність регулятора, зниження пропускної здатності електромагнітних форсунок, розкид продуктивності форсунок. Розкид продуктивності форсунок впливає на роботу двигуна, так в сучасних системах управління немає такого зворотного зв'язку, який зміг би компенсувати його. Зворотній зв'язок по сигналах датчика кисню працює по усередненому для всіх циліндрів складу вихлопних газів. Для того, щоб регулювати суміш для кожного циліндра треба мати громіздку вихлопну систему і датчики кисню для кожного циліндра. Встановлено, що продуктивність навіть нових форсунок може помітно відрізнятись, і виходить за межу допустимих значень.

Спосіб імітації несправності системи живлення за рахунок програмної зміни часу відкриття форсунки, не призводить до зміни якості розпилювання, а лише зменшує циклову подачу. Такий спосіб не забезпечує наближення до реальних експлуатаційних станів паливної системи.

З огляду на особливості роботи електробензонасоса, можна імітувати несправність паливної системи, задаючи різну вхідну напругу на клеммах електробензонасоса, що буде призводити до зміни продуктивності форсунок і якості розпилювання палива.

На двигуни ЗМЗ-4062.10 встановлюють форсунки Bosch 0 280 150 560 (старого зразка, товсті), Bosch 0 280 158 107 (нового зразка, чорні, тонкі) Siemens VDO DEKA ID ZMZ номера 9261 або 6354). Всі форсунки взаємозамінні, так само як і електробензонасос «Bosch» (0580 461 044), ТАТЕ (Тюмень, 18.3780) або СОАТЕ (Старий Оскол, 50.1139), що встановлюються на автозаводі.

Для імітації несправності системи живлення, необхідно підібрати комплект електромагнітних форсунок і електробензонасос, який буде використовуватися при моторних випробуваннях. Для цього необхідно перевірити окремо форсунки і

електробензонасос, а потім отримати характеристику продуктивності форсунок від вхідної напруги на клеми бензонасоса.

3.6.1 Методика випробувань електромагнітних форсунок

Для проведення експерименту були взяті бензинові електромагнітні форсунки 6354 ZMZ DEKA1D.

Опір форсунок вимірювалося мультиметром Defort DDM-1000.

Перед установкою форсунок на двигун вони тестувалися на установці АТТ-GB6В додатково обладнаною для перевірки електробензонасосів. Додаткове обладнання включало: мірну колбу з ціною поділки 4 мл загальним об'ємом 1000 мл; блок живлення постійного струму з діапазоном регулювання напруги 0-25 В; регулятор тиску палива, манометр. Загальний вигляд стенду представлений на рисунку 3.11. Схема установки представлена на рисунку 3.12.



Рисунок 3.11 - Загальний вигляд установки для промивання і тестування бензинових форсунок і перевірки електробензонасосів.

Етапи підготовки форсунок до перевірки включали:

1. Миття форсунки знежирюючою рідиною для видалення зовнішніх забруднень.
2. Продувку форсунки фільтрованим стисненим повітрям для видалення залишків рідини. Фільтруючий елемент форсунки не витягувався.

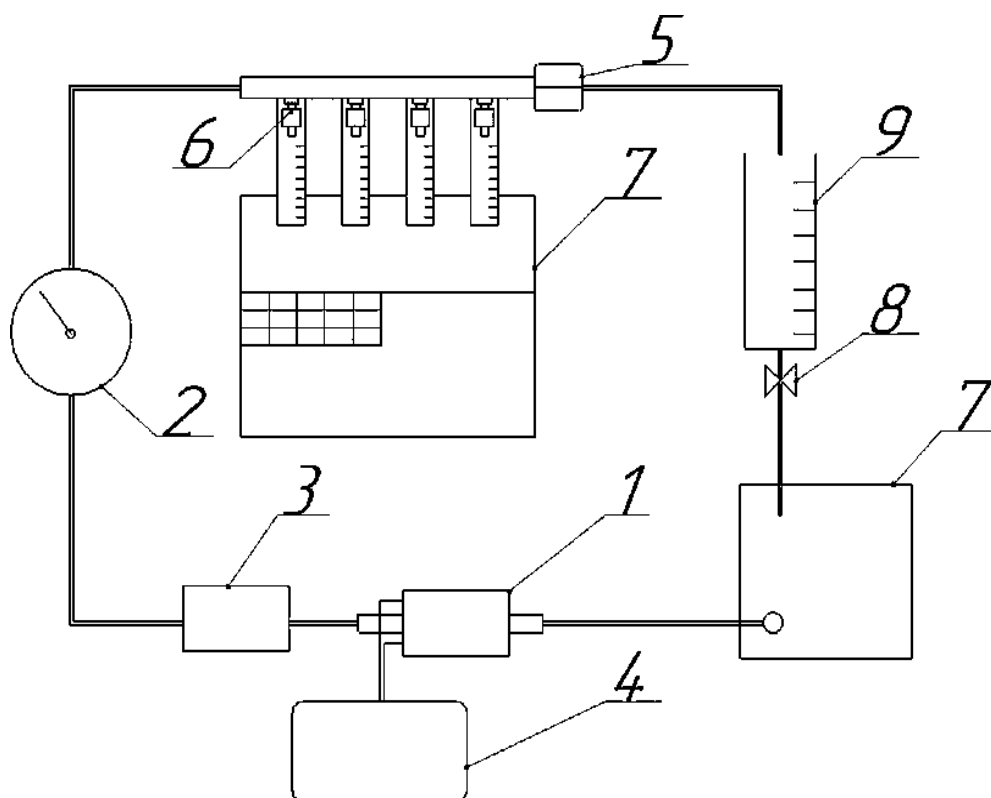
3. Органолептичні дослідження. Контроль наявності корозії або будь-яких твердих частинок у входному отворі форсунки, тріщин корпусу, стан ущільнюючих кілець.

4. Контроль ланцюга (опору) форсунок.

Етапи перевірки форсунок включали:

1. Візуальний контроль якості розпилу палива (бензину).
2. Кількісний контроль відхилень продуктивності форсунок.
3. Контроль герметичності форсунок.

При дослідженнях досліджувані форсунки були послідовно промарковані цифрами від 1 до 4.



- 1 - електробензонасос, 2 - манометр, 3 - фільтр тонкого очищення,
 4 - блок живлення постійного струму, 5 - регулятор тиску палива,
 6 - електромагнітні форсунки, 7 - стенд «AUTO-TECH ATT-GB6B»,
 8 - зливний кран, 9 - мірна ємність

Рисунок 3.12 - Схема установки для промивання і тестування бензинових форсунок і перевірки електробензонасосів

Перевірка герметичності форсунок

Тиск в рампі приладу встановлюється на 10-15% вище норми робочого тиску форсунки.

За допомогою секундоміра стенду встановлюється час операції дві хвилини.

Візуально спостерігається поява краплі на кінчику розпилювача форсунки. Допускається не більше однієї краплі в хвилину, якщо немає даних виробника.

Якість розпилювання

Якісним показником є кут конуса розпилювання і якість розпилу палива.

Форма факела розпилу залежить від конструкції форсунок. У штифтових форсунок це конус. Припустимо появу окремих струменів, проте важливо, щоб факели у всіх форсунок були однаковими, і паливо розпорошувалося на дрібні частинки без утворення крупних крапель. У форсунок з декількома отворами також неприпустима наявність окремих струменів.

Серед кількісних показників досліджувалися:

- статична продуктивність

$$q_{cm} = \frac{\Delta Q}{t} \quad (3.4)$$

- динамічна продуктивність

$$q_D = \frac{\Delta Q}{z} \quad (3.5)$$

де ΔQ - кількість палива, визначена за час виміру об'ємним способом, мм³;

t - час виміру, с;

z- число циклів спрацьовувань форсунки за час виміру t;

q_{cm} , q_D - статична і динамічна циклова подача палива.

Відносна продуктивність форсунок

У стенді очищення форсунок передбачений режим проливу повністю відкритої форсунки і режим перевірки модульованим сигналом по частоті відкривання і тривалості заповнення.

Нерівномірність подачі палива форсунками визначалася за формулою

$$\delta = \frac{2(q_{\max} - q_{\min})}{q_{\max} + q_{\min}} \cdot 100, \% \quad (3.6)$$

q_{\max} - подача палива форсункою з максимальною продуктивністю;

q_{\min} - подача палива форсункою з мінімальною продуктивністю.

Продуктивність форсунок визначалася об'ємним методом за допомогою мензурок. Заміри проводились з триразовою повторністю в автоматичному режимі за такими параметрами, наведеними в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Параметри тестування бензинових форсунок на установці АТТ- GB6B при визначенні динамічної продуктивності

Параметр тесту	тест 1	тест 2	тест 3
Частота обертання, хв ⁻¹	650	2250	4000
Час відкриття форсунки, мс	3	12	6
Час тесту, сек	120	60	30

3.6.2 Методика випробування електробензонасоса

Випробування електробензонасосів проводилися на установці, показаній на рисунку 3.11 в наступному порядку:

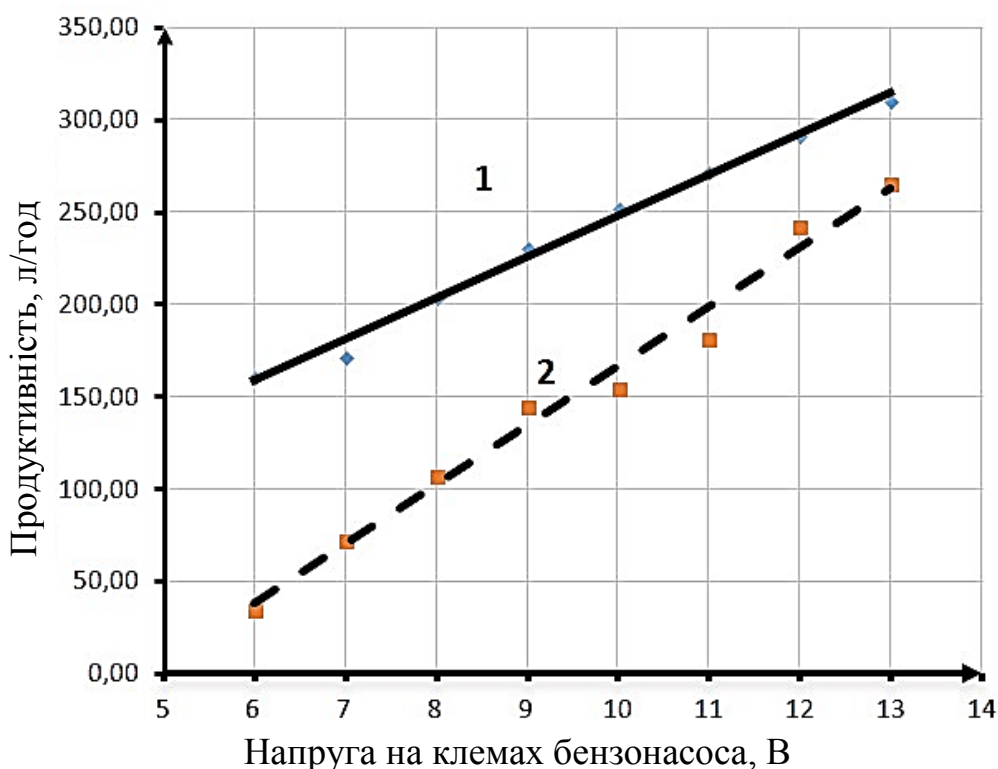
1. На клеми бензонасоса подали напругу 12 В.
2. Включили блок живлення і секундомір.
3. За градуйованою колбою визначили обсяг палива.
4. Злити паливо відкривши зливний кран.
5. На клеми бензонасоса подали напругу 11 В. Проводили випробування

згідно з пунктами 2, 3, 4 до напруги 5 В з кроком 1 В.

Випробування проводилися з триразовою повторністю.

За такою ж методикою знімали характеристику насоса з протитиском.

Отримані результати (рисунок 3.13) дозволяють зробити наступний висновок: нові бензонасоси мають відмінність по продуктивності.



1 - «Bosch» 0580 461 044; 2 - COATE 50.1139

Рисунок 3.13 - Залежність продуктивності електробензонасосів від різної вхідної напруги без протитиску

Для двигуна ЗМЗ 4062.10 за даними [48] продуктивність електробензонасоса повинна складати приблизно 132,6 л/год. Коефіцієнт запасу при цьому приймається рівним 1,4. З графіка видно, що продуктивність нових електробензонасосів різна, але це не призводить до зміни роботи двигуна, так як коефіцієнт запасу в обох випадках більше ніж 1,4.

3.7 Тарування комплекту форсунок і електробензонасоса для моторних випробувань

Перевірені форсунки і електробензонасос маркували і встановлювали на стенд. Тарування комплекту проводили в наступному порядку:

1. Включили блок живлення постійного струму.
2. На клеми бензонасоса подали напругу 13В.
3. Включали на стенді АТТ- GB6В режим проливу палива.
4. Вимірювали обсяг палива в мензурках стенду по секціях.

5. На клеми бензонасоса подали напругу 12 В.
6. Проводили випробування згідно з пунктами 3, 4 до напруги 5 В з кроком 1 В.

Випробування проводили з триразовою повторністю.

Тарований комплект (електробензонасос і форсунки) при моторних випробуваннях встановлювався на двигун.

3.8 Методика моторних випробувань для обґрунтування способу здійснення вільного розгону двигуна

У другому розділі було теоретично розглянуто і припущено, що спосіб здійснення вільного розгону буде впливати на вихідні показники двигуна, тому необхідне експериментальне підтвердження даного припущення. Випробування двигуна проводилися в наступній послідовності:

1. На двигун установки №1 встановлювали перевірені електромагнітні форсунки і електробензонасос.
2. Підключали в розрив паливної магістралі манометр.
3. До діагностичного роз'єму двигуна підключали мотор-тестер МТ-10.
4. Запускали двигун.
5. Двигун прогрівали до робочої температури.
6. Включали примусову роботу вентилятора.
7. На електробензонасос подавали напругу 12 В.
8. Запускали тест «Розгін». Проводили три розгони різким відкриттям дросельної заслінки із записом характеристики розгону.
8. Запускали тест «Баланс індикаторної потужності». Проводили при фіксованому положенні дросельної заслінки із записом характеристики розгону.
9. На електробензонасос подавали напругу 5 В.
10. Проводили випробування згідно з пунктами 8, 9.

3.9 Методика проведення випробувань для визначення впливу датчиків системи управління на характеристики вільного розгону

Методика проведення випробувань.

1. До діагностичного роз'єму двигуна підключали мотор-тестер МТ-10.
2. Запускали двигун.
4. Двигун прогрівали до робочої температури.
5. Включали примусову роботу вентилятора.
6. Запускали тест «Баланс індикаторної потужності». Проводили три розгони-вибіги з записом характеристик при відключеному датчику масової витрати палива.
7. Підключали датчик масової витрати повітря і відключали датчик температури охолоджуючої рідини. Проводили три розгони із записом характеристик при відключеному датчику температури охолоджуючої рідини.
8. Для всіх датчиків проводили випробування в тій же послідовності як в пункті 7.

Підготовка двигуна до випробувань включала наступні етапи:

1. Заправка паливом (була куплена контрольна партія палива, марки Аі-93 на одній заправці, що використовувалося на установці №1 і №2 весь період випробувань).
2. У двигуни установок № 1 і №2 заливалося моторне масло однієї марки і в'язкості згідно керівництва по експлуатації.
3. Перед кожним випробуванням на двигуни установок №1 і №2 встановлювали один і той же комплект датчиків і виконавчих пристроїв (датчик витрати повітря, датчик детонації, регулятор додаткового повітря, електробензонасос, котушки запалювання, високовольтні дроти, свічки запалювання, ЕБУ).
4. Згідно керівництву по експлуатації проводили контроль: рівня масла; рівня охолоджуючої рідини; опір високовольтних проводів і котушок запалювання; перевірка свічок запалювання на стенді; стан АКБ і генератора; натяг приводного ременя.
5. Контроль роботи двигуна із застосуванням мотор-тестера МТ-10

3.10 Методика проведення випробувань при спільному впливі факторів

Випробування проводили в послідовності відповідно до матриці планування експерименту. На двигун установки №2 встановлювали комплект форсунок і електробензонасос з фільтром тонкого очищення, які були попередньо таровані. У паливну магістраль між електробензонасосом і паливною рампою підключали манометр. До клем електробензонасоса підключали блок живлення постійного струму. До діагностичного роз'єму електронної системи управління двигуном підключали мотор-тестер МТ-10.

Дослід №1 проводили в наступному порядку:

1. Викрутити свічки запалювання і встановити жиклери з визначеною нещільністю в днище поршня кожного циліндра.
2. Подати з блоку живлення напругу на клема електробензонасоса. Регулюючи, встановити тиск по манометру 300 кПа.
3. Запустити тест «Баланс індикаторної потужності» і встановити частоту обертання: нижнього порога 350 хв^{-1} , верхнього 5500 хв^{-1} .
4. Запустити і прогріти двигун до робочої температури.
5. Запустити тест «Баланс індикаторної потужності» і перевести дросельну заслінку в крайнє положення і утримувати до закінчення тесту (якщо двигун не вийшов в розгін з заданої частоти обертання, збільшити частоту до моменту виходу в розгін).
6. Зберегти результати тесту.
7. Повторити тест три рази.

У такій же послідовності проводили вимірювання для інших дослідів, змінюючи тиск в паливній рампі і нещільність ЦПГ згідно матриці планування експерименту.

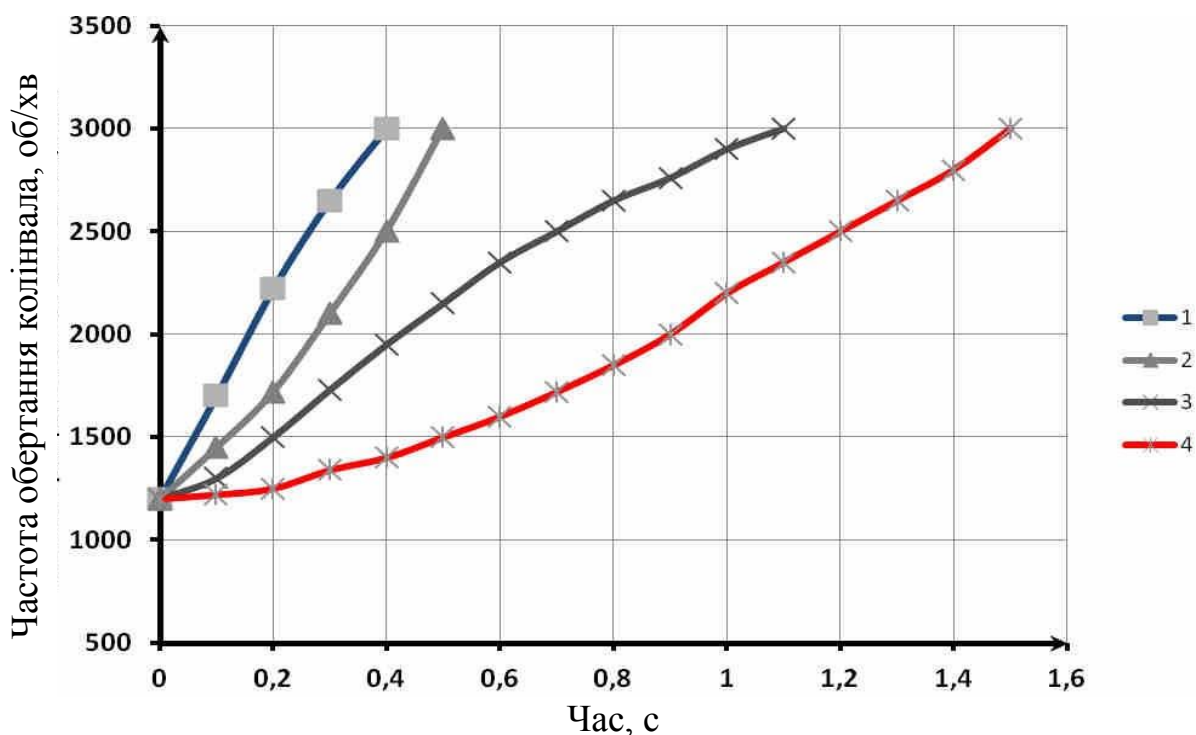
Під час випробувань температура навколишнього середовища перебувала в діапазоні $22 \dots 25 \text{ }^\circ\text{C}$, вологість повітря 85%, атмосферний тиск - 101,3 кПа.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Результати моторних випробувань для обґрунтування способу розгону бензинового двигуна з електронною системою управління

Згідно з метою першого етапу досліджень необхідно було виявити вплив способів здійснення вільного розгону на перехідні характеристики двигуна.

В результаті експериментального дослідження, встановлено, що спосіб здійснення вільного розгону двигуна істотно впливає на вихідні параметри перехідної характеристики двигуна (рисунок 4.1).



1 - розгін дроселем, 2 - розгін з фіксованим дроселем (динамічна продуктивність форсунок 6 л/год); 3 - розгін дроселем, 4 - розгін з фіксованим дроселем (динамічна продуктивність форсунок 5 л/год).

Рисунок 4.1 - Відгук частоти обертання колінчастого вала в залежності від способу здійснення розгону

При розгоні дроселем характер вільного розгону відрізняється від характеру розгону при фіксованому дроселі. При продуктивності форсунок 6 л/год в діапазоні

частоти обертання від 1200 до 3000 хв^{-1} , час розгону - 0,40 с (розгін дроселем) і 0,45 с (фіксований дросель).

При продуктивності форсунок 5 л/год в діапазоні частоти обертання від 1200 до 3000 хв^{-1} , час розгону – 1,12 с (розгін дроселем) і 1,5 с (фіксований дросель). Дані результати дозволяють зробити висновок, що розгін при фіксованому дроселі більш чутливий до зміни технічного стану паливної апаратури.

Отриманий характер перехідної характеристики вільного розгону двигуна ЗМЗ 4062.10 з електронним управлінням такий, як і карбюраторного двигуна дослідженого в роботі [32]. При розгоні дроселем, неможливо встановити нижній поріг частоти обертання колінчастого вала нижче частоти холостого ходу, що знижує інформативність способу.

Спосіб розгону включенням - вимиканням подачі палива при фіксованому положенні дросельної заслінки в заданому інтервалі кутової швидкості, є більш інформативним, ніж розгін різким відкриттям дросельної заслінки. При даному способі виключається вплив оператора (людського фактора) і виконання тесту виконано в автоматичному режимі.

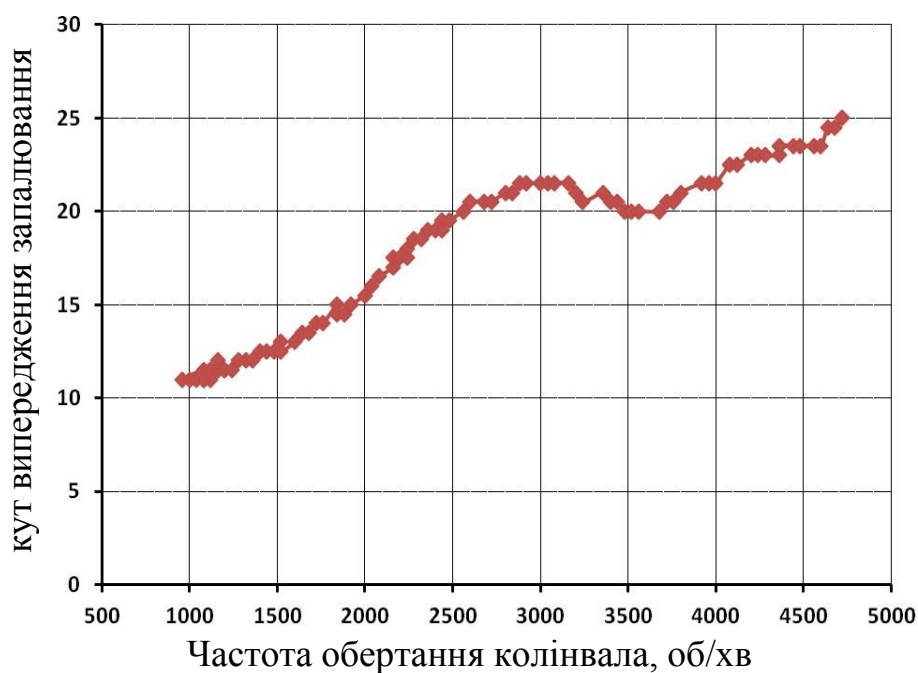


Рисунок 4.2 - Зміна кута випередження запалювання при різкому відкритті дросельної заслінки і при фіксованому положенні заслінки

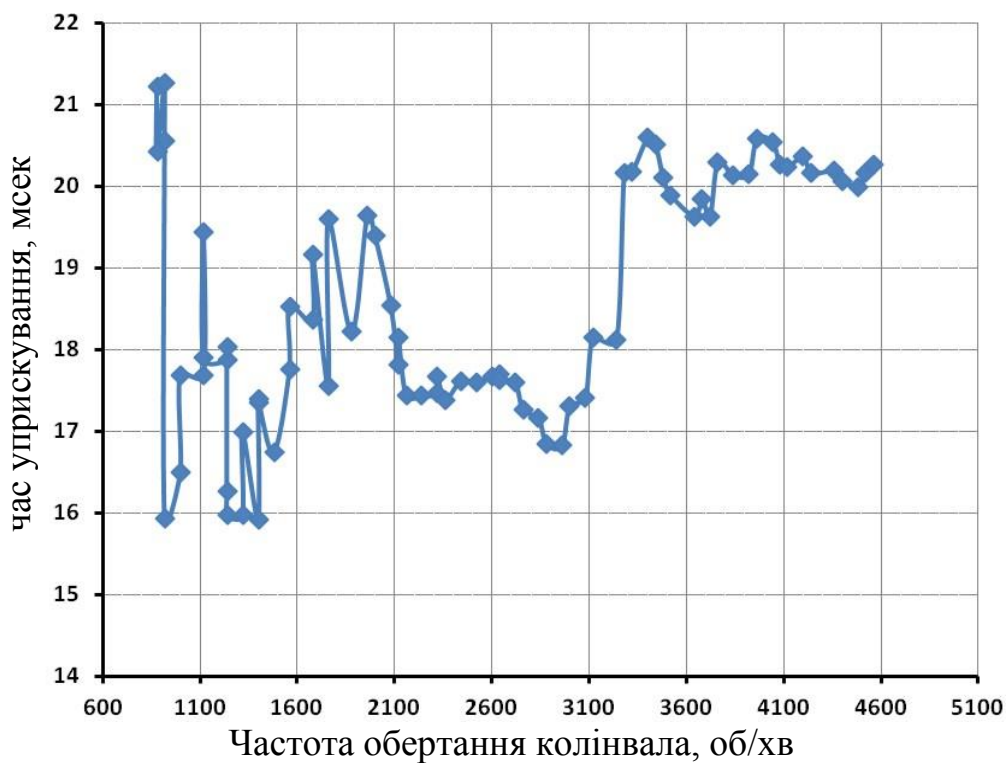


Рисунок 4.3 - Зміна часу уприскування форсункою при різкому відкритті дросельної заслінки

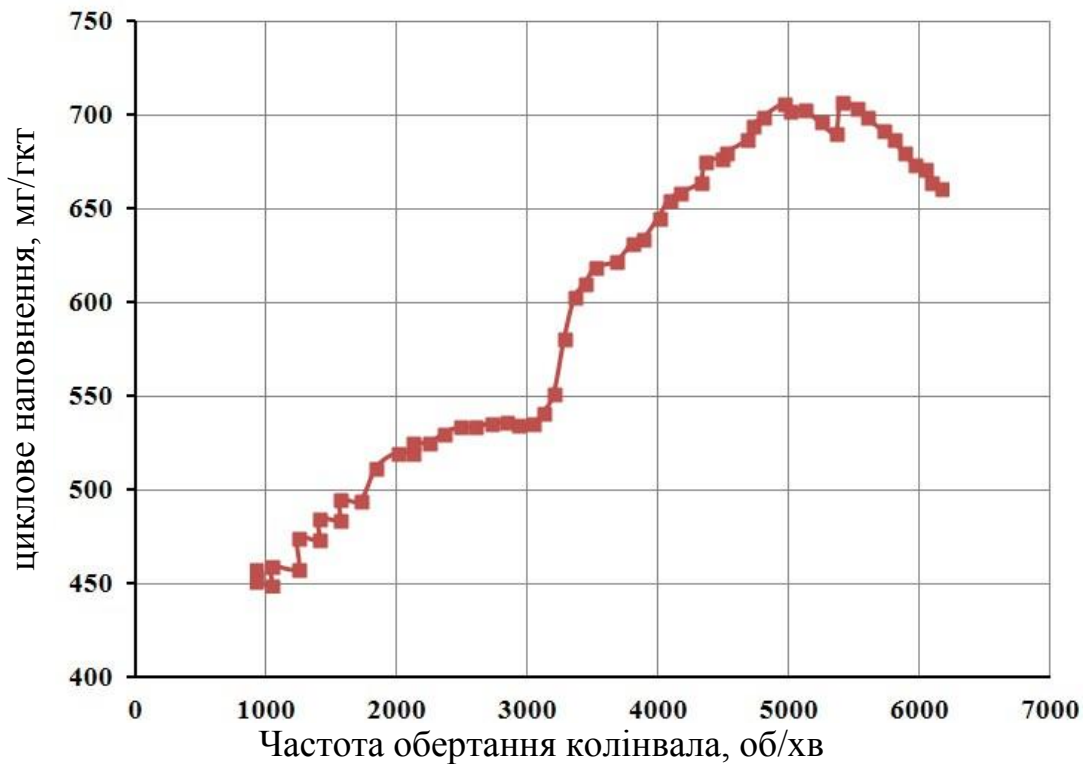


Рисунок 4.4 - Зміна циклового наповнення при різкому відкритті дросельної заслінки

Додатково були отримані характеристики кута випередження запалювання, часу уприскування форсункою, циклового наповнення, розраховане по датчику масової витрати повітря представлені на рисунках 4.2, 4.3, 4.4.

Кут випередження запалювання при різних способах розгону не змінюється, такий висновок можна зробити при аналізі залежності на рисунку 4.2. Значення подачі палива, при різкому відкритті дросельної заслінки, в початковий момент розгону перевищує паливоподачу при розгоні з фіксованим положенням дросельної заслінки, що й обумовлює характер перехідних характеристик.

4.2 Результати моторних випробувань при відключенні датчиків електронної системи управління

При відключенні датчика масової витрати повітря, моторні випробування показали ідентичність характеристик розгону, як при справному датчику, так і при його відключенні. Це пояснюється тим, що ЕБУ в режимі розгону дозує паливо за тими ж картами, що і з підключеним датчиком.

При відключенні датчика температури ЕБУ переходить в аварійний режим і вважає двигун холодним і деякий час збагачує суміш, після прогріву двигуна, датчик температури не робить вплив на характеристику вільного розгону.

У разі відключення датчика положення дросельної заслінки реалізація режиму розгону неможлива, так як ЕБУ не може визначити кут відкриття дросельної заслінки, який служить умовою початку тестового режиму.

Відключення датчика положення розподільного вала не впливає на характеристику вільного розгону.

4.3 Результати моторних випробувань при спільному впливі факторів

Досліджувався вплив технічного стану циліндропоршневої групи (ЦПГ) і системи живлення на час циклу $t_{\text{ц}}$ перехідної характеристики, згідно матриці планування експерименту. Результати вибірково представлені на рисунках 4.5, 4.6, 4.7

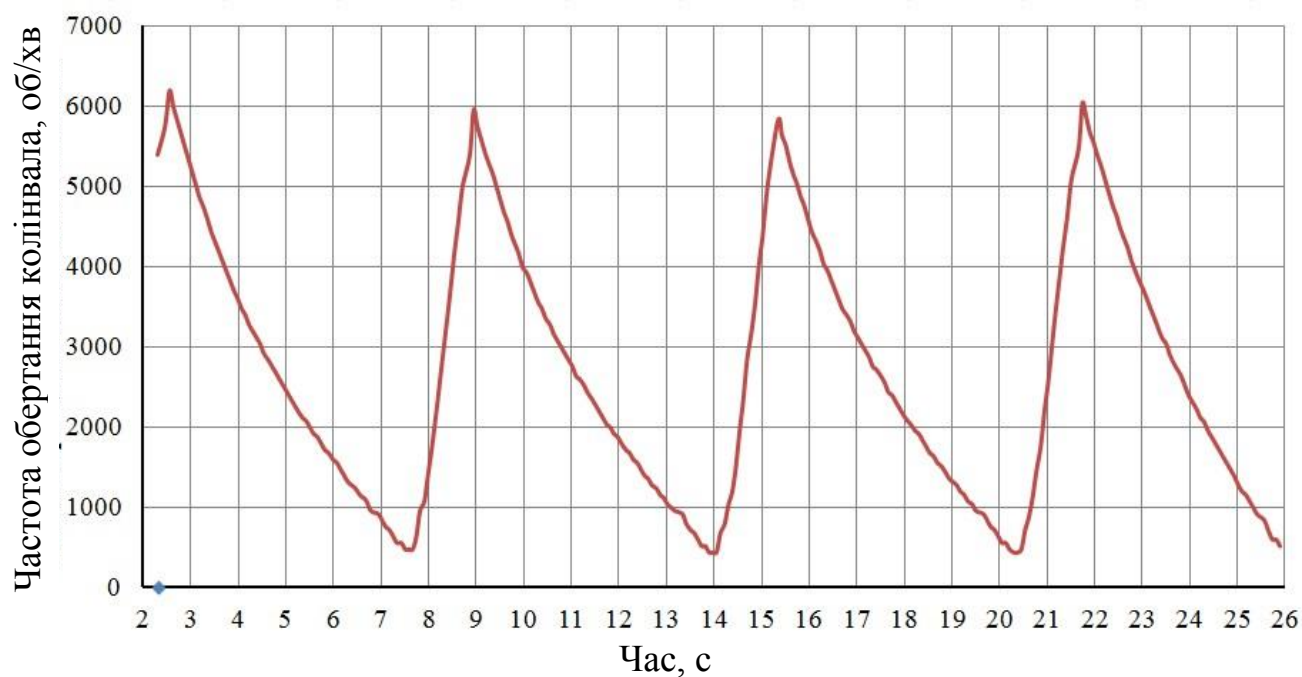
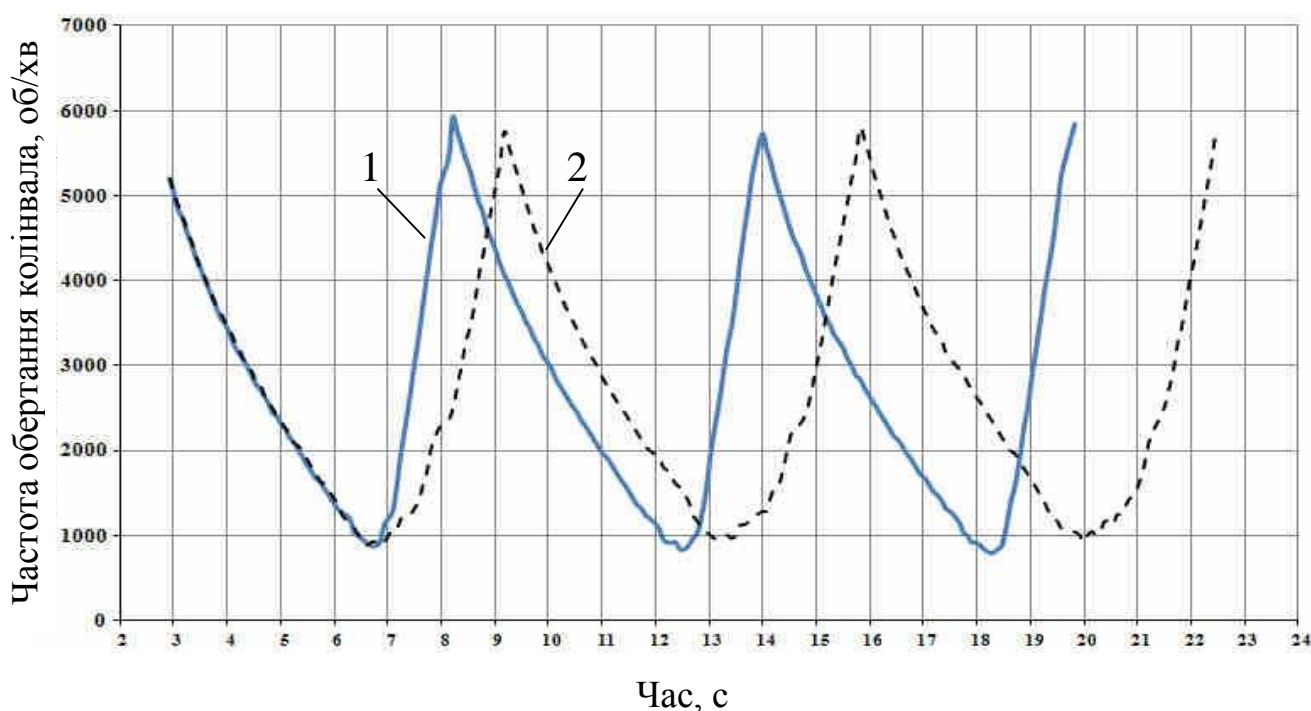


Рисунок 4.5 - Перехідна характеристика вільного розгону-вибігу двигуна ЗМЗ-406.10 з блоком управління МІКАС 7.1 при справному стані циліндропоршневої групи і системи живлення



1 - Нещільність ЦПГ 1,6 мм², тиск 300 кПа;

2 - Нещільність ЦПГ 1,6 мм², тиск 250 кПа.

Рисунок 4.6 - Залежність часу циклу розгону-вибігу двигуна ЗМЗ406.10 з блоком управління МІКАС 7.1

Аналіз графіка на рисунку 4.5 показав, що середній час циклу $t_{\text{ц}}$ розгону-вибігу справного двигуна в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} , становить 4,130 с. Частота обертання колінчастого вала з якою двигун виходить в режим вільного розгону-вибігу - з $370 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

На рисунку 4.6 суміщені характеристики вільного розгону-вибігу з різним технічним станом системи живлення. При однаковій нещільності циліндропоршневої групи, але різноманітному тиску в рампі системи живлення час циклу $t_{\text{ц}}$ змінюється від 4,5 с до 5,3 с в діапазоні частоти обертання колінчастого вала 1000 - 5000 хв^{-1} . Зміна часу циклу викликана, зміною часу вільного розгону, що обумовлено зменшенням циклової подачі палива. Тому час, за який виконається кількість заданих циклів розгону-вибігу збільшиться, що буде свідченням зниження потужності двигуна. При цьому час вибігу (крива 1 і 2) залишається незмінним, що є доказом однакового стану механічної частини двигуна при випробуваннях. При зменшенні циклової подачі палива через несправність системи живлення, частота обертання колінчастого вала при якій можливий вихід у вільний розгін після вибігу не нижче $950 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$. Також на рисунку 4.6 видно, що перехід двигуна з режиму розгону в режим вибігу має однаковий характер, а перехід з режиму вибігу в розгін відрізняється. При несправному стані двигуна на початковій ділянці розгону після вибігу спостерігається монотонність зміни частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 1500 хв^{-1} .

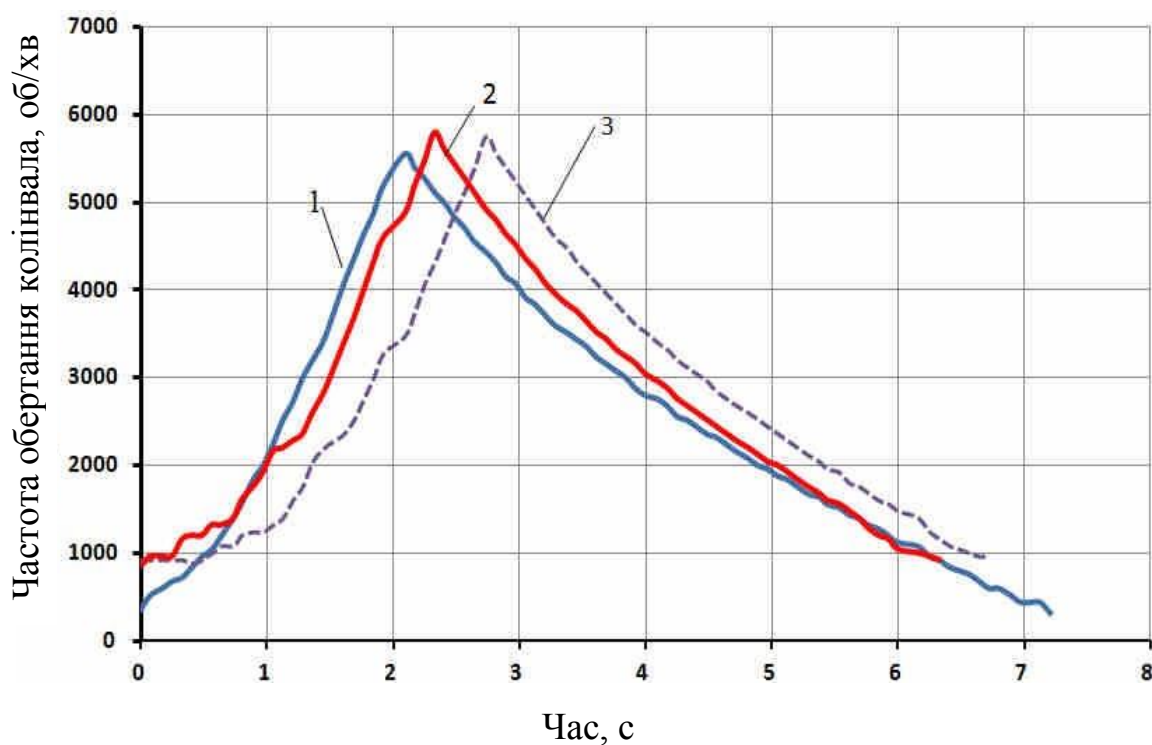
На рисунку 4.7 суміщені характеристики при різному стані циліндропоршневої групи і тиску в паливній рампі системи живлення. При граничній нещільності ЦПГ, і тиску в системі живлення 200 кПа, час циклу $t_{\text{ц}}$ розгону-вибігу в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} , складе 5,3 с.

В такому випадку частота обертання колінчастого вала з якою двигун вийде в режим вільного розгону після вибігу, не нижче $950 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

Якщо порівнювати час вибігу при справному стані циліндропоршневої групи з часом при граничному стані (рисунок 4.8), то в діапазоні частоти обертання колінчастого вала від 1000 до 5000 хв^{-1} різниця складе 0,52 с. Час розгону при цьому змінюється практично на таку ж величину і діагностичний параметр $Kt_{\text{ц}}$ приймає

значення від 1 до 0,94. Розпізнати при цьому стан двигуна дозволяє початкова частота обертання колінчастого вала з якою двигун виходить в розгін після вибігу, так як вона чутлива до зміни циклової подачі і до нещільності ЦПГ. Тому можна зробити висновок: частота обертання з якою двигун виходить в розгін, може служити додатковим діагностичним параметром, отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні припущення (рисунок 4.7 і 4.8).

Метою обробки характеристик вільного розгону-вибігу, отриманих в результаті експерименту, є отримання функціональної залежності $t_{ц} = f(P, S)$. Для побудови математичної моделі використовується регресійний аналіз (таблиця 4.1). Так як початкове значення частоти обертання виходу двигуна у вільний розгін після вибігу, відрізняється для різних станів двигуна. Діапазон частоти обертання колінчастого вала в якому можлива апроксимація - від 1000 до 5000 $хв^{-1}$.

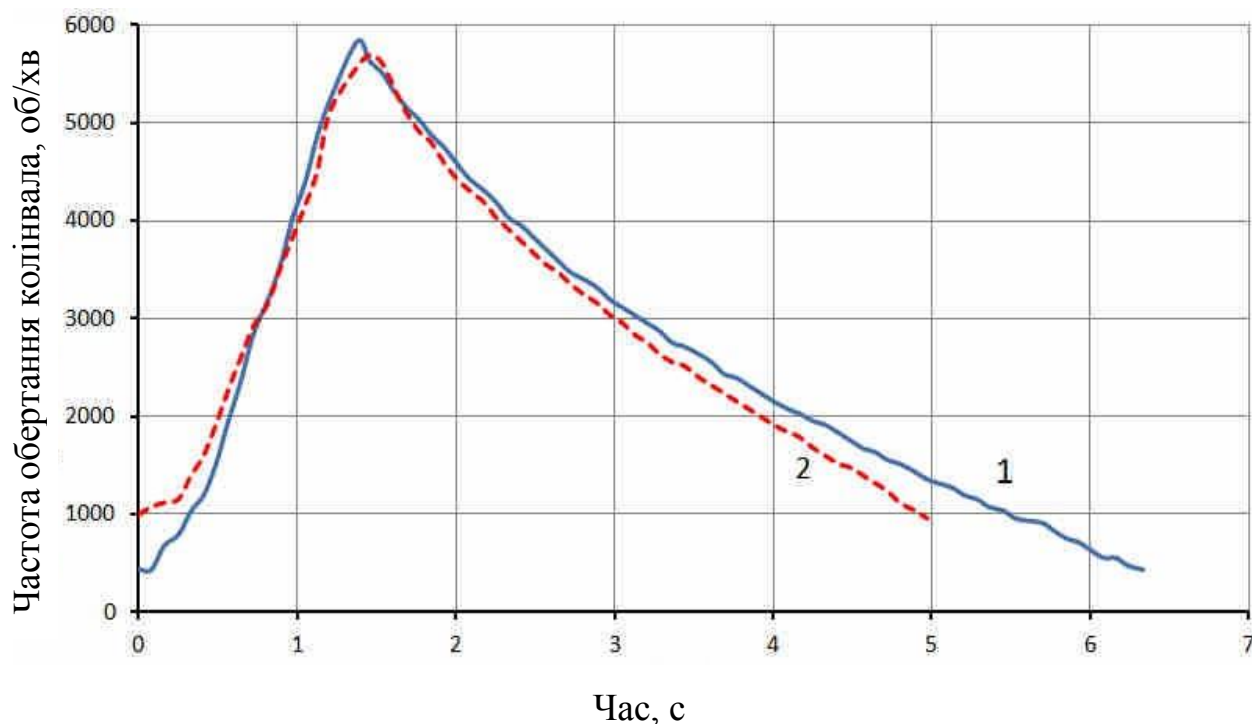


1 - Нещільність ЦПГ $0,75\text{мм}^2$, тиск 300 кПа;

2 - Нещільність ЦПГ $2,35\text{мм}^2$, тиск 250 кПа;

3 - Нещільність ЦПГ $2,35\text{мм}^2$, тиск 200 кПа

Рисунок 4.7 - Залежність часу циклу розгону-вибігу двигуна ЗМЗ-406.10 з блоком управління МІКАС 7.1 при різних станах ЦПГ і системи живлення



1 - Нещільність ЦПГ 0,75мм², тиск 300 кПа;

2 - Нещільність ЦПГ 2,35 мм², тиск 300 кПа

Рисунок 4.8 - Залежність часу циклу розгону-вибігу двигуна ЗМЗ-406.10 з блоком управління МІКАС 7.1 при різних станах ЦПГ

Значимість коефіцієнтів перевіряли по t-критерію Стюдента. Адекватність отриманих залежностей оцінювалася коефіцієнтами Фішера. В роботі отримана регресійна залежність, яка відображає зв'язок функції відгуку з досліджуваними факторами, яка має вигляд:

$$t_{\text{ц}} = 4,89 - 2,8 \cdot 10^{-5} P^2 + 4,61 \cdot 10^{-3} P - 0,106 S^2 + 0,555 S - 3,21 \cdot 10^{-4} PS \quad (4.1)$$

де P - тиск в рампі паливної системи, кПа;

S - нещільність циліндропоршневої групи (ЦПГ), мм².

В результаті регресійного аналізу встановлено, що фактори S , P (інші чинники були стабілізовані), що визначають технічний стан ЦПГ і системи живлення, є значущими для $t_{\text{ц}}$, тобто зміна зазначених факторів технічного стану двигуна в процесі експлуатації зумовить зміну діагностичного параметра.

На підставі отриманого рівняння регресії був проведений розрахунок значень часу циклу вільного розгону-вибігу для різних значень нещільності ЦПГ і тиску в

паливній рампі системи живлення, в рамках яких модель є адекватною. Результати розрахунків в графічній формі представлені на рисунку 4.9. Найбільший вплив на час циклу, надає спільне зміна стану системи живлення і ЦПГ.

Таблиця 4.1 - Вихідні дані для регресійного аналізу

№ досліду	Значення відгуку, y_{nm} , с.			\bar{y}_n , с.	\bar{S}_n^2
	y_{n1}	y_{n2}	y_{n3}		
1	4,110	4,150	4,210	4,157	0,002533
2	4,805	4,767	4,856	4,809	0,001994
3	5,399	5,296	5,202	5,299	0,009709
4	4,152	4,107	4,209	4,156	0,002613
5	4,781	4,829	4,750	4,787	0,001584
6	5,142	5,258	5,211	5,204	0,003404
7	4,126	4,093	4,172	4,130	0,001574
8	4,507	4,557	4,619	4,561	0,003148
9	4,780	5,090	4,90	4,923	0,024433

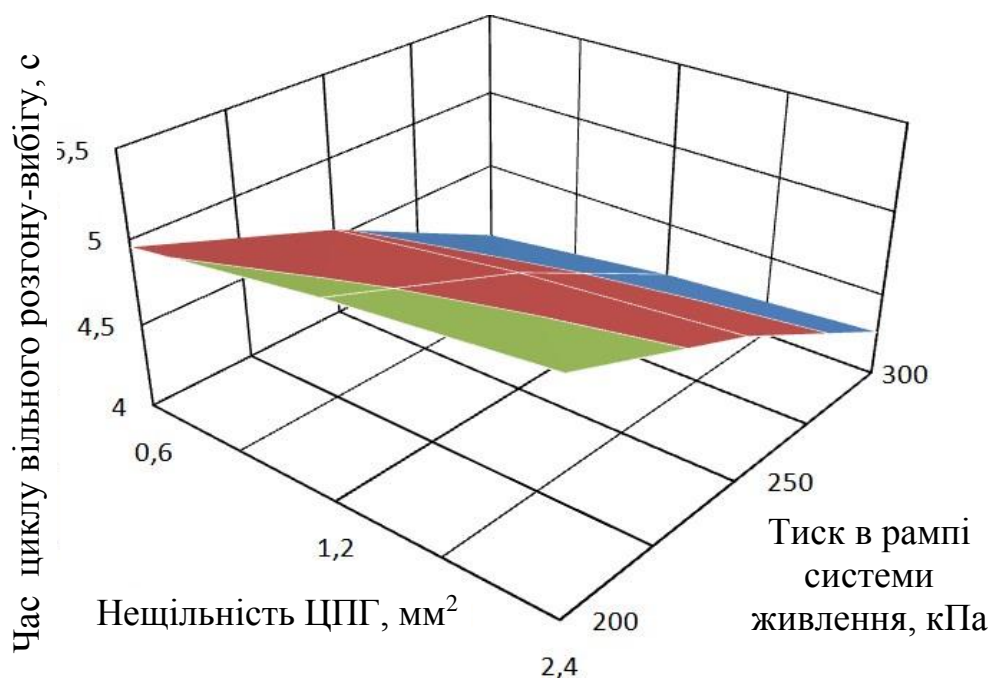


Рисунок 4.9 - Залежність часу циклу вільного розгону-вибігу від зміни нещільності ЦПГ і тиску в рампі системи живлення

За результатами отриманих значень часу циклу вільного розгону-вибігу, розраховували значення діагностичного параметра Kt_u за формулою 2.9. Графічно чутливість діагностичного параметра від нещільності ЦПГ і тиску в паливній рампі представлена на рисунку 4.10.

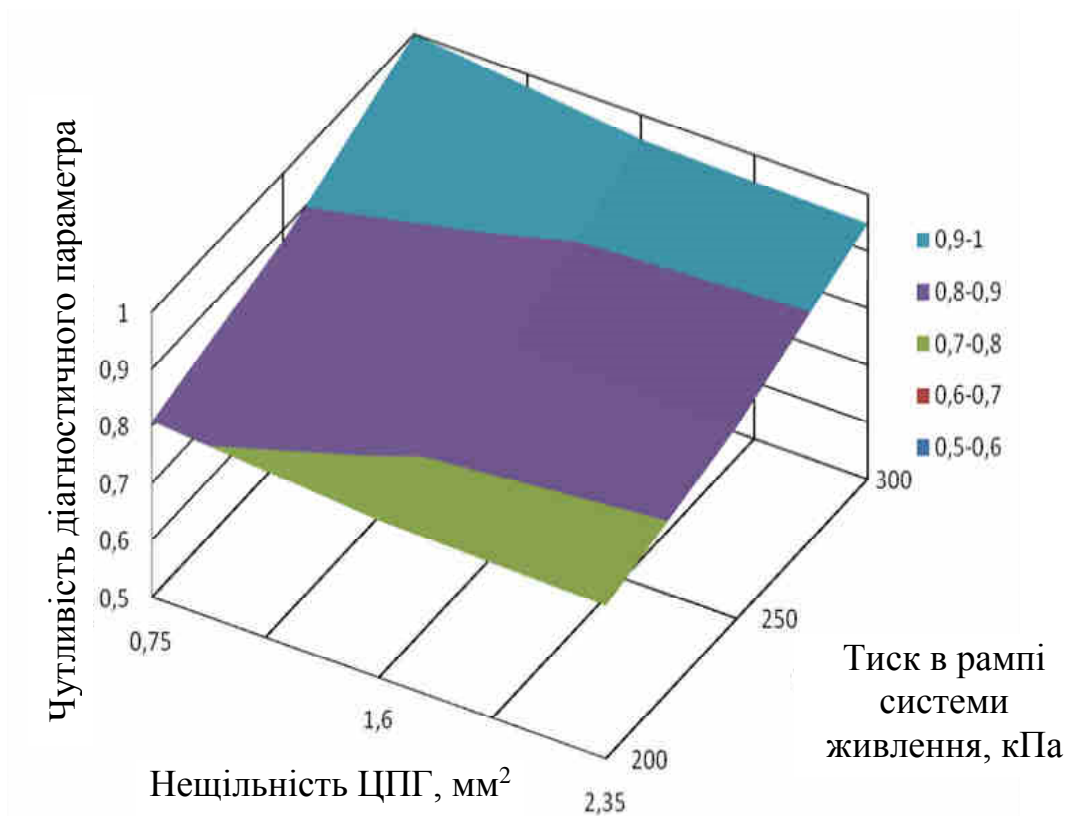


Рисунок 4.10 - Чутливість діагностичного параметра до зміни нещільності ЦПГ і тиску в системі живлення

В результаті аналізу рисунка 4.10 можна сказати, що при збільшенні нещільності ЦПГ до значення граничного стану, але справній системі живлення значення Kt_u становитиме 0,94 - 0,95. При граничному стані ЦПГ і зниженні продуктивності електробензонасоса, значення Kt_u складе менше 0,77. Для справного двигуна знаходиться в межах від 1,0 до 0,94 при частоті обертання колінчастого вала, з якої можливий вихід в розгін після вибігу рівній $370 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$.

В теоретичній частині було висунуто припущення, що частота обертання колінчастого вала двигуна з якої можливий вихід у вільний розгін, після вільного вибігу, буде змінюватися від технічного стану ЦПГ і системи живлення, підтвердилося.

Результати представлені на таблиці 4.2 показують, що при справному стані двигуна розгін здійснюється з 350 хв^{-1} , а при граничному стані ЦПГ і системи живлення не нижче 970 хв^{-1} . При цьому, зміни пускових якостей двигуна в стартерному режимі помічено не було.

Таблиця 4.2 - Визначення стану двигуна ЗМЗ-4062.10 по частоті обертання колінчастого вала, з якої можливий вихід у вільний розгін і діагностичного параметру $Kt_{ц}$

Параметр, $Kt_{ц}$	Частота обертання колінчастого вала з якою двигун виходить в розгін після вибігу, хв^{-1}		
	370-500	600-700	800-950
1,0	Справний	Справний	Несправна ЦПГ
0,94	Справний	Справний	Несправна ЦПГ
0,8	Несправна система живлення	Несправна система живлення	Несправний
0,7	Несправна система живлення	Несправна система живлення	Несправний

Отримані результати враховували при розробці способу контролю технічного стану, так як початкова частота обертання чутлива до зміни технічного стану бензинового двигуна з електронним управлінням.

4.4 Розробка методики діагностування бензинового двигуна з електронною системою управління

На підставі отриманих результатів дослідження запропонована методика діагностування, виконується при проведенні ЩТО або за потребою Керівництвом по експлуатації для двигунів ЗМЗ з електронною системою управління. Планові операції по обслуговуванню спрямовані на усунення течі в системі охолодження, системі мащення, паливній системі, в системі вентиляції картерних газів. Діагностичні роботи по системі живлення і ЦПГ не входять до переліку робіт при ТО-1 і ТО-2. Тому розроблена методика виконується при ЩТО або за потребою. Обладнання яке використовується - це бортовий комп'ютер з програмним забезпеченням, що дозволяє провести динамічний тест.

Виконується контроль технічного стану двигуна з електронною системою управління в наступній послідовності:

- після виконання операцій при ЩТО, запустити і прогріти двигун;
- включити примусово вентилятор системи охолодження (тільки для вентилятора з електродвигуном);
- запустити тест (порогові значення частоти обертання: нижній - 370 хв^{-1} , верхній - 5000 хв^{-1});
- натиснути на педаль управління дросельною заслінкою до упору і утримувати до закінчення тесту;
- після закінчення тесту зберегти отримані результати в архів;
- заглушити двигун;
- зробити висновок про стан двигуна, порівнявши отримані результати з еталонними;
- відключити примусове управління електровентилятором системи охолодження.

Алгоритм діагностування представлений на рисунку 4.11.

4.5 Результати перевірки розробленої методики діагностування бензинового двигуна з електронною системою управління за параметрами перехідних характеристик вільного розгону-вибігу

Перевірку розробленого способу контролю технічного стану бензинових двигунів з електронною системою управління здійснювали за допомогою діагностичного обладнання – мотор-тестер МТ-10 з блоком АМД-4А. Перевірка передбачала виконання наступних операцій: перевірка електронної системи управління; зняття характеристик вільного розгону-вибігу для кожного двигуна; перевірка системи живлення і циліндропоршневої групи.

Як показали результати перевірки, запропонована методика дозволяє виявити двигун, який не відповідає вимогам технічної документації. На рисунку 4.12 представлена еталонна характеристика вільного розгону-вибігу (крива 1) і характеристика з несправним двигуном (крива 2).

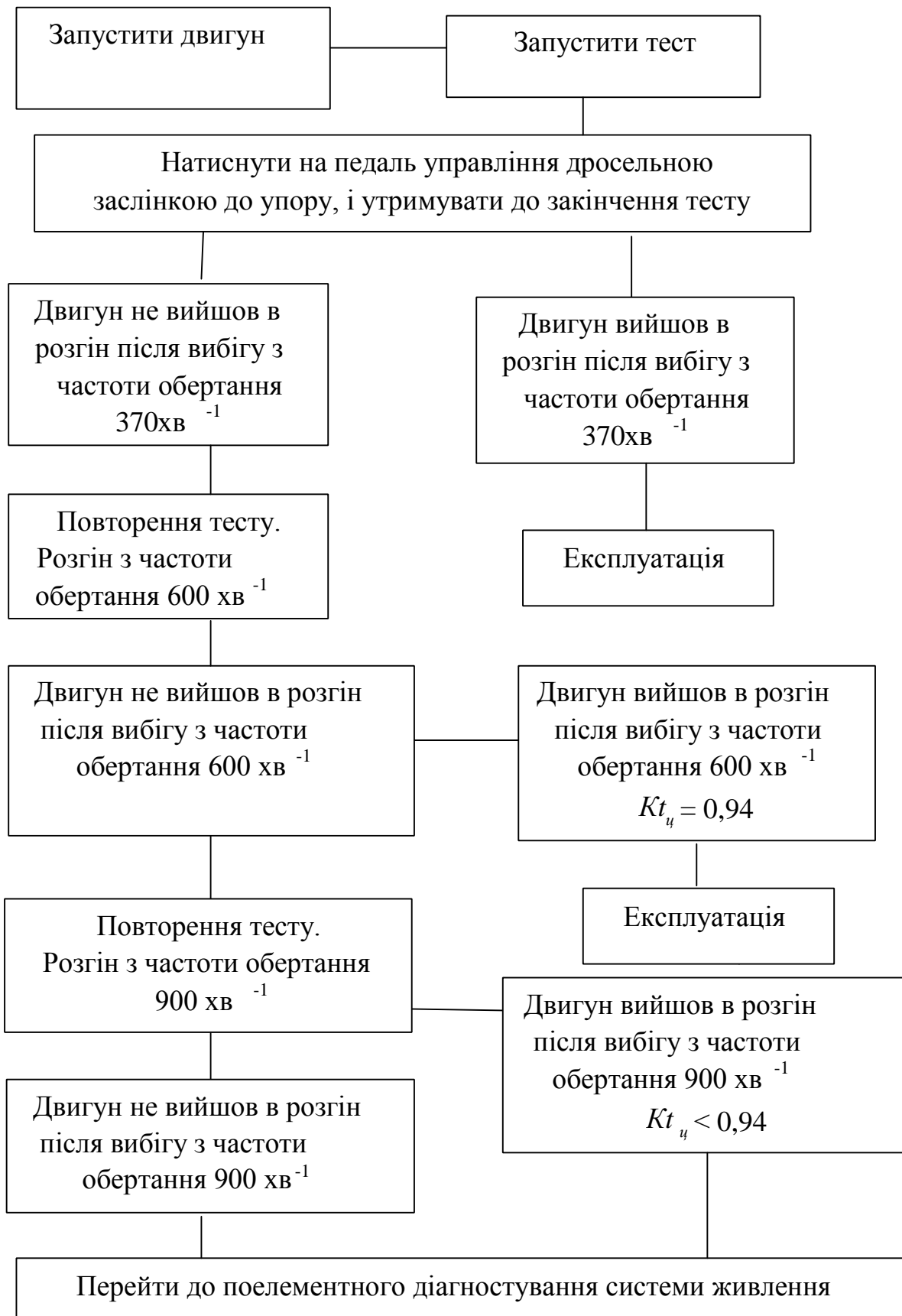
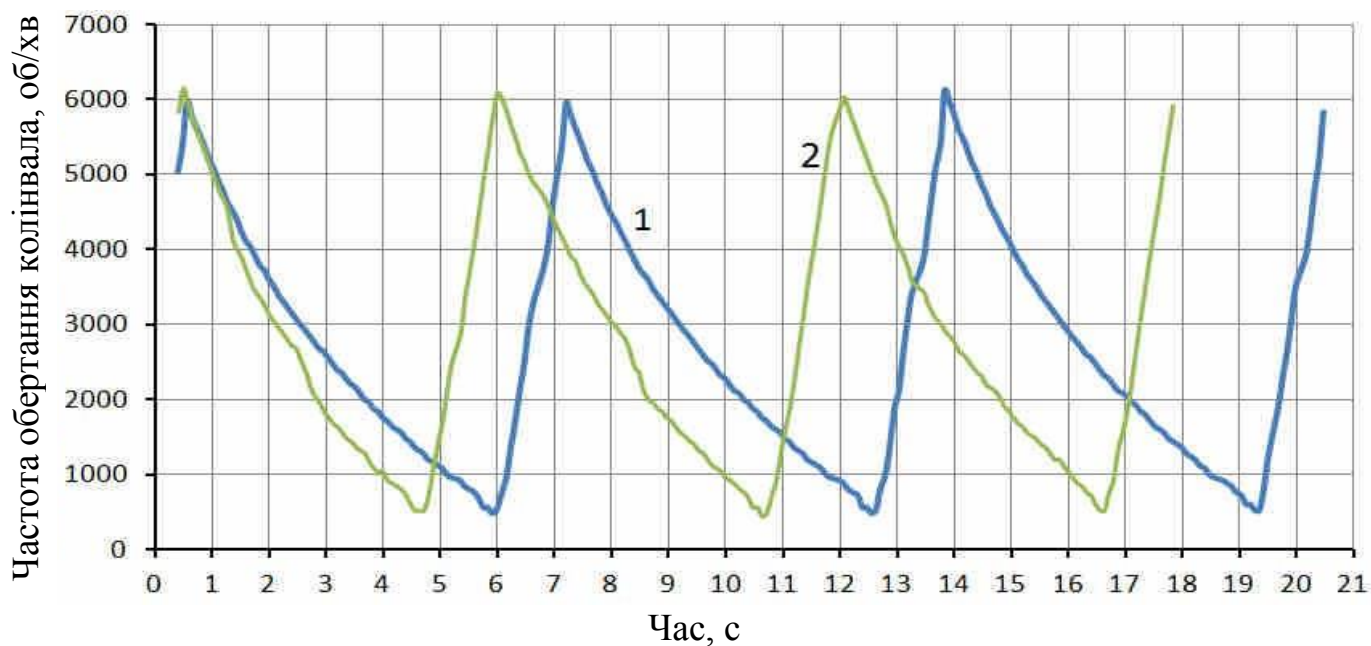


Рисунок 4.11 - Алгоритм діагностування ДВЗ з електронною системою управління



1 - еталонна характеристика двигуна ЗМЗ-4062.10;

2 - характеристика несправного двигуна ЗМЗ-4062.10

Рисунок 4.12 - Залежність часу циклу вільного розгону-вибігу від різному стані двигуна

Характер кривої 2 виявив, що час вільного розгону збігався з часом еталонної характеристики, а час вибігу значно менший еталонного, що свідчило про несправності механічної частини двигуна. Пошук несправності почали з виміру компресії двигуна. Результати виміру компресії, показали граничний стан циліндропоршневої групи, величина тиску 0,95 МПа. При такому значенні тиску в кінці такту стиснення, двигун виходив в розгін після вибігання з частоти обертання колінчастого вала $540 \pm 20 \text{ хв}^{-1}$. Як показала подальша перевірка, причиною однакового часу розгону справного двигуна і несправного, виявилася змінена карта подачі палива і кута випередження запалювання в результаті перепрограмування ЕБУ. Виробнича перевірка показала, що при зносі циліндропоршневої групи час вибігу відрізняється від експериментального в бік збільшення, тобто при реальному зносі момент від сил тертя зростає на велику величину, ніж при лабораторних випробуваннях.

ВИСНОВОК

1. Аналітично обґрунтовано діагностичний параметр $Kt_{\text{ц}}$, який відображає зміну технічного стану двигуна внутрішнього згоряння і визначається відношенням часу циклу вільного розгону-вибігу справного стану двигуна, до зміненого.

2. Отримано регресійну модель, яка характеризує залежність часу циклу розгону-вибігу від технічного стану ЦПГ і системи живлення. Модель дозволяє оцінювати величину часу циклу в залежності від тиску в паливній рампі і нещільності ЦПГ з похибкою, що не перевищує 5%. Найбільший вплив на величину часу циклу розгону-вибігу, надає спільна зміна стану системи живлення і ЦПГ. Для справного двигуна ЗМЗ-4062.10 в діапазоні частоти обертання від 1000 до 5000 хв⁻¹, час циклу $t_{\text{ц}} = 4,13$ с, з граничним станом ЦПГ і системи живлення $t_{\text{ц}} = 5,23$ с, діагностичний параметр визначає вплив на двигун $Kt_{\text{ц}} = 0,77$. Діагностичний параметр, при якому допускається експлуатація двигуна, має значення від 1 до 0,94 і частоту обертання колінчастого вала двигуна, з якої можливий розгін після вибігу не більше 600 ± 20 хв⁻¹.

3. Встановлено вплив нещільності ЦПГ і системи живлення на мінімальну порогову частоту обертання колінчастого вала в режимі вільного розгону-вибігу. Частота обертання колінчастого вала, з якої можливий вихід справного двигуна у вільний розгін складає 370 ± 20 хв⁻¹, з несправною системою живлення і ЦПГ - не нижче 970 ± 20 хв⁻¹.

4. За результатами досліджень розроблено спосіб оцінки технічного стану ЦПГ і системи живлення бензинового двигуна внутрішнього згоряння з електронною системою управління при роботі в режимі вільного розгону-вибігу. Спосіб дозволяє визначити загальний технічний стан при стаціонарному, бортовому і дистанційному діагностуванні і виконується одним робітником. Спосіб полягає в тому, що вимірюють час, за який виконується задане число циклів вільного розгону-вибігу при фіксованому положенні дросельної заслінки в постійному діапазоні кутової швидкості колінчастого вала, а також визначають частоту обертання, з якої можливий вихід двигуна в розгін після вибігу.

5. Використання розробленої методики станціями технічного обслуговування дозволить скоротити трудомісткість в 2,5-4 рази за рахунок виключення необґрунтованих операцій при діагностуванні.

6. Контроль технічного стану двигунів за пропонованою методикою рекомендується виконувати при щоденному технічному обслуговуванні, через кожну 1000 км пробігу. При заміні моторного масла контроль провести до заміни і після зі збереженням результатів в архіві. При наявності характерних звуків, що вказують на дефекти в КШМ і ГРМ, а також при зниженому тиску в системі мащення, діагностування даним способом не проводити.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобиль ГАЗ-3110 “Волга”: Устройство, особенности эксплуатации и руководство по ремонту двигателей ЗМЗ 4062.10, 402.10, 4021.10 / Под ред. В. Б.Пичугина.- М.: ООО ”Атласы автомобилей”, 2000. – 256 с.
2. Агуреев И. Е. Анализ и синтез динамических характеристик многоцилиндровых поршневых двигателей внутреннего сгорания: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02 / Агуреев Игорь Евгеньевич. – Тула, 2003. – 32 с.
3. Альт В.В. Контроль и управление параметрами тракторных двигателей в эксплуатационных условиях: автореф. дис. д.т.н: 05.20.03/ Альт Виктор Валентинович. – Новосибирск, 1995. – 27 с.
4. Аринин И. Н. Диагностирование на автомобильном транспорте: учебное пособие / И.Н. Аринин. - М.: Высш. шк., 1985. – 80 с.
5. Асатурян С.В. Совершенствование методики и средств диагностирования тракторных двигателей с турбонаддувом: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / Асатурян Сергей Вартанович. - зерноград, 2010. - 19 с.
6. Ахметов А. Ф. Повышение эффективности диагностирования и ремонта насос-форсунок автотракторных и комбайновых дизелей: дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / Ахметов Альфир Фоатович. – Уфа, 2015. - 134 с.
7. Бакайкин Д. Д. Диагностирование электромагнитных форсунок бензиновых двигателей автомобилей, эксплуатируемых в сельском хозяйстве : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Бакайкин Дмитрий Дмитриевич. - Челябинск, 2013. – 20 с.
8. Баширов Р.М. Основы теории и расчета автотракторных двигателей / Р.М. Баширов – Уфа: БГАУ, 2008. - 304 с.
9. Башмакова В. Н. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания динамическим методом с использованием микроЭВМ: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.20.03 / Башмакова Вера Николаевна. – Новосибирск, 1990. – 22 с.
10. Бельских В. И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники / В.И. Бельских.- М. : Колос, 1980. – 575 с.

11. Бестормозные методы поэлементного диагностирования автомобиля / А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, А.В.Никитин, Р.В.Иванов, А.В.Коновалов, А.В. Косарева // Информационные технологии, системы и приборы в АПК.: материалы Междунар. науч.-практ. конф. «АГРОИНФО-2006» Ч.1 - Новосибирск, 2006. – С. 440-444.
12. Богатырев А.В. Автомобили / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский–Лашков, М.Л. Насоновский, В.А. Чернышев; под ред. А.В. Богатырева.– М.: КолосС, 2004. – 496 с.
13. Болтинский В.Н. Теория, конструкция и расчет тракторных и автомобильных двигателей / В.Н. Болтинский. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 391 с.
14. Бурдинский, И.Н., Сорокин, Н.Ю. Измерительный комплекс для регистрации характеристик электронных систем управления автомобильными двигателями / И.Н. Бурдинский, Н.Ю. Сорокин // Микропроцессорные и цифровые системы. - 2004. - №1(7). – С. 137-143.
15. Бычкова Ю. В. Проблемы при использовании современного диагностического оборудования бензиновых ДВС / Ю.В. Бычкова, Г. В. Шнитков, А. В. Сафонов // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: сб.докл. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2013. – С. 129-131.
16. Вереютин А. Ю. Способ диагностирования электромагнитных форсунок двигателей с впрыскиванием бензина: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Алексей Юрьевич Вереютин. – Рязань, 2010. – 143 с.
17. Вертей М. Л. Влияние неплотности цилиндропоршневой группы на характеристику ускорения свободного разгона бензинового двигателя // Вестник НГАУ. – 2010 - №2(14). – С. 77-79.
18. Вихерт М.М., Грудский Ю.Г. Конструирование впускных систем быстроходных дизелей / М.М. Вихерт, Ю.Г. Грудский – М.: Машиностроение, 1982. - 151 с.
19. Власов, В. М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебник для сред. проф. образования / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов

; под ред. В. М. Власова. — 9-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. - 432 с.

20. Газарян А. А. Техническое обслуживание автомобилей / А.А. Газарян. - М.: Транспорт, 1989. – 255 с.

21. Гирявец А. К. Теория управления автомобильным бензиновым двигателем / А. К. Гирявец. - М.: Стройиздат; ППП «Русский сервис», 1997. – 80 с.

22. Гирявец А. К. Улучшение эксплуатационных показателей автомобилей путем научного обоснования и создания систем управления рабочим процессами двигателей с искровым зажиганием: дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02; 05.20.03 / Александр Константинович Гирявец. – Санкт-Петербург-Пушкин, 1999. – 55 с.

23. Гребенников, А. С. Диагностирование автотракторных двигателей по внутрицикловым изменениям угловой скорости коленчатого вала: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Александр Сергеевич Гребенников. – Саратов, 2002. – 292 с.

24. Гребенников, А.С., Гребенников, С.А., Бочкарев. В.В., Никитин, А.В., Иванов, Р.В., Коновалов, А.В., Косарева, А.В. Мобильные и бортовые средства диагностирования элементов автомобиля / А.С. Гребенников, С.А. Гребенников, В.В. Бочкарев, А.В. Никитин, Р.В. Иванов, А.В. Коновалов, А.В. Косарева // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств.: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. Ч.2. - Пенза: ПГУАС, 2006. - С. 33-36.

25. Григорьев М. А., Понаморов, Н.Н. Износ и долговечность автомобильных двигателей / М. А. Григорьев, Н.Н. Понаморов. - М.: Машиностроение, 1976. – 248 с.

26. Гриценко А. В., Куков С. С., Бакайкин Д. Д. Теоретическое исследование работы электромагнитной форсунки и ее влияние на процесс топливоподачи / А. В. Гриценко, С. С. Куков, Д. Д. Бакайкин // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ им. В. П. Горячкина. – 2012. № 3(54). – С. 40–42.

27. Гриценко А. В., Разработка методов тестового диагностирования работоспособности систем питания и смазки двигателей внутреннего сгорания (экспериментальная и производственная реализация на примере ДВС автомобилей): дис.

... д-р. техн. наук: 05.20.03 / Александр Владимирович Гриценко. – Челябинск, 2014. – 397 с.

28. Добролюбов И.П. Оперативный контроль и управление показателями машинно-тракторных агрегатов, определяющими их эффективное использование: автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.20.03 / Иван Петрович Добролюбов. – Новосибирск, 1992. – 38 с.

29. Долгушин А. А. Оперативный контроль технического состояния топливной аппаратуры дизельных двигателей автореф. дисс...канд. техн. наук: 05.09.03 / Алексей Александрович Долгушин. – Новосибирск., 2004. – 19 с.

30. Дролов Л. В. Исследование способа оценки технического состояния дизельных двигателей по характеристикам переходного процесса в эксплуатационных условиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Леонид Васильевич Дролов. – Новосибирск, 1981. – 230 с.

31. Ерохов В. И. Системы впрыска бензиновых двигателей (конструкция, расчет, диагностика): учебник для вузов / В. И. Ерохов. - М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 552 с.

32. Ждановский Н.С. Бестормозные испытания тракторных двигателей / Н.С. Ждановский. – М. – Л.: «Машиностроение», 1966. – 179 с.

33. Загайко С. А. Механические потери в двигателях внутреннего сгорания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Сергей Андреевич Загайко. – Уфа, 1993. – 23 с.

34. Киндеев Е. А. Диагностирование систем впрыска бензина автомобильных двигателей с электронным управлением: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.22.10 / Евгений Александрович Киндеев. – Владимир, 1998. – 14 с.

35. Клейн А. Т. Исследование бестормозного динамического метода контроля автотракторных двигателей в эксплуатационных условиях сельского хозяйства: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Александр Теодорович Клейн. – Новосибирск, 1973. – 194 с.

36. Коваленко Н. А. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие / Н.А. Коваленко, В.П. Лобах, Н.В. Вепринцев – Минск, 2008. - 352 с.

37. Колчин А. И., Демидов, В. П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. пособие для вузов / А. И. Колчин. В. П. Демидов. - 2-е изд., перераб и доп. - М.: Высш. шк., 1980. – 400 с.
38. Крамаренко Г. В. Техническое обслуживание автомобилей / Г. В. Крамаренко. - М.: Транспорт, 1968. – 400 с.
39. Кривцов С. Н. Методологические основы диагностики автомобилей с дизельными двигателями, оснащенными Аккумуляторными топливоподающими системами: автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.22.10 / Сергей Николаевич Кривцов. – Иркутск, 2017. – 40 с.
40. Куверин И. Ю. Диагностирование карбюраторных ДВС по показателям спектрального анализа изменения угловой скорости коленчатого вала : автореферат дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03 / Куверин Игорь Юрьевич. - Саратов, 2002. - 20 с.
41. Кузнецов Е.С., Болдин А.П. и др. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-ое изд., перераб. и дополн. – М.: Наука, 2001. – 535 с.
42. Кузнецов, А. В. Разработка системы диагностики ДВС на основе нечеткой логики: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Александр Валерьевич Кузнецов. – М., 2007. – 19 с.
43. Кузнецов Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей в США. / Е.С. Кузнецов. - М. :Транспорт, 1992. – 352 с.
44. Лившиц В. М. Методы и технические средства повышения эффективности контроля в системе технического обслуживания сельскохозяйственных машин: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.03 / Владимир Моисеевич Лившиц. – Краснообск, 1984. – 443 с.
45. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. В 3-х кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС: Учебное пособие / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Т.Ю. Кричевская и др.; Под ред. В.Н. Луканина и М.Г. Шатрова.– М.: Высш. шк., 2005.– 400с.
46. Львовский, Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: учебное пособие / Е.Н. Львовский. – М.: Высш. шк., 1982. – 224 с.

47. Паладійчук Ю.Б. Методи та засоби при експлуатаційній обкатці машин та механізмів / Ю.Б. Паладійчук, О.В. Гуцаленко, Т.В. Чорна // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця: ВНАУ, 2012. – Випуск 10 (59). – Т. 2 – С. 110-113.

48. Анисимов В.Ф. Влияние технического состояния прецизионных пар на эффективные показатели дизеля / В.Ф. Анисимов, В.И. Музычук, И.П. Паламарчук, И.М. Ковалева // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. – Вінниця: ВНАУ, 2015. – Випуск 1 (89). – Т. 2 – С. 8-15.

49. Пришляк В.М. Аналіз показників роботи двигуна Д-240 за розрахунками комп'ютерної програми DIESEL-RK / В.М. Пришляк, А.А. П'ясецький, С.А. Бурлака // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця : ВНАУ, 2015. – Випуск 2 (90). – С. 28-32.

50. Гунько І.В. Транспорт - актуальні проблеми та сьогодення / І.В. Гунько, О.В. Гуцаленко // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця : ВНАУ, 2015. – Випуск 2 (90). – С. 98-103.

51. Пришляк В.М. Визначення ефективності роботи автотракторних двигунів адаптованих для часткових режимів навантаження / В.М. Пришляк, А.А. П'ясецький, С.А. Бурлака // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця : ВНАУ, 2016. – Випуск 3 (95). – С. 57-62.

52. Барановський В.М. Роль і місце технічного діагностування в системі технічної експлуатації автомобілів в сільському господарстві / В.М. Барановський, А.В. Спірін, Ю.А. Полєвода, І.В. Твердохліб // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – Вінниця : ВНАУ, 2018. – Випуск 1 (100). – С. 24-28.

53. Анисимов В.Ф. Випробування автотракторних дизельних двигунів внутрішнього згорання / В.Ф. Анисимов, А.А. П'ясецький. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. - 41 с.

54. Паладійчук Ю.Б. Методичні вказівки до виконання курсового проекту і розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Ремонт машин та обладнання» для студентів денної та заочної форми навчання зі спеціальностей 7.091902. та 8.091902

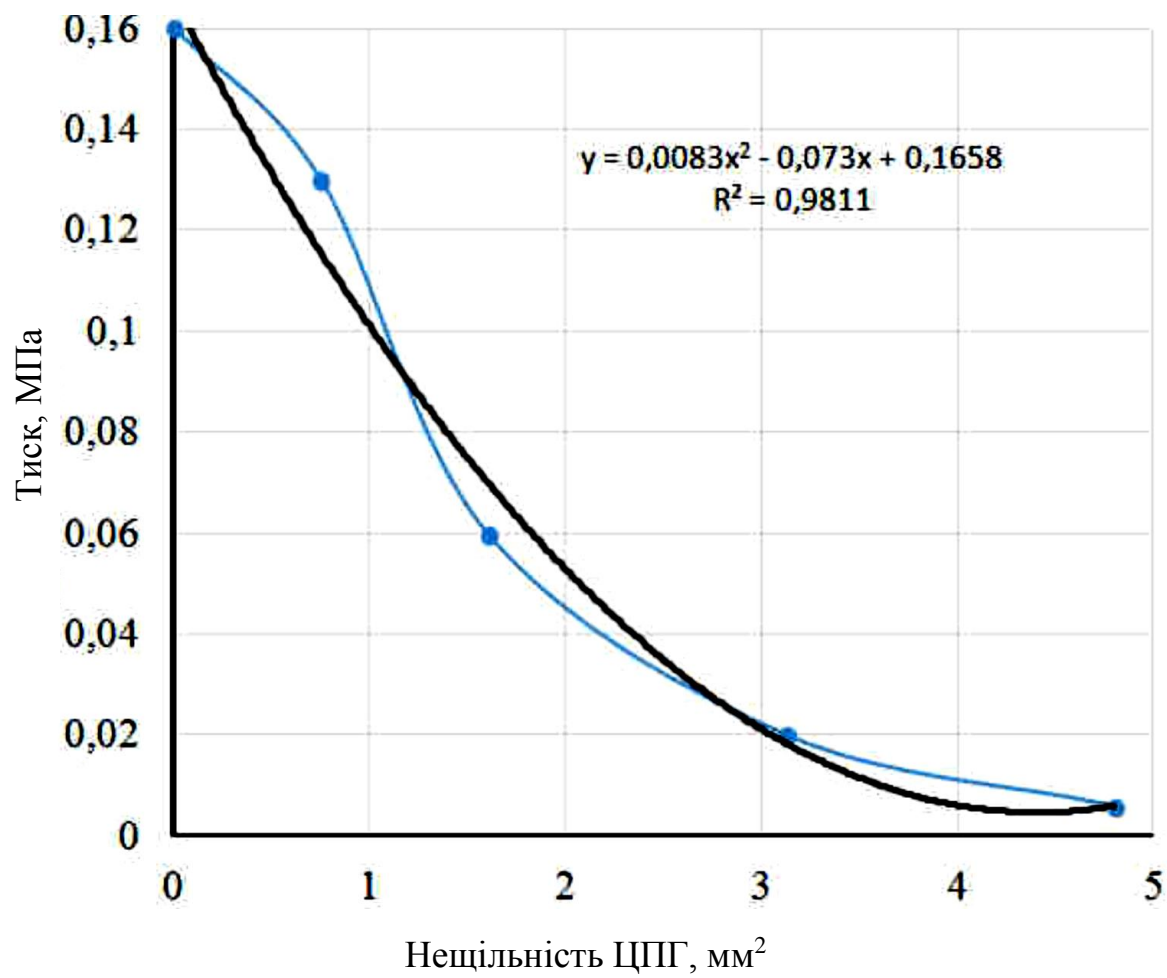
«Механізація сільського господарства» ОКР «Спеціаліст», «Магістр» / Ю.Б. Паладійчук, І.О. Пахнющий, О.О. Труханська, Р.В. Будяк. - Вінниця: ВЦ ВДАУ, 2007. – 43 с.

55. Бондарева Г. И. Метрологическое обеспечение контроля деталей на машинно-технологических станциях: Учебное пособие / Г.И. Бондарева. – М.: Издательский центр МГАУ. –2007. – 217 с.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Графік для визначення відносної нещільності циліндрів двигуна



Додаток 2

Результати вимірювання нещільності ЦПГ і тиску в кінці такту стиснення

Діаметр отвору жиклера, мм	-	1	1,5
Тиск, МПа (приладу)	0,16	0,13	0,06
Величина нещільності жиклера, мм ²	0	0,78	1,76
Величина компресії			
1 - циліндр	14	12,5	9,6
2 - циліндр	14	12,5	9,4
3 - циліндр	14	12,5	9,6
4 - циліндр	12,5	12,0	8,5
Тиск (МПа), при установці жиклера в поршень			
1 - циліндр	0,13	0,08	0,03
2 - циліндр	0,125	0,08	0,03
3 - циліндр	0,135	0,075	0,03
4 - циліндр	0,06	0,045	0,025
Відносна нещільність циліндра, мм ²			
1 - циліндр	0,78	1,6	2,5
2 - циліндр	0,77	1,6	2,5
3 - циліндр	0,79	1,6	2,5
4 - циліндр	1,76	2,2	2,7