



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності діагностування газорозподільних механізмів
автотракторних двигунів на базі ТОВ «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТС-23М Олександр ШИЛО
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

канд. техн. наук, доц. Михайло КРАСОТА
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

канд. техн. наук, доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

_____, _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 20 «Аграрні науки та продовольство»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

Освітньо-професійна програма: «Технічний сервіс сільськогосподарської техніки»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ**

_____ Шилу Олександр Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Підвищення ефективності діагностування газорозподільних механізмів автотракторних двигунів на базі ТОВ «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький»

керівник роботи Красота Михайло Віталійович, канд. техн. наук, доц.,

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «__» ____ 20__ року

№ _____

2. Строк подання здобувачем роботи «__» _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

матеріали переддипломної практики, літературні джерела наукової інформації, патенти, нормативні акти з технічного обслуговування автомобілів

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

4.1 Розділ 1 Аналіз виробничої діяльності бази дослідницької практики

4.2 Розділ 2 Дослідження за тематикою магістерської роботи _____

4.3 Розділ 3 Методика експериментальних досліджень

4.4 Розділ 4 Результати експериментальних досліджень _____

5. Перелік ілюстративного матеріалу комплект

1. Мета, об'єкт та задачі досліджень; 2. Існуючі методи діагностування газорозподільних механізмів; 3. Методика досліджень; 4. Результати експериментальних досліджень тиску у впускному колекторі; 5. Дослідження діагностичних параметрів при визначенні положень розподільних валів.

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр имітка
	Розділ 1	25.10.2024	
	Розділ 2	15.11.2024	
	Розділ 3	5.12.2024	
	Оформлення ілюстративного матеріалу	15.12.2024	

Магістрант _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис) (ім'я та прізвище)

Зміст

Вступ.....	
1. Огляд матеріально-технічної бази та виробничої діяльності підприємства.....	
2. Аналіз стану питання.....	
2.1 Характеристика газорозподільного механізму автотракторного двигуна.....	
2.2 Умови роботи деталей газорозподільних механізмів автотракторних ДВЗ	
2.3 Основні несправності газорозподільного механізму та дефекти його деталей.....	
2.4 Аналіз існуючих методів діагностування газорозподільних механізмів	
2.4.1 Прослуховування двигуна.....	
2.4.2 Діагностування осцилографом.....	
2.4.3 Вібродіагностика.....	
2.4.4 Ендоскопія.....	
2.5 Розробка методу діагностування газорозподільних механізмів.....	
3. Методика досліджень.....	
4. Результати досліджень.....	
Висновки.....	
Список використаної літератури.....	

Реферат

Магістерська робота виконана на базі підприємства ТОВ «ГрейсАгро Тех» м. Кропивницький.

Робота складається з 64 аркушів пояснювальної записки, яка включає 4 розділи, ілюстративний матеріал.

В роботі встановлено, що зниження технічного стану приводу ГРМ автомобільних двигунів призводить до зміни кількості та якості горючої суміші, до скорочення тривалості робочого циклу, що викликає зниження техніко-економічних показників автомобілів, підвищує токсичність газів, що відпрацювали. Процес діагностування ГРМ в умовах АТП та СТО відрізняється низькою інформативністю, високою трудомісткістю та значним часом простою автомобілів.

Запропоновано метод тестового впливу на двигун при діагностуванні приводу ГРМ у вигляді його функціонування в режимі малих оборотів холостого ходу з підключеною системою вимірювання тиску повітря у впускному колекторі та стробоскопічною системою вимірювання кута повороту колінчастого валу.

Встановлено, що фаза коливань тиску у впускному колекторі може бути використаний як діагностичний параметр при оцінці положення розподільного валу, а індивідуальний характер коливань тиску для кожного стану приводу ГРМ дозволяє ідентифікувати його несправності.

Об'єкт дослідження - процес діагностування приводу ГРМ автомобільних двигунів, заснований на аналізі газодинамічних характеристик процесів у впускному колекторі та їх взаємозв'язках із величиною кутів положення розподільного валу в умовах експлуатації.

Предмет дослідження - параметри, що характеризують процеси газообміну у колекторі впускного автомобільних двигунів внутрішнього згоряння при їх функціонуванні.

Вступ

Однією з найважливіших складових частин транспортного та енергетичного машинобудування є двигунобудування. На теперішній час існує тенденція до зменшення металоємності та підвищення ефективності та потужності сучасних двигунів внутрішнього згорання при одночасному збільшенні їх надійності та довговічності. При цьому існує необхідність в розширенні комплексу науково-дослідних робіт щодо вузлів і деталей, що входять до складу двигуна, їх працездатності та достовірності діагностування.

В умовах експлуатації транспортних двигунів внутрішнього згорання їм властива значна мінливість режимів за потужністю і частотою обертання [2,3]. Від сил тиску газів та інерційних сил мас відбувається вплив на деталі двигуна у кожному циклі, що у результаті знижує розрахунковий запас циклічної міцності елементів конструкції до небезпечних меж [3, 4].

Робота двигунів внутрішнього згорання є досить надійною на сучасному етапі розвитку двигунобудування. Це залежить значною мірою від безвідмовної роботи всіх вхідних елементів конструкції. Імовірність їх пошкодження має бути низькою при множинності однотипних елементів у складі конструкції.

Згідно наукових досліджень [5, 6], газорозподільні механізми (ГРМ) є відповідальними складовими двигунів внутрішнього згорання, які працюють безпосередньо в зоні протікання робочого процесу всередині циліндра. Недостатня надійність деталей ГРМ може призвести в процесі експлуатації до пошкодження гільзи циліндра та інших відповідальних деталей, що приводить до виходу з ладу всього двигуна і, як наслідок, великих матеріальних витрат на відновлення.

В результаті впливу високого нерівномірного нагрівання до температур активного корозійного середовища, механічного зношування, ударних навантажень і вібрацій, що виникають від різних збуджуючих факторів, що приводить до того, що деталі газорозподільного механізму працюють у найважчих умовах.

Зміна технічного стану елементів ГРМ призводить до погіршення потужносних, економічних та екологічних показників двигуна, зниження експлуатаційної надійності та збільшення витрат на ТО та ремонт. Високий коефіцієнт варіації зносу профілю кулачків розподільчого валу ($\kappa=0,3...0,7$ і більше) ускладнює прогнозування та профілактичну роботу щодо попередження відмов та несправностей ГРМ у рамках існуючої планово-попереджувальної системи ТО та ремонту.

Підвищення ефективності використання ДВЗ можливе вдосконаленням технологій ТО та ремонту за рахунок впровадження більш досконалих методів та засобів діагностування ГРМ, що реалізують методологію адаптивного управління технічним станом ДВЗ у процесі експлуатації.

Вирішенню теоретичних та практичних завдань технічної діагностики на автомобільному транспорті з досліджуваного питання присвячені роботи вчених Akiba K., Assanis DN, Polishak M., Mauer GF, Toshikazu J., Hideki O. та інших. Результати їх наукової та практичної діяльності знайшли відображення у сучасних поглядах та підходах до подальшого розвитку діагностики та управління технічною експлуатацією автомобілів.

Враховуючи вищевикладене, доцільно приділяти значну увагу щодо забезпечення працездатності ГРМ шляхом періодичного контролю їх технічного стану.

У зв'язку з цим актуальність зазначеного напрямку полягає у розробці нових або удосконаленні існуючих методів діагностування газорозподільних механізмів.

Актуальність теми. Двигуни, що застосовуються на автомобілях, є, як правило, поршневыми, чотиритактними. Усі вони мають механічний привод клапанів газорозподільного механізму (ГРМ) від кулачків розподільного валу.

При експлуатації автомобілів у приводі ГРМ їх двигунів можливі зміни, що викликають відхилення положення розподільних валів від норми за збереження

синхронності обертання. Це призводить до фазового зсуву моментів відкриття та закриття клапанів (щодо положення колінчастого валу), до зміни кількості та якісного складу робочої суміші, до збільшення обсягу відпрацьованих газів, зниження роботи газових сил. В результаті падає потужність двигуна, знижується продуктивність автомобіля, збільшується витрата палива і токсичність газів, що відпрацьовали.

Порушення положення розподільного валу важко виявити без застосування спеціального обладнання та часткового, вельми трудомісткого розбирання двигуна. Ознаки порушення положення розподільного валу ідентичні до ознак несправностей систем живлення, запалення, холостого ходу.

Існуючі методи визначення положення розподільного валу мають цілу низку недоліків. Одні вимагають часткового розбирання двигуна, викликаючи тривалі простої автомобіля, інші малоінформативні, мають високу трудомісткість та вимагають високу кваліфікацію виконавців. Відсутня бортова система діагностики приводу ГРМ. У списку діагностичних кодів несправностей за стандартом OBD II відсутні коди відповідні аномальному положення розподільного валу. Тому, багато автомобілів продовжують експлуатуватися з відхиленнями у приводі ГРМ, маючи знижену продуктивність, підвищену витрату палива та токсичність газів, що відпрацьовали.

Положення посилюється тим, що використання малоефективних методів діагностування приводу ГРМ призводить до великих простоїв автомобілів при технічному обслуговуванні та ремонті (ТО та Р), великих виробничих та фінансових витрат від помилок діагностування.

Протиріччя між прагненням знизити тимчасові, виробничі та фінансові витрати, підвищити інформативність діагностування газорозподільного механізму за рахунок обґрунтування, розробки та впровадження високоінформативного

оперативного методу, з одного боку, та рівнем знань про закономірності процесів формування діагностичних параметрів, що характеризують зміни початкових кутів установки зв'язків з основними показниками процесів функціонування двигуна та автомобіля, з іншого боку, породжує проблемну ситуацію, на вирішення якої спрямована ця кваліфікаційна робота.

Тому, розробка нового високоінформативного та оперативного методу визначення початкових положень валів ГРМ є актуальним завданням. Її рішення дозволить знизити тимчасові, виробничі та фінансові витрати при виконанні робіт ТО та Р, підвищити техніко-економічні та екологічні показники автомобілів в умовах експлуатації.

В якості робочої гіпотези прийнято твердження про те, що зміна початкових положень валів ГРМ викликає зміну параметрів, що характеризують газодинамічні процеси у колекторі впускного двигуна, а контроль цих параметрів дозволить визначати величину кутів положення розподільного валу.

Метою роботи є зниження виробничих та фінансових витрат при виконанні робіт ТО та Р, підвищення техніко-економічних та екологічних показників автомобілів в умовах експлуатації на основі нового методу діагностування приводу ГРМ їх двигунів.

Для досягнення мети слід виконати наступні **завдання**:

1. Науково обґрунтувати метод діагностування приводу ГРМ двигуна автомобіля за параметрами газодинамічних процесів у впускному колекторі, режими тестового впливу та діагностичні параметри, що дозволяють визначати кути початкової установки розподільних валів.
2. Виконати експериментальну перевірку розробленого методу діагностування приводу ГРМ, визначення початкового положення його валів та дати йому техніко-економічну оцінку.

Об'єкт дослідження - процес діагностування приводу ГРМ автомобільних двигунів, заснований на аналізі газодинамічних характеристик процесів у впускному колекторі та їх взаємозв'язках із величиною кутів положення розподільного валу в умовах експлуатації.

Предмет дослідження - параметри, що характеризують процеси газообміну у колекторі впускного автомобільних двигунів внутрішнього згорання при їх функціонуванні.

Науковою новизною є:

- метод діагностування приводу ГРМ, заснований на аналізі інформації, що надходить від електронних систем, що вимірюють кут повороту колінчастого валу, а також характер коливань тиску повітря у впускному колекторі робітного автомобільного двигуна.

- діагностичні параметри, що дозволяють оцінювати величину кутів початкового положення валів ГРМ у вигляді характеристик газодинамічних процесів у впускному колекторі працюючого автомобільного двигуна.

- тестовий вплив на двигун у процесі безрозбірної діагностики приводу ГРМ у вигляді його функціонування в режимі малих обертів холостого ходу з підключеною системою вимірювання тиску у впускному колекторі та системою стробоскопічної вимірювання кута повороту колінчастого валу двигуна.

Практична значимість. Впровадження методу діагностування приводу ГРМ у технологічний процес авторемонтних підприємств та сервісних центрів технічного обслуговування дозволить підвищити якість ремонтних робіт та технічного обслуговування АТЗ, а також підвищити техніко-економічні та екологічні показники автомобілів в умовах експлуатації.

На автотранспортних підприємствах та станціях технічного обслуговування впровадження методу дозволить знизити тимчасові, виробничі та фінансові

витрати під час виконання робіт ТО та Р.

Автомобільним заводам спосіб визначення положення розподільного валу з використанням штатних датчиків дозволить створити системи самодіагностики приводу ГРМ, а деяких випадках спростити систему управління ДВЗ.

1. Огляд матеріально-технічної бази та виробничої діяльності підприємства

«Засновник і директор компанії «Grace Agro» - Оцабрик Дмитро Олексійович. Його накопичений багаторічний досвід у сфері роботи сільського господарства (а це і робота агрономом, і менеджером з продажу засобів захисту рослин, насіння, добрив, а також ініціатором, співзасновником і директором однієї з агрокомпаній з продажу ЗЗР, насіння, добрив на ринку України протягом 10 років) синтезувався у створення в грудні 2016 року якісно нової компанії «Grace Agro» [1].

«Грудень 2016р. засновано компанію і відкрито Кіровоградське представництво.

Березень 2017 р. започатковано напрямок з продажу сільгосптехніки та запчастин – «GraceAgroTeh» і відкрито представництво компанії у м. Миколаїв.

У 2018 року відкрито представництво у м. Черкаси

У 2019 р. з'явився напрям - продаж техніки б/в з Європи і США та відкрито представництва у м. Київ та м. Львів.

У 2020 р. відкрито представництва компанії у Запорізькій обл., м. Вінниця .

На початку 2021 року відкрито Полтавське представництво компанії.

Принципи роботи підприємства. У назві компанії слово «grace» -з англ. «благодать» - відображає головний принцип роботи: працювати на благо сільгоспвиробника. Професійність менеджерів, якісний товар, грамотність підходу

до технології вирощування є потужним комплексним інструментом у досягненні мети – високих врожаїв і гарних прибутків. ТОВ "АгроТорг" здійснює свою діяльність на підставі статуту та чинного законодавства України.

Форма власності – приватна.

Мета діяльності підприємства – отримання прибутку.

Вид економічної діяльності підприємства – сільське господарство. Основними видами діяльності ТОВ "«Grace Agro»" є рослинництво; оптова торгівля зерном, насінням та кормами» [1].

«ТОВ "«Grace Agro»" є одним із провідних товаровиробників агропромислового комплексу Кіровоградської області» [1].

«Основними споживачами продукції ТОВ "«Grace Agro»" є юридичні особи, які займаються рослинництвом.

Підприємство провадить діяльність як на території Кіровоградської області, так і за її межами.

Можливі негативні чинники, які можуть спричинити збут продукції: загальне зниження економічної активності країни, погіршення економічного становища підприємства, інфляція.

ТОВ "«Grace Agro»" належить до лінійного типу організаційної структури.

Керівництво діяльністю ТОВ „«Grace Agro»" здійснює генеральний директор. У прямому підпорядкуванні перебувають комерційний директор, зам. ген. директора з інженерно-технічних питань, заст. ген. директора з господарської частини, заст. ген. директора з рослинництва, працівники юридичного відділу, інспектор відділу кадрів та секретар. Комерційний директор своєю чергою відстежує економічну діяльність організації.

Під його контролем перебуває діяльність бухгалтерії та рекламна діяльність. Зам. ген. директора з інженерно-технічних питань контролює роботу інженерно-технічного відділу. Даний відділ стежить за станом будівель, обладнання та транспорту організації – організують ремонтні роботи та оновлення майна. Зам.

ген. директора з господарської частини контролює роботу тих. службовців, які забезпечують чистоту та порядок на робочих місцях (офіс та виробничі приміщення) співробітників. Зам. ген. директора з рослинництва контролює діяльність відділу рослинництва, співробітники якого своєю чергою всю роботу виробничого відділу. Їхня діяльність спрямована на донесення цілей та завдань, встановлених керівництвом, контроль та організацію їх виконання.

Таким чином, цей тип організаційної структури дозволяє генеральному директору контролювати всі сфери діяльності підприємства та залишає можливість приймати самостійні рішення керівникам кожної сфери» [1].

2. Аналіз стану питання

2.1 Характеристика газорозподільного механізму автотракторного двигуна

Газорозподільний механізм (ГРМ) забезпечує своєчасне впускання у циліндри свіжого заряду паливної суміші та випускання газів, що відпрацювали. Він включає елементи приводу, розподільну шестерню, розподільний вал, деталі приводу клапанів, клапана з пружинами і напрямні втулки [2].

Розподільний вал служить для відкриття клапанів у певній послідовності відповідно до порядку роботи двигуна. Розподільні вали відливають із спеціального чавуну або відковують із сталі. Поверхні розподільних валів, що труться, для зменшення зносу піддаються гартуванню за допомогою нагрівання струмами високої частоти.

Розподільний вал може встановлюватися в картері двигуна або в головці блоку циліндрів. Виготовляються двигуни з двома розподільними валами, що розташовуються в головці циліндрів (у багатоклапанних двигунах). Один використовується для керування впускними клапанами, другий - випускними. Така конструкція називається DOHC (Double Overhead Camshaft). Якщо розподільний вал один, такий ГРМ називається SOHC (Single OverHead Camshaft). Розподільчий вал обертається на циліндричних шліфованих опорних шийках.

«Привід клапанів здійснюється розташованими на розподільчому валу кулачками. Кількість кулачків залежить від кількості клапанів. У різних конструкціях двигунів може бути від двох до п'яти клапанів на циліндр (3 клапани — два впускні, один випускний; 4 клапани — два впускні, два випускні; 5 клапанів — три впускні, два випускні). Форма кулачків визначає моменти відкриття і закриття клапанів, а також висоту їх підйому. Ланцюговий привід відрізняється надійністю, але його будова складніша і ціна вища. Пасовий привід суттєво простіший, але ресурс зубчастого пасу обмежений, а у разі його розриву можуть настати тяжкі наслідки для двигуна» [3].

«Робочий цикл чотиритактного двигуна відбувається за два оберти колінчастого валу. За цей час повинні послідовно відкритися впускні та випускні клапани кожного циліндра. Тому, розподільний вал повинен обертатися вдвічі повільніше колінчастого валу, отже, шестерня розподільного валу завжди вдвічі більша шестерні колінчастого валу. Клапани в циліндрах повинні відкриватися і закриватися в залежності від напрямку руху та положення поршнів у циліндрі. При такті впуску коли поршень рухається від в.м.т. до н.м.т., впускний клапан повинен бути відкритий, а при тактах стиснення, робочого ходу та випуску закритий» [4, 5].

«Привід клапанів може здійснюватись різними способами (рис. 2.1, 2.2). При нижньому розташуванні розподільного валу, в картері двигуна, зусилля від кулачків передається через штовхачі, штанги та коромисла. При верхньому розташуванні можливі три варіанти: привід коромислами, привід важелями та привід штовхачами» [3].

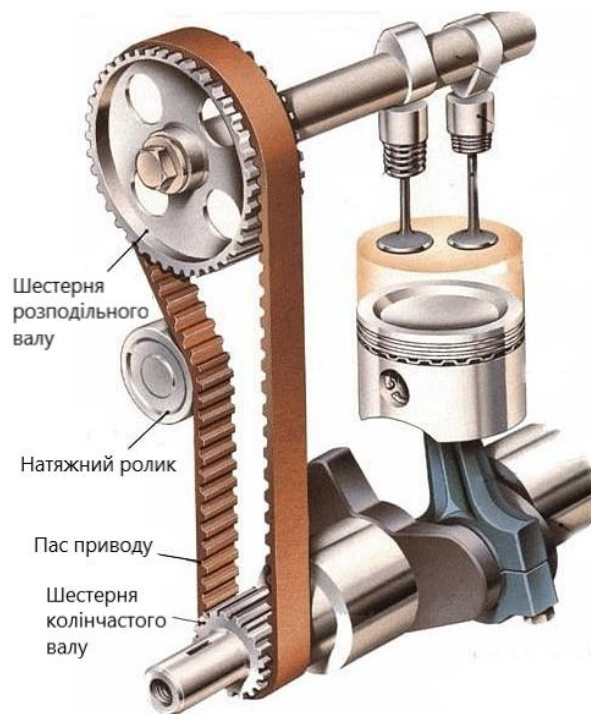
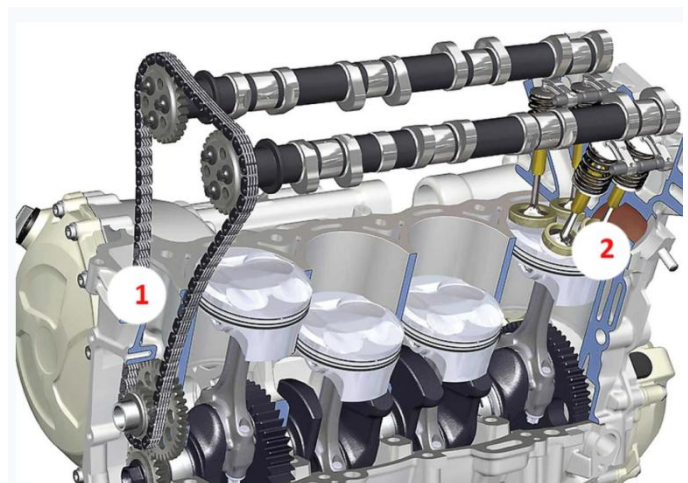
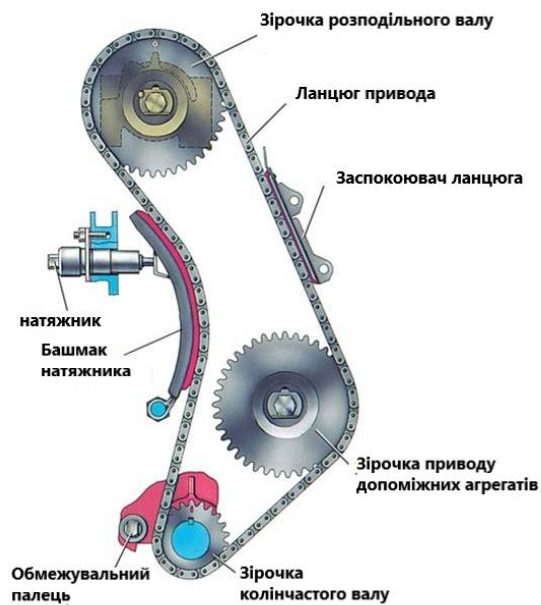


Рисунок 2.1 – Пасовий привід розподільного валу



1 – ланцюговий привід; 2 – механізм ГРМ;

Рисунок 2.2 - Ланцюговий привід розподільного валу

«Коромисла (інші назви - роликовий важіль або рокер) виготовляють із сталі. Коромисло встановлюють на порожнисту вісь, закріплену в стійках на головці

циліндрів. Однією стороною коромисла упираються в кулачки розподільного валу, а іншою впливають на торцеву частину стрижня клапана. В отвір коромисла для зменшення тертя запресовують бронзову втулку. Від поздовжнього переміщення коромисла утримується за допомогою циліндричної пружини. Під час роботи двигуна у зв'язку з нагріванням клапанів їх стрижні подовжуються, що може призвести до нещільної посадки клапана в сідло. Тому, між стрижнем клапана та носком коромисла має бути певний тепловий зазор» [4].

«У другому варіанті розподільний вал розташовується над клапанами, і приводить їх у дію за допомогою важелів. Кулачки розподільного валу діють на важелі, які, повертаючись на сферичній головці регулювального болта, іншим кінцем натискають на стрижень клапана та відкривають його. Існують ГРМ, в яких між важелем та клапаном встановлюється гідрокомпенсатор. Такі механізми не вимагають регулювання зазору» [3].

«І, нарешті, при третьому варіанті приводу розподільний вал при обертанні впливає безпосередньо на штовхач клапана. Існує три варіанти виконання штовхачів - механічні (жорсткі), гідроштовхачі (гідрокомпенсатори) та роликові штовхачі» [3].

«Клапани служать для періодичного відкриття та закриття отворів впускних та випускних каналів. Клапан складається з головки та стрижня. Головка клапана має вузьку, скошену під певним кутом фаску. Фаска клапана має щільно прилягати до фаски сідла. З цією метою їх взаємно притирають. Головки впускних та випускних клапанів мають неоднаковий діаметр. Для кращого наповнення циліндрів свіжою займистою сумішшю діаметр головки впускного клапана роблять більше. Клапани під час роботи двигуна нагріваються неоднаково. Випускні клапани, що контактують із відпрацьованими газами, нагріваються більше. Тому їх виготовляють із жаротривкої сталі.

Клапан притискається до сідла за допомогою сталеві циліндричної пружини. Для зменшення проникнення оливи по стрижням клапанів в камеру згоряння двигуна на стрижні клапанів надіті масло відбивні ковпачки» [3].

2.2 Умови роботи деталей газорозподільних механізмів автотракторних ДВЗ

В процесі експлуатації двигуна деталі ГРМ піддаються зношуванню. Розглянемо умови роботи основних деталей ГРМ.

Розподільний вал. Розподільний вал працює при високих знакозмінних навантаженнях. Недостатність мащення, високі динамічні навантаження викликають механічний знос, призводять до накопичення втоми в деталі [6].

При обертанні розподільного валу він сприймає напруження кручення та згинання.

Так спряження «кулачок розподільного валу – коромисло» працюють в умовах граничного мащення, причому циклічна частота напруження стискання досягають 1700 МПа, а колова швидкість 3,34 м/с. Вершина кулачка розподільного вала працює на ковзання та стирання. Напруження стискання на вершині кулачка досягає такого значення, при якому пластичне деформування металу викликає розривання масляної плівки та настає безпосередня взаємодія контактуючих поверхонь.

Розподільний вал двигуна являється однією з відповідальних та складних деталей машини поряд з такими як блок циліндрів, колінчатий вал, поршень та шатун.

Зношування елементів розподільного валу негативно впливають на роботу двигуна в цілому, тому що робота цієї деталі пов'язана з роботою газорозподільного механізму, з порушеннями регулювань цього механізму.

При максимальному зносі опорних шийок розподільного валу відбувається підвищена витрата масла, з'являється стук в механізмі газорозподілення, знижується стійкість роботи двигуна.

При зносі кулачків розподільного вала порушується регулювання клапанів, відбувається зміна фаз газорозподілення.

Кулачки зношуються по висоті на робочій ділянці профілю. В результаті змінюється висота піднімання клапанів та їх час-переріз. Їх зменшення приводить до відповідного зношення коефіцієнта наповнення циліндра свіжим повітрям, збільшенню кількості залишкових газів і викликає падіння потужності і економічності двигуна. Крім того порушується кінематика руху клапана зростають динамічні навантаження на клапани і деталі механізму приводу, що інтенсифікує зношування.

Погнутість вала призводить до інтенсифікації зносу кулачків, опорних шийок розподільного вала.

Отже, визначення та усунення дефектів розподільного вала являється необхідним заходом в технологічному процесі ремонту двигуна.

Опорні шийки розподільного валу змащуються під тиском, проте внаслідок присутності абразивних часток в моторній оливі вони піддаються інтенсивному зношуванню.

Кулачки розподільного валу працюють в умовах граничного тертя, що обумовлює їх інтенсивне зношування.

Також, в процесі експлуатації двигуна розподільний вал може сприймати ударні навантаження або впливи, що трапляються внаслідок поломок інших деталей двигуна.

Частки бруду, що мають місце в оливі (дрібні частинки нагару або пилу, лакові відкладення) – основна причина зношування опорних шийок розподільного валу. Частинки бруду, що потрапляють із потоком оливи, спричиняють відкладення у каналах у блоці чи головці циліндрів, і в результаті можуть призвести до заклинювання деталей механізму ГРМ.

В результаті зношування деталей збільшуються зазори в клапанному механізмі, що викликає надмірний шум і заважає нормальному руху клапана.

Для запобігання зносу, кулачки, штовхачі та вкладиші (і інші рухомі деталі двигуна) покриваються тонкою плівкою мастила, і будь-які тверді частинки, що залишилися в маслі, стають абразивом, який швидко руйнує поверхню деталей або застрягає в малих зазорах.

Підвищення температури зазвичай є результатом підклинювання деталей, наприклад, в результаті застрягання штовхача в отворі або засмічення каналу.

Клапан—направляюча втулка клапана-сідло. У спряженні «клапан-втулка-сідло» направляюча втулка є основою базування клапана, а від її стану залежить, наскільки правильно працює весь клапанний механізм [7, 8].

Внаслідок спрацювання спряження «клапан-направляюча втулка» зростає витрата мастила, підвищиться шум двигуна і повністю або частково порушується робота клапанного механізму.

Клапан у направляючій втулці під роботи виконує не тільки зворотно-поступальний рух, а ще кутові переміщення в межах зазору. Все це відбувається з дуже великими прискореннями. В результаті тривалої роботи поверхня направляючої втулки зношується і розбивається. Це призводить до того, що зростають бічні навантаження, які, у свою чергу, перешкоджають необхідному обертанню клапана в направляючій втулці. Починається одностороннє спрацювання деталей у спряженні, збільшується витрата оливи. Коли спрацювання спряження «клапан-направляюча втулка» перевищує допустимі межі, їх подальше спрацювання різко інтенсифікується, процес проходить лавиноподібно, що може призвести до ремонту або заміни головки циліндрів.

Зношення деталей спряження «клапан-направляюча» відбувається в умовах граничного тертя і при високих температурах. При граничному терті поверхні спряжених деталей розділені тонким шаром змащувального матеріалу (від товщини одної молекули до 0,1 мкм). Коли деталь знаходиться під навантаженням виникає міцна і пластична деформація на площинах контакту, тобто на площинах найбільш близького прилягання поверхонь спряження, які покриті граничним шаром змащувального матеріалу. На площинах контакту може виникнути взаємне проникнення поверхонь без порушення цілісності змащувального шару.

На площинах контакту, які піддаються найбільш значній пластичній деформації, і в місцях з високими температурами може відбутися руйнування змащувальної плівки з настанням адгезії на поверхнях, що оголилися і навіть схоплювання металів на мікроділянках. Це призводить до виникнення додаткового

опору для руху деталей, що підвищує в свою чергу швидкість спрацювання даного спряження.

Завдяки рухомості молекул змащуючого матеріалу на поверхні тертя адсорбція проходить з великою швидкістю, що надає змащувальній плівки якості «самозалікування» при місцевих її пошкодженнях. Ця якість відіграє велику роль в попередженні лавинного процесу схоплювання [8, 9].

Невідновлена гранична плівка по мірі збільшення шляху тертя спрацьовується, мастило із плівки впитується на продукти зношування і видаляється з поверхні тертя; відбувається процес сублімації плівки і видалення мастила в навколишню атмосферу. Окислення плівки призводить до дезорієнтації структури і повного руйнування її.

Форма і матеріал направляючої втулки клапана підібрані з урахуванням великої швидкості переміщення клапана у втулці, високого температурного навантаження і обмеженого змащення пари тертя «втулка-клапан».

Якщо головка блоку циліндрів зроблена з чавуну, то нерідко сідла і направляючі втулки клапанів являють собою єдине ціле з головкою блоку. Така конструкція забезпечує співісну, а отже, точнішу посадку клапана на сідло, що знижує температуру впускних і випускних клапанів. Для фіксації втулки по висоті в головці блоку циліндрів на її зовнішній поверхні зазвичай є опорний буртик. Іноді замість нього використовується розрізне опорне кільце. Якщо ж втулка зовні гладенька, то для її встановлення в головку знадобиться спеціальні оправки або дистанційна втулка.

Направляючі втулки впускних клапанів не повинні занадто виступати у впускному каналі, щоб не підвищувати його аеродинамічний опір. А вісь втулки випускних клапанів, навпаки, повинні закривати стержень клапана на максимальну довжину для захисту від розжарених випускних газів і для кращого тепловідведення від стержня випускного клапана. Якщо направляючі втулки виготовлені з бронзи або латуні, то вони зазвичай мають однакову довжину, оскільки ці сплави володіють високою теплопровідністю.

Для забезпечення співвісності сідла і тарілки клапана необхідна висока точність виготовлення втулки. Крім того, зовнішня поверхня втулки, що запресовується в головку блоку, повинна бути оброблена з високим ступенем чистоти поверхні і не повинна мати рисок і подряпин. Це робиться для поліпшення тепловідводу від втулки до головки блоку циліндрів.

2.3 Основні несправності газорозподільного механізму та дефекти його деталей.

Всі несправності газорозподільного механізму можливо класифікувати на несправності механізму ГРМ та його приводу (рис. 2.3) [10].

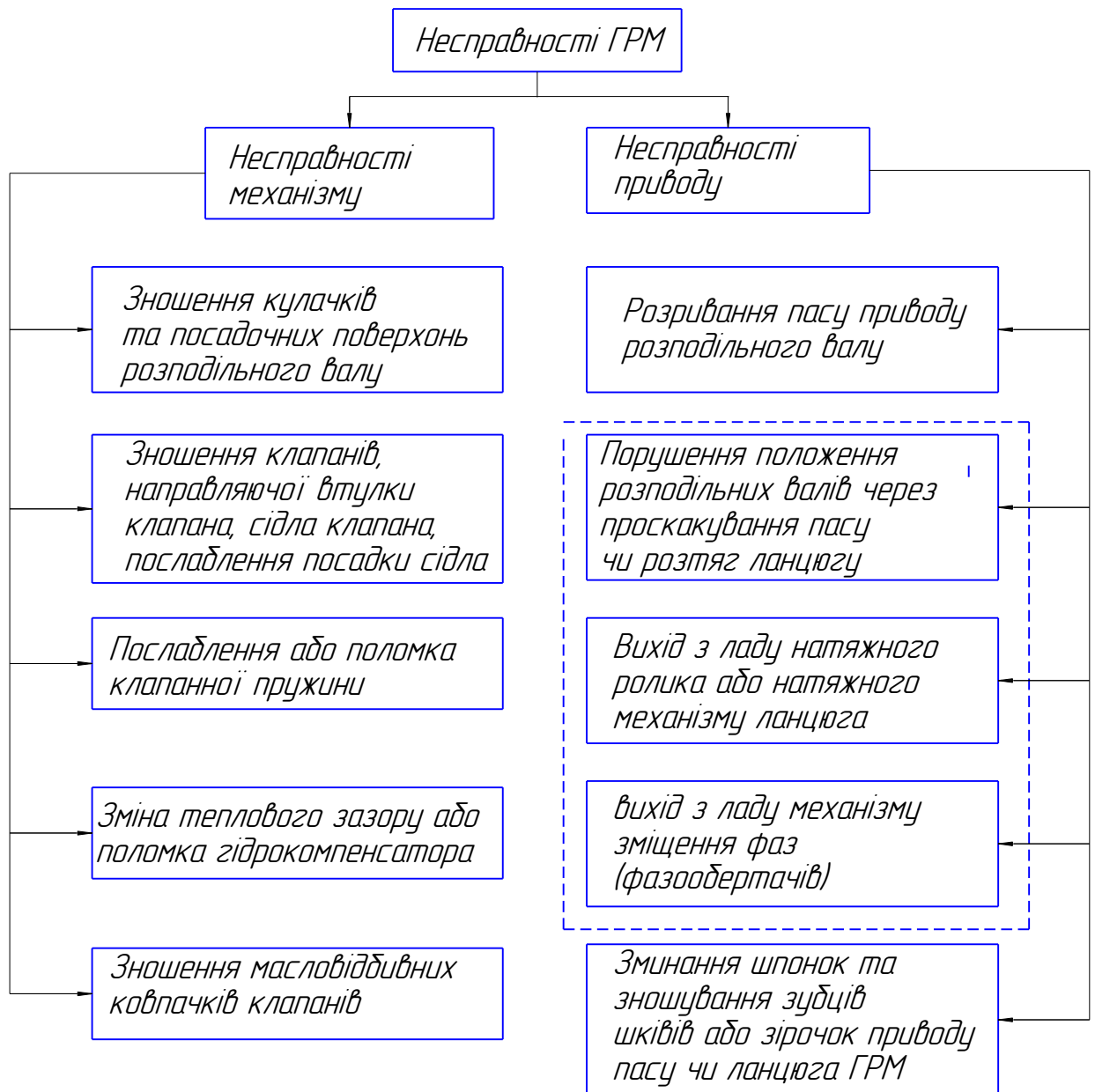


Рисунок 2.3 – Класифікація несправностей ГРМ

Дефекти розподільного валу. Основними дефектами розподільних валів є: згин, спрацювання кулачків, опорних і посадочних шийок, шпонкових канавок, а також спрацювання і пошкодження посадочних місць під шківви, зірочки або шестерні (рис. 2.4-2.6) [11].



Рисунок 2.4 - Зношення кулачків розподільного валу.



Рисунок 2.5 - Зношення опорних шийок розподільного валу.



Рисунок 2.6 - Зношення посадочного місця під шків.

Зношування та дефекти клапанів. Клапани мають такі дефекти: знос стебла (до 75%), знос робочої фаски (26-48%), биття робочої фаски (2-3%), прогар тарілки, обрив клапана (2-8%).

До 90% стрижнів випускних та 60% впускних клапанів вантажних автомобілів [12, 13, 14] мають граничні зноси, що досягають 0,12-0,13 мм і вимагають заміни або ремонту. Найбільша овальність стрижнів – 0,03 мм (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 - Зношення стержня та фаски клапана.

«Биття фасок при експлуатації зростає в порівнянні з биттям нових клапанів майже в 3 рази і досягає в середньому 0,053 мм. Биття робочої фаски щодо осі стержня призводить до нещільної посадки клапана та порушення герметичності сполучення, зменшення наповнення циліндра свіжим повітрям. Биття фасок сидел щодо осі втулок також різко зростають у міру збільшення напрацювання двигунів і в середньому складають: впускного – 0,12, випускного – 0,23 мм, а максимальні – відповідно до 0,40 та 0,55 мм» [14, 15].

Зміна теплового зазору клапанного механізму. Зменшення або збільшення теплового зазору від значень оптимальної заданої величини погано впливає на функціонування двигуна. При занадто збільшеному зазорі збільшуються ударні навантаження і прискорюється знос пар клапанного механізму. При дуже малих – не досягається герметичність камери згоряння, і ДВЗ не розвиває максимальної потужності, клапани можуть перегріватися, що як правило спричиняє прогорання фасок. Перевірці та регулюванню зазорів необхідно приділяти першорядну увагу.

Найбільш небезпечним є зменшення зазору для випускного клапана [14]. Клапан в цьому випадку раніше відкривається і пізніше закривається, час перетікання гарячих газів через малу щілину збільшується, а час, коли клапан закритий і повинен охолоджуватися, віддаючи тепло через сидло в рідину, що охолоджує, скорочується. Зменшений зазор – найчастіша причина підгорання робочих фасок.

Збільшення теплового зазору призводить до появи стукотів у механізмі газорозподілу. Збільшення регульовального зазору істотно позначається на зростанні швидкості посадки клапана. У свою чергу, знос сидла та фаски клапана багато в чому визначається швидкістю посадки клапана.

Крім того, початкова величина теплового зазору в механізмі, величина нестійка, яка залежить від якості виготовлення та температури деталей. Згідно з дослідженнями [15, 16], тепловий зазор у механізмі газорозподілу дизельних двигунів змінюється за випадковим законом – у процесі експлуатації зафіксовано як збільшення, так і зменшення теплового зазору.

Інтенсивність зміни знаходилася в межах (мм/мото-год.):

- для впускних з'єднань: - позитивна (збільшення зазору) – $0+0,045$; -
Негативна (зменшення зазору) - $0,01-0,062$;

- для випускних з'єднань: - позитивна (збільшення зазору) – $0+0,094$; -
Негативна (зменшення зазору) - $0,07-0,051$.

Зношування та дефекти клапанних сидел. Основною несправністю, що обмежує термін служби головок циліндрів (ГБЦ), є зношування клапанних сидел (рис. 2.8). Виявляється цей дефект у підвищених утопаннях клапанів, що у свою чергу є однією з причин зниження потужнісних та економічних показників двигунів.

За даними [13, 14], збільшення утопання клапанів дизельних двигунів від номінального (1,15-1,6 мм) до граничного (3,5 мм) веде до зростання витрати палива на 10,5% та зниження потужності на 10% . Водночас відзначається збільшення витрати оливи на 10%, підвищення температури випускних пар – на 7...8%.



Рисунок 2.8 - Аварійне зношування сідел клапанів.

«Зношування сідел впускних клапанів наприклад, двигунів, ЯМЗ-236 знаходяться в межах 0,3...1,3 мм і в середньому складають 0,66 мм; зноси випускних сідел становлять 0,1-0,7 мм, а середньому 0,20 мм. Зношування впускних сідел вище зносу випускних у 3 рази. Тарілки клапанів цих двигунів, наплавлені сплавом ВК, зношуються зазвичай у 3 рази менше, ніж їх гнізда, і в середньому складають впускного – 0,20 та випускного – 0,06 мм. Швидкість зношування впускних сідел відремонтованих двигунів ЯМЗ-236 становить близько 62 мкм/1000 мото-год. Ресурс клапанних сідел двигунів ЯМЗ-236 становить 10...11 тис. мото-год» [13].

«Випускні клапанні сідла, незалежно від конструктивного виконання головок, зношуються менше, ніж впускні. Це відбувається в основному з таких причин:

- тарілки впускних клапанів мають підвищену масу (стосовно випускних);
- наявність нагару і всмоктування з повітрям деякої кількості пилу призводить до більш інтенсивного їх зношування» [13].

Сідла випускних клапанів менш схильні до зносу через те, що температура в камері згоряння дуже висока і тому відбувається часткове згоряння нагару і пилу. Крім того, частина пилу осідає на стінках гільз. В результаті через випускні клапани проходить нагар і пил більш подрібненими та менш агресивними в абразивному відношенні та в меншій кількості.

Дефекти клапанних пружин. Клапанними пружинами значною мірою забезпечується щільність прилягання клапанів. В результаті спільної дії попередньої статичної та циклічно мінливої динамічної навантажень початкова висота і жорсткість пружин зменшуються.

Дефектація пружин клапанів двигунів ЯМЗ-236, що надійшли в капітальний ремонт, показала, що пружність всіх пружин (вибірка 64 штуки) відповідала технічним вимогам, а саме: внутрішній – не менше 225 Н (новий 245+15 Н), зовнішній – не менше 113 Н (новий 125+7,5 Н). І, навпаки, у 87% пружин висота у вільному стані зафіксована менше, ніж у нових виробів, зазвичай на 1-2 мм.

При експлуатації двигунів, близько 90% пружин коротшають на 0,5-3 мм (або на 2-5%); до 45-55% пружин втрачають пружність на 4-25%.

Клапанні пружини двигунів мають різні зусилля попереднього затягування. Відомо, що при збільшенні зусилля попередньої затяжки пружин від 137 Н до 358 Н (тобто в 2,5 рази) знос пар клапан-гніздо збільшується приблизно на 20%. Усадка клапанних пружин на 1...3 мм при збереженні пружності (на робочій висоті) не позначається на робочих параметрах двигунів. З іншого боку, при зниженні пружності пружин двигуни втрачають потужність при одночасній перевитраті палива - за даними [15], у разі зниження пружності пружин на 25% втрата потужності двигуном досягає 17%, і питома витрата палива підвищується на 19%.

Згідно з рекомендаціями технічних вимог, при капітальних ремонтах двигунів зниження пружності клапанних пружин, наприклад сімейств ЯМЗ і ММЗ, допускається не більше ніж на 5...15%.

Наведені дані свідчать про необхідність пошуку оптимальних співвідношень жорсткості та попередньої затяжки пружин та призначення жорсткіших вимог до дефектації клапанних пружин при капітальному ремонті.

Зношування та дефекти напрямних втулок клапана. Основним дефектом направляючих втулок є підвищений знос внутрішньої поверхні, викликаний тривалою (не меншого 60-100 тис. км. для вітчизняних і 150-200 тис. км. для іноземних автомобілів) експлуатацією двигуна. Проте, застосування неякісних

мастил різко скорочує ресурс втулок, не кажучи вже про двигун в цілому. Тривала експлуатація двигуна з неправильно виставленими тепловими зазорами клапанів також є причиною нерівномірного зносу направляючої втулки. Це відбувається через підвищення бічних навантажень на стержень і погіршення обертання клапана. Збільшений зазор в парі «стержень клапана – втулка» приводить до підвищення витрати мастила, оскільки маслосбірний ковпачок не здатний утримати мастило, причиною чого стає підвищене бічне биття клапана. Попадання мастила в камеру згорання викликає утворення нагару на клапанах і інших деталях (рис. 2.10), що обмежують камеру згорання, збільшує токсичність відпрацьованих газів.

Направляюча втулка сприймає на себе зворотно-поступальні рухи стебла клапана, що призводить до її спрацювання.

Напрямні втулки мають такі дефекти: знос внутрішньої поверхні (58-96%), ослаблення посадки (7-13%), тріщини та злами (3-10%). Зношування втулок носить виражений місцевий характер. У верхній частині втулок знос невеликий і має форму овалу, велика вісь якого перпендикулярна до поздовжньої осі двигуна. У нижній частині втулки зношуються більше, ніж у верхній із збереженням напрямку зносу – найбільше зношування спостерігається в місці удару стрижня клапана об втулку з подальшим ковзанням при граничному терті. Більше зношування впускних втулок порівняно з впускними пояснюється додатковим тепловим навантаженням у з'єднанні з клапаном.

На момент капітального ремонту зношування втулок клапанів у верхній частині зазвичай становлять 0,06...0,08 мм, а в середній 0,04-0,07 мм. У нижній частині зношування втулок вище, ніж у верхній, досягає 0,24 мм і більше, і в середньому становить 0,10...0,12 мм. Розрахунковий коефіцієнт нерівномірності зносу по довжині утворює дорівнює: для втулок впускних клапанів 3...4, для втулок впускних клапанів 8...13 [16].

Відповідно до досліджень [15], швидкість зношування впускних втулок ЯМЗ-236 до ремонту становить 0,006 мм/1000 мото-год, після ремонту - 0,020 мм/1000 мото-год., розрахунковий ресурс до ремонту - 10000 мото-год, після ремонту - 3000

мото-год. Швидкість зношування випускних втулок до ремонту становить 0,007 мм/1000 мото-год., після ремонту - 0,035 мм/1000 мото-год, розрахунковий ресурс до ремонту – 8500 мото-год, після ремонту – 1600 мото-год.

На рис. 2.9 показані втулки та сідла мають знос, близький до аварійного та ілюструють його місцевий несиметричний характер. При менших зносах втулок (до 0,20 мм) візуально даний характер не проявляється, неможливо його визначити також і при дефектуванні вимірюванням інструментом, що найчастіше застосовується – нутроміром (метод двох точок). Однак практично з початку зносу втулки відбувається зміщення фактичної осі роботи клапана, що призводить до відповідного порушення співвісності клапана і сідла. При малих зносах і, отже, перекосах, герметичність клапана та сідла забезпечується пластичним деформуванням поверхонь робочих фасок клапана та сідла.

Розглянуті в прикладі клапанні пари не мали герметичності внаслідок значного перекоосу осей клапана і сідла. Очевидно, суттєве місцеве зношування вказує на напрямок результуючої сили взаємодії сполучених деталей.

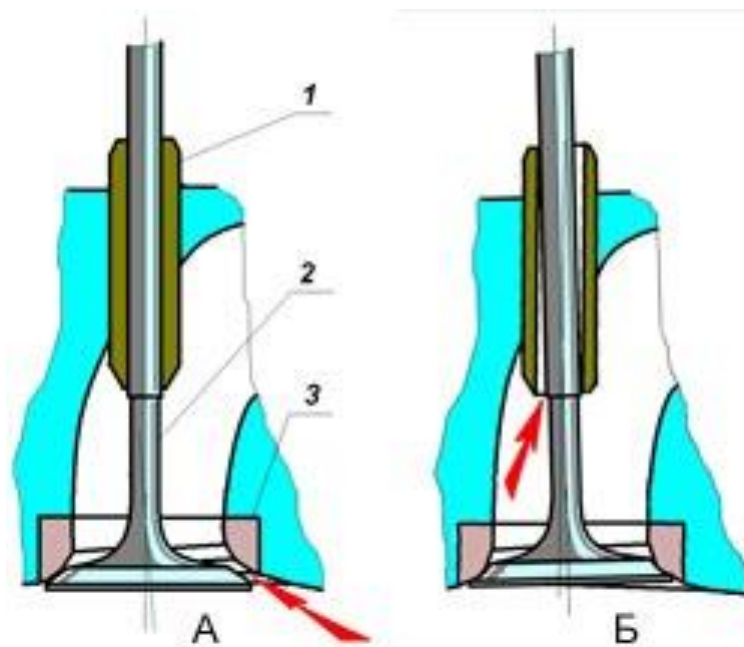


Рисунок 2.9 – Результат зношування направляючої втулки клапана.



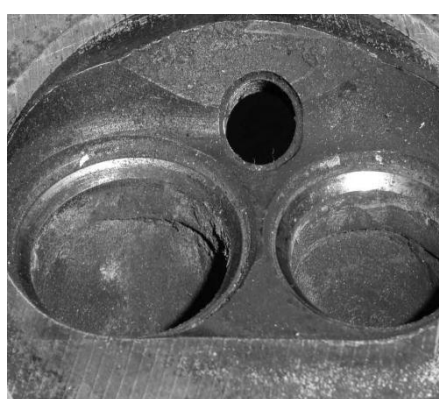
а)



б)



в)



г)

Рисунок 2.10. Наслідки спрацювання спряження «клапан-направляюча втулка»:

а) - нагар на поршні циліндрів; б) - нагар на фасці тарілки клапана; в) - нерівномірне спрацювання поршня; г) - утворення нагару в камері згорання

За даними джерел [12; 13], у двигунів, що надходять у капітальний ремонт, зазори у поєднанні клапан-втулка зазвичай вищі за номінальні в 1,5-3,5 рази. Це може призводити до підвищення витрати масла на чад через пару клапан-втулка на 18-20%, збільшення димлення відпрацьованих газів - на 10-15%.

2.4 Аналіз існуючих методів діагностування газорозподільних механізмів

2.4.1 Прослуховування двигуна. У процесі експлуатації двигуна його деталі ГРМ зношуються, що призводить до появи підвищеного рівня шуму, ударів та вібрацій [17].

«Для визначення технічного стану газорозподільного механізму двигун прослуховують при різній частоті обертання колінчастого валу. Двигун, як і будь-який інший механізм, при нормальній роботі характеризується певним акустичним фоном. Якщо виникають пошкодження, то змінюється акустичний фон. За характером стуку чи шуму і місцем його появи визначають пошкодження.

Прослуховують двигун за допомогою автостетоскопів (рис. 2.11) у яких коливання мембрани або двотранзисторний підсилювач з п'єзокристалічним датчиком та батарейним живленням підсилюють звуки» [17].

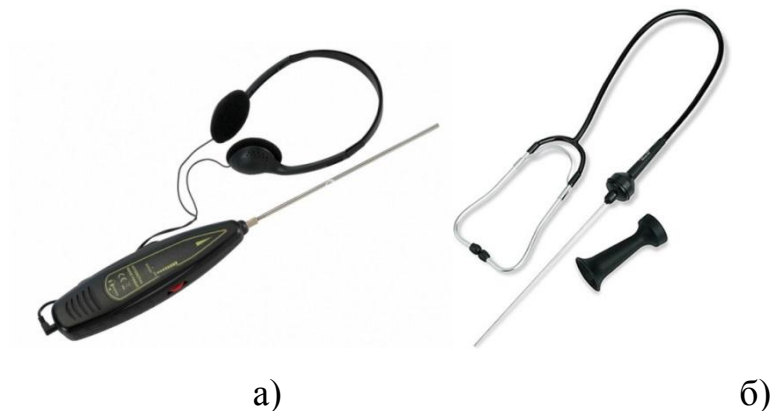
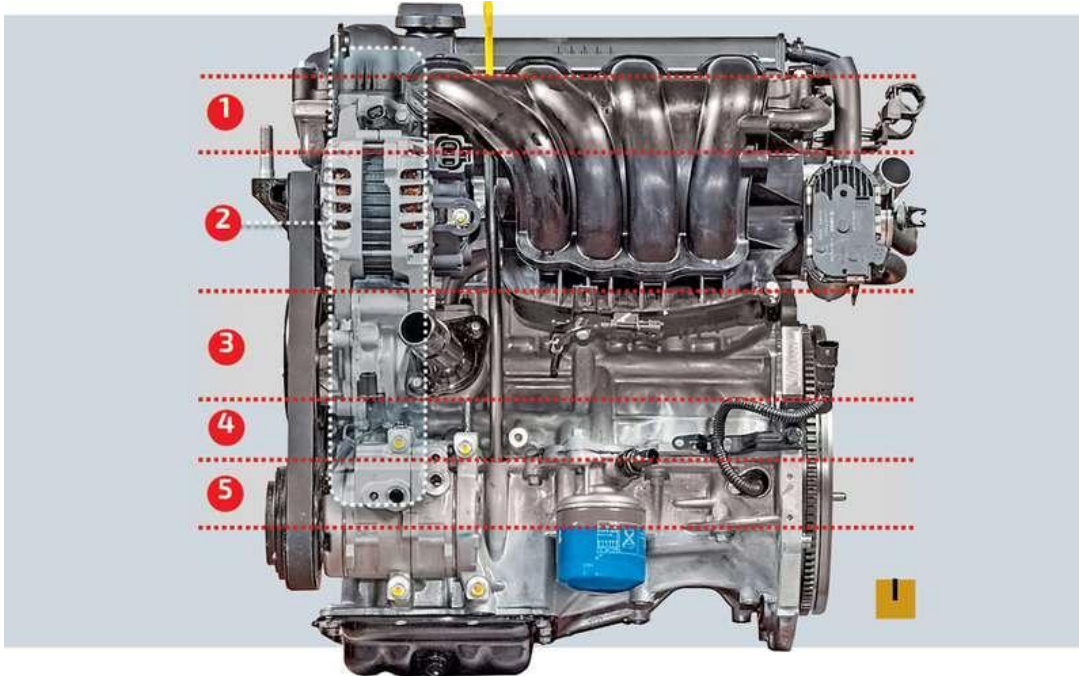


Рисунок 2.11 – Автостетоскоп:

а– електронний; *б* – механічний.

У механічній частині двигуна виділяють п'ять основних зон прослуховування (рис. 2.12). Це зони корінних та шатунних підшипників, поршневої групи, клапанів та розподільчих валів, а також приводу ГРМ, якщо він здійснюється ланцюгом або шестернями. Пасовий привід розподільних валів варто розглядати окремо.



1 – клапани та розподільні вали, 2 – ланцюговий привід ГРМ, 3 – поршнева група, 4 – шатунні підшипники, 5 – корінні підшипники.

Рисунок 2.12 - Зони шумів, що прослуховуються на поверхні базових деталей двигуна.



1 – фазообертач впускного розподільного валу, 2 – зона натягача та заспокоювача.

Рисунок 2.13 - Зони прослуховування шумів ланцюгового приводу ГРМ.

У випадку пасового приводу ГРМ прослуховуються звуки [Ш], що видаються фазообертачами одного або обох розподільних валів, натяжним і обвідним роликками і, в деяких випадках, насоса рідини, що охолоджує.



1 – натяжний ролик; 2 – обвідний ролик; 3 – фазообертач (його шум можна почути, притуливши щуп стетоскопа до кришки підшипника розподільного валу)

Рисунок 2.14 - Зони прослуховування пасового приводу ГРМ.

Розглянемо найчастіші причини появи сторонніх звуків.

Клапани. Несправності з клапанами видають себе дзвінким стукотом у верхній частині ДВЗ. Частота такого стуку досить інтенсивна, і за ступенем перевищує частоту роботи колінвалу. Проблеми можуть бути природними, наприклад, при запуску двигуна на холодну. Збільшення теплових зазорів може також виникнути внаслідок відсутності належного обслуговування автомобіля. Поступово все це може призвести до пригорання випускного клапана, після чого буде потрібна повна заміна деталі.

Гідрокомпенсатори. Це пристрої призначені для автоматичного регулювання зазорів у клапанах ДВЗ. Причини стуків можуть бути різними. Якщо постукування чутно після зупинки роботи двигуна, а на ходу немає, то, швидше за все, відсутній достатній рівень масла.

Привід розподільного валу. Несправність приводу супроводжується дуже сильним стороннім шумом. Зазвичай це відбувається, якщо на підшипниках

привідних роликів висохло мастило, а бігові доріжки та кульки почали кришитися. Така ситуація може призвести не лише до заклинювання роликів, а й до обриву пасу газорозподільного механізму.

Башмаки натяжників. Це металевий або пластиковий механізм ланцюга ГРМ, що передає та розподіляє навантаження від натяжного пристрою, з часом також зношується. Такий знос виявляє себе характерним дзвінким шумом. Іноді тріск стає схожим на брязкіт, що говорить про граничне зношування даної деталі. Це може призвести до того, що ланцюг “перескочить”, і тоді може статися найстрашніше для автовласника – загне клапана. Також продукти зношування дуже часто забруднюють масляну систему.

Фазообертачі. Звук, що доноситься з передньої частини ДВЗ і схожий за інтенсивністю на частоту обертання розподільного валу може говорити про те, що неполадка трапилася у фазорегуляторі на впускному/випускному розподільчому валі. Якщо ще при цьому загориться відповідна лампа Check Engine, то можна не сумніватися, що проблема стуку полягає в них. Таку деталь потрібно замінити.

Сильні металеві стуки, які підсилюються при збільшенні частоти обертання колінчастого валу, свідчать про пошкодження пружин клапанів або з'їдання клапанів. При збільшенні зазору у підшипниках розподільного валу прослуховуються сильні періодичні стуки.

У разі значного спрацювання розподільних шестерень виникають часті стуки середнього тону, які зливаються у загальний шум. Збільшений осьовий зазор колінчастого та розподільного валу викликає глухий стукіт колінчастого валу та стукіт розподільчих шестерень.

2.4.2 Діагностування осцилографом.

Автомобільний осцилограф - контрольно-вимірювальний діагностичний прилад для аналізу та візуалізації електричних сигналів, а також визначення їх параметрів у режимі реального часу. Осцилограф дозволяє проводити візуальний контроль таких характеристик, як форма, період, амплітуда, полярність або

тривалість сигналу, а і значно спростити процедуру налаштування електронних пристроїв.

Основне завдання осцилографа – побудова тимчасової залежності напруги сигналу $U(t)$ – осцилограми. І якщо перші осцилографи давали лише якісну інформацію про форму сигналу, то наступні моделі дали можливість кількісного відображення графічної форми на осі, що калібруються, такі як зміна амплітуди сигналу або оцінка швидкості цих змін. Наступним етапом розвитку цього приладу були багатоканальні осцилографи, які дозволили проводити тимчасові порівняння та аналіз різних типів сигналів.

Основна корисна для користувача інформація виводиться на дисплей осцилографа, що знаходиться на передній панелі разом із контрольними кнопками, виводами, важелями. Для зручності використання у всіх приладах на дисплеї нанесено розмітку у вигляді градуйованої координатної сітки – по горизонталі знаходиться тимчасова шкала X у s (сек), по вертикалі шкала напруги Y у V (В), іноді також говорять про третю шкалу Z , яку прив'язують до інтенсивності або яскравості дисплея.

З графіка на екрані користувач легко може:

- визначити значення напруги та часу сигналу;
- підрахувати частоту коливань періодичного сигналу;
- дослідити сигнал на протікання постійного або змінного струму; шуму.

Крім дисплея, на передній панелі осцилографа знаходиться контрольна панель приладу, яка, як правило, розділена на три секції для керування вимірами: вертикальної розгортки, горизонтальної розгортки, а також рівня синхронізації.

Сучасні осцилографи оснащені (рис. 2.15), як мінімум двома вхідними каналами, що дозволяє одночасно в процесі роботи відстежувати зміни двох електричних сигналів або проводити порівняння досліджуваного сигналу з прокаліброваним сигналом. За наявності кількох каналів, існує також можливість відображення зміни напруги одного сигналу по відношенню до іншого. Такі можливості особливо корисні при роботі з напівпровідниковими елементами, наприклад діодами, у разі яких можна відобразити залежність зміни сили струму

від напруги, так звані фігури Ліссажу. Щоб отримати коректний вимір амплітуди сигналу, в налаштуваннях осцилографа виставляють відповідний помножувач 10X або 100X.

Основними параметрами, які визначають можливості та ступінь функціональності цифрових осцилографів, є робочі характеристики, розуміння яких дозволяє потенційним користувачам при виборі приладу оцінити та порівняти між собою різні моделі з широкого модельного ряду, пропонованого сучасними розробниками.

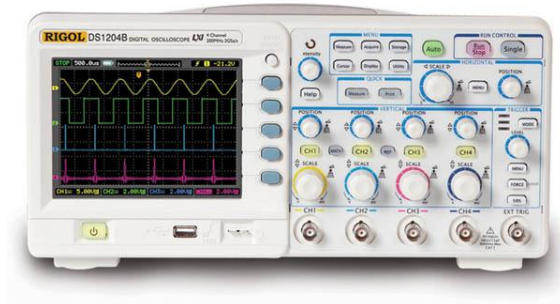


Рисунок 2.15 - Автомобільний осцилограф.

При діагностуванні правильності роботи газорозподільного механізму застосовують датчик, що вимірює тиск у циліндрі.

Модуль "Вимір фази" (рис. 2.16) відображає графік тиску в циліндрі (осцилограму напруги вихідного сигналу датчика тиску в циліндрі) у вікні програми "USB Осцилограф" при роботі двигуна на холостому ході, відзначає моменти, коли поршень циліндра, що діагностується, знаходиться у верхніх/нижніх мертвих точках (0° , 180° , 360° , 540°).

Крім того, підсвічується допустимий діапазон положення чотирьох характерних точок та ділянок графіка (D, E, I, L), положення яких залежить від взаємного положення колінчастого та газорозподільних валів.

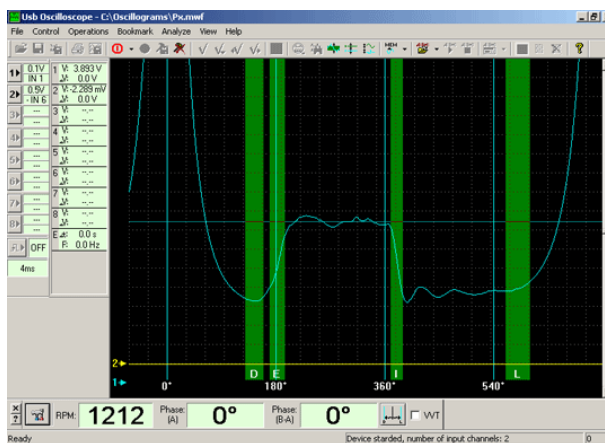


Рисунок 2.16 - Модуль "Вимір фази".

Вимірювання положення характерних точок і ділянок графіка тиску в циліндрі дозволяє судити про правильність взаємного положення колінчастого і газорозподільних валів.

Точка 0°. Момент, коли поршень знаходиться у ВМТ і при цьому впускні та випускні клапани закриті, відзначений як 0°. Коли поршень знаходиться в положенні ВМТ 0°, значення тиску в циліндрі досягає свого максимуму. Іноді цей тиск називають динамічною компресією.

Точка D (рис. 2.17). Випускний клапан справного бензинового двигуна починає відкриватися дещо раніше, ніж поршень досягне нижньої мертвої точки. При цьому поршень все ще віддаляється від головки блоку циліндрів і обсяг між поршнем і головкою блоку циліндрів продовжує збільшуватись, але абсолютний тиск у циліндрі починає збільшуватися. Підвищення тиску в циліндрі відбувається за рахунок того, що в циліндр починають перетікати відпрацьовані гази з випускного колектора через випускний клапан. Точка графіка тиску в циліндрі, починаючи з якої в циліндр починають перетікати відпрацьовані гази з випускного колектора, зазначена буквою D. За положенням точки D, можна судити про правильність установки випускного газорозподільного валу бензинового двигуна. Якщо точка D (початок відкриття випускного клапана) знаходиться в межах діапазону 130...160° після ВМТ 0° (50° ...20 ° перед НМТ 180°), то момент початку відкриття випускного клапана вважають встановленим правильно.

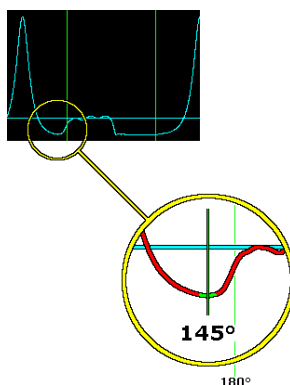


Рисунок 2.17 - Точка D.

Діапазон $130...160^\circ$ після ВМТ 0° графіка тиску в циліндрі підсвічується у вікні програми "USB Осцилограф" модулем "Вимір фази" і відзначений буквою D.

Ділянка E (рис. 2.18). Перетікання газів з випускного колектора в циліндр відбувається за рахунок того, що абсолютний тиск у випускному колекторі, близький до атмосферного, виявляється більшим за абсолютного тиску в циліндрі. Ділянка графіка тиску в циліндрі, де відбувається перетікання газів, що відпрацювали, з випускного колектора в циліндр, відзначений буквою E.

За становищем центру ділянки E, можна судити про правильність установки випускного газорозподільного валу двигуна. випускного клапана вважають правильно встановленим.

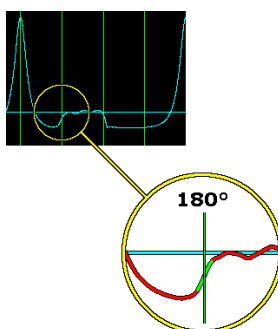


Рисунок 2.18 - Ділянка E.

Діапазон $170^\circ \dots 195^\circ$ після ВМТ 0° графіка тиску в циліндрі підсвічується у вікні програми "USB Осцилограф" PlugIn-ом "Вимір фази" і відзначений буквою E.

Точка 180° . Положення поршня, коли відстань від нього до головки блоку циліндрів виявляється максимальною, називають нижню мертву точку (НМТ). У

НМТ поршень зупиняється, і змінює напрямок руху на протилежне, почавши знову наближатися до головки блоку циліндрів. Момент, коли поршень знаходиться в НМТ і при цьому клапан впускний закритий, а випускний клапан відкритий (або почав відкриватися) відзначений як 180° . З цього моменту поршень починає "виштовхувати" гази з циліндра у випускний колектор.

Точка 360° . Досягши другої верхньої мертвої точки в кінці такту випуску, поршень зупиняється, і змінює напрямок руху на протилежне, почавши знову віддалятися від головки блоку циліндрів. Момент, коли поршень знаходиться у другій ВМТ відзначений як 360° . З цього моменту поршень припиняє "виштовхувати" гази з циліндра у випускний колектор, і починає "засмоктувати" робочу суміш із впускного колектора в циліндр.

Ділянка І. Коли поршень досяг точки ВМТ 360° і змінив напрямок руху на протилежний, випускний клапан виявляється майже закритим. Внаслідок закриття каналу, що з'єднує внутрішній об'єм циліндра з випускним колектором, тиск у циліндрі припиняє зрівнятися з тиском у випускному колекторі. Впускний клапан при цьому вже дещо відкрив канал впуску робочої суміші та продовжує відкриватися. Внаслідок того, що канал, що з'єднує внутрішній об'єм циліндра з випускним колектором почав відкриватися, тиск у циліндрі починає зрівнюватися з тиском у колекторі впускного. Так як значення абсолютного тиску в циліндрі близько до атмосферного, гази з циліндра починають перетікати з циліндра у колектор впускний, де тиск значно нижче атмосферного.

Ділянка графіка тиску в циліндрі, де відбувається перетікання газів з циліндра у впускний колектор відзначений буквою І (рис. 2.19). За положенням центру ділянки І можна судити про правильність встановлення впускного газорозподільного валу бензинового двигуна. Якщо центр ділянки І знаходиться в межах $370^\circ \dots 390^\circ$ після ВМТ $^\circ$ ($\pm 10^\circ$ від позначки 380° після ВМТ 0°), то момент відкриття впускного клапана вважають встановленим правильно. Для двигунів оснащених системою зміни фаз газорозподілу (система VVT) центр ділянки І повинен знаходитися в межах $380^\circ \dots 400^\circ$ після ВМТ 0° ($\pm 10^\circ$ від позначки 390° після ВМТ 0°).

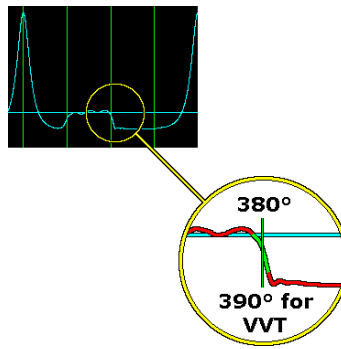


Рисунок 2.19 - Ділянка I.

У вікні програми "USB Осцилограф" модулем "Вимір фази" підсвічується діапазон $370^{\circ}...390^{\circ}$ після ВМТ 0° при вимкненій опції "VVT" на панелі налаштування модуля або діапазон $380^{\circ}...400^{\circ}$ після ВМТ 0° при включеній опції "VVT" (опцію "VVT" слід включати при діагностуванні двигунів, оснащених системою зміни фаз газорозподілу). Діапазон відзначений літерою I.

Точка 540. Після досягнення другої нижньої мертвої точки поршень зупиняється, і змінюється напрямок руху на протилежний, почавши знову наближатися до головки блоку циліндрів. Момент, коли поршень знаходиться в НМТ і при цьому випускний клапан закритий, а клапан впускний відкритий (або почав закриватися) відзначений як 540° . З цього моменту поршень припиняє "засмоктувати" суміш із впускного колектора в циліндр. Але при високих частотах обертання колінчастого валу двигуна наповнення циліндра паливоповітряною сумішшю все ще не припиняється за рахунок інерції потоку суміші.

Точка L (рис. 2.20). Впускний клапан справного бензинового двигуна закривається пізніше моменту досягнення поршнем другий нижньої мертвої точки 540° . Форма графіка тиску в циліндрі в районі закриття впускного клапана визначається напрямком руху суміші впускним каналом безпосередньо перед моментом закриття впускного клапана. При високих частотах обертання колінчастого валу двигуна, перед моментом закриття впускного клапана виникає ефект надлишкового наповнення циліндра паливоповітряної сумішшю за рахунок інерції потоку суміші, і тиск в циліндрі починає збільшуватися вже з досягнення поршнем нижньої мертвої точки 540° . Із закриттям впускного клапана, після ділянки щодо інтенсивного наростання тиску в циліндрі виникає помітний перелом

графіка - з цього моменту швидкість наростання абсолютного тиску в циліндрі різко зменшується.

При низьких частотах обертання двигуна виникає ефект перетікання суміші, що надійшла раніше в циліндр назад у впускний колектор, через що тиск в циліндрі не збільшується аж до моменту закриття впускного клапана. Із закриттям впускного клапана, після відносно пологої ділянки виникає помітний перелом графіка – з цього моменту абсолютний тиск у циліндрі починає наростати порівняно інтенсивно.

Момент закриття впускного клапана відзначений буквою L. З цього моменту поршень починає стискати гази в циліндрі. По положенню точки L можна судити про правильність установки впускного газорозподільного валу бензинового двигуна. кінця закриття впускного клапана вважають правильно встановленим.

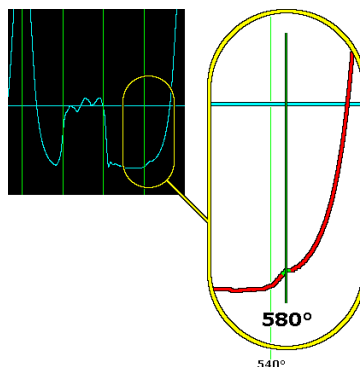


Рисунок 2.20 - Точка L.

Діапазон $560^{\circ} \dots 600^{\circ}$ після ВМТ 0° графіка тиску в циліндрі підсвічується у вікні програми "USB Осцилограф" PlugIn-ом "Вимір фази" і відзначений буквою L.

Порядок підключення датчиків при діагностуванні осцилографом. У випадку якщо діагностований двигун оснащений системою розподіленого впорскування палива, настійно рекомендується відключити роз'єм від електромагнітної бензинової форсунки діагностованого циліндра і підключити до від'єданого роз'єму резистор номіналом 100Ω двигуном). У разі виконання цієї рекомендації, під час проведення діагностики паливо не надходить в діагностований циліндр. У разі ж, якщо дана рекомендація не виконана, під час проведення діагностики можливе виникнення калильного запалювання паливоповітряної суміші в циліндрі,

що діагностується, що може стати причиною пошкодження датчика тиску в циліндрі. Крім того, незгоріле паливо з циліндра надходитиме у вихлопну систему, через що можливе перегрів і пошкодження каталітичного нейтралізатора діагностованого автомобіля.

Якщо запобігти подачі палива в діагностований циліндр неможливо, то для зниження ймовірності виникнення калильного запалення паливоповітряної суміші в діагностованому циліндрі прогрітого до робочої температури двигуна слід викрутити свічку запалювання з діагностованого циліндра і почекати не менше 10 хв перш ніж встановлювати датчик тиску на місце. Щоб уникнути пошкодження каталітичного нейтралізатора, рекомендується скоротити до мінімуму тривалість проведення діагностики в даному режимі.

Встановити датчик тиску P_x на місце свічки запалювання циліндра, що діагностується, і підключити його до 1-го аналогового входу USB Autoscope.

Підключити свічковий провід циліндра, що діагностується, до розрядника з іскровим проміжком не більше 5 mm.

Приєднати до "маси" двигуна чорний "крокодил" проводів живлення датчика тиску.

Приєднати червоний "крокодил" проводів датчика тиску до клеми "+" акумуляторної батареї діагностованого автомобіля.

Включити програму USB Осцилограф.

В закладці "Управління" вибрати пункт "Завантажити налаштування користувача" і вибрати налаштування користувача " P_x ";

Запустити двигун досліджуваного автомобіля. Модуль "Вимір фази" почне відображати графік тиску в циліндрі.

Для зменшення величини похибки вимірювань, що виникає внаслідок нерівномірності обертання колінчастого валу двигуна, рекомендується проводити вимірювання при дещо підвищеній частоті обертання колінчастого валу на холостому ході без навантаження, наприклад, при 1200 RPM (для підвищення частоти обертання колінчастого валу слід злегка при відокремленні.

Сигнал можна одночасно записувати. Для цього в меню "Керування" потрібно вибрати пункт "Запис". Записану осцилограму можна переглянути та за необхідності зберегти. Для збереження осцилограми в меню "Файл" потрібно вибрати "Зберегти Як..".

Оцінка "симетричності фаз". Фази газорозподілу різних двигунів різняться, оскільки це істотно впливає на "характер" двигуна. Установка "вузьких" фаз газорозподілу (зменшена тривалість фази впуску та фази випуску) дозволяє покращити "тяговитість" (крутний момент) двигуна в діапазоні низьких частот обертання колінвала; установка "широких" фаз газорозподілу (збільшена тривалість фази впуску та фази випуску) дозволяє підвищити потужність двигуна в діапазоні високих частот обертання колінвала. Як наслідок, моменти початку відкриття випускного клапана та моменти закриття впускного клапана для різних двигунів можуть суттєво відрізнятися.

Тому, допустимі діапазони положення характерних точок і ділянок графіка тиску в циліндрі, що підсвічуються модулем "Вимір фази" мають значну ширину. Але, практичні дослідження показали, що, незалежно від обраної виробником ширини фаз газорозподілу, у переважній більшості випадків спостерігається "симетричність фаз" газорозподілу - тобто характерні точки D і L графіка тиску в циліндрі практично будь-якого справного двигуна розташовані симетрично щодо точки ВМТ 360°.

Для підвищення точності результатів перевірки фаз газорозподілу в модулі "Вимірювання фази" вбудований інструментарій, що дозволяє оцінити "симетричність" розташування точок D і L щодо точки 360°.

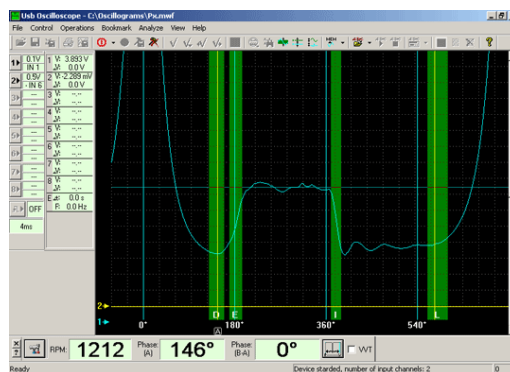


Рисунок 2.21 - Оцінка "симетричності фаз".

Для оцінки "симетричності фаз" слід встановити вимірювальний маркер А в положення, що відповідає дійсному положенню характерної точки D графіка тиску в циліндрі і натиснути кнопку "Встановити маркери фази D і L" на панелі модуля. Після натискання кнопки буде відображено вертикальну лінію жовтого кольору. У разі симетричного розташування точок D і L щодо точки 360°, положення лінії жовтого кольору збігається з дійсним положенням характерної точки L. Розбіжність положення лінії жовтого кольору з дійсним положенням характерної точки L вказує на "несиметричність" фаз газорозподілу.

2.4.3 Вібродіагностика. Методи віброакустичної діагностики застосовуються для виявлення підвищених зазорів у з'єднаннях деталей, що приводять до підвищеного шуму, появи ударів [18-20].

Реалізація віброакустичної діагностики для діагностування газорозподільного механізму приведена в роботі [21, 22]. З метою отримання вібросигналу роботи механізму газорозподілу проведено серію експериментальних робіт на чотирициліндровому двигуні, в ході яких згаданий сигнал знімався з датчика детонації GT305, встановленого на кришці блоку клапанів. Для визначення типу розподілу вібросигналу (рис. 1, 2), реалізації були оброблені з використанням гістограмного аналізу та подальшим згладжуванням отриманих гістограм за методом найменших квадратів [23].

Віброграми на рис. 1, 2 були записані на цифровий осцилограф Tektronix TBS1000B в режимі роботи ДВС, що встановився, причому для синхронізації використовувався сигнал відмітника верхньої мертвої точки першого циліндра (цей сигнал на графіках не показаний).

На рис. 2.22 наведена випрямлена та очищена від перешкод на рівні 0,02 В віброграма роботи газорозподільного механізму (ГРМ) без дефектів, що працює в номінальному режимі; гістограма і крива, що згладжує (рис. 2.23), побудовані за методом найменших квадратів. Загальний обсяг вибірки даних n становить 2250 пікселів, що відповідає шести обертів валу.

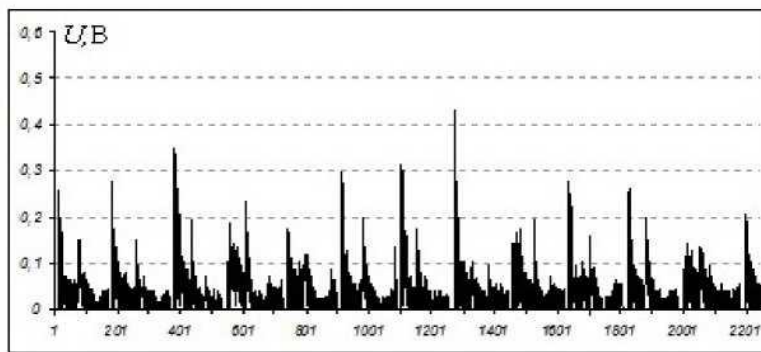


Рисунок 2.22 - Віброграма роботи газорозподільного механізму без дефектів.

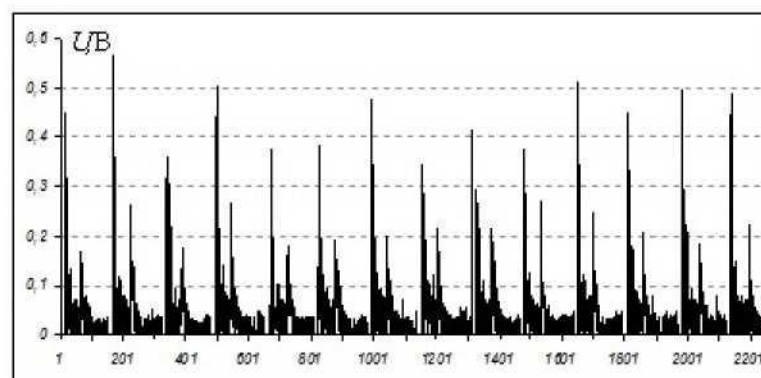


Рисунок 2.23 - Віброграма роботи газорозподільного механізму при збільшенні зазору між сідлом та клапаном.

На рис. 2.23 наведена випрямлена і очищена від перешкод на рівні 0,02 віброграма роботи ГРМ з дефектом (збільшення зазору між клапаном і сідлом до 0,25 - 0,3 мм), що працює в номінальному режимі; гістограма і крива, що згладжує, побудовані за методом найменших квадратів (рис. 2.24). Загальний обсяг вибірки даних n становить 2250 пікселів.

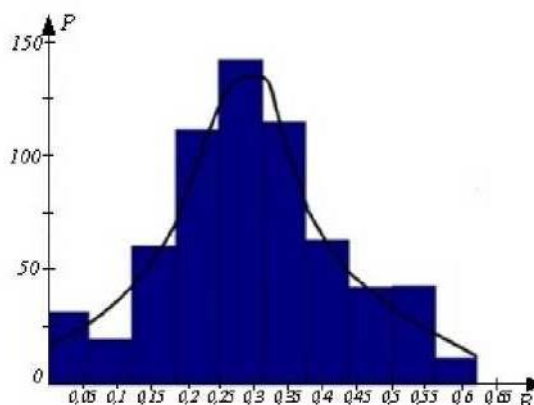


Рисунок 2.24 - Гістограма і згладжуюча крива роботи ГРМ без дефектів.

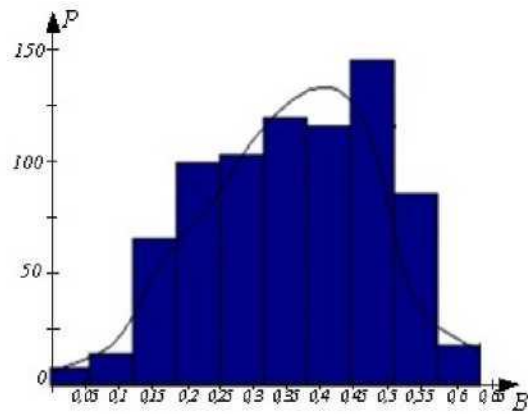


Рисунок 2.25 – Гістограма і згладжуючи крива роботи ГРМ при збільшенні зазору між клапаном та сідлом.

На рис. 2.25, 2.266 наведені гістограми двигуна внутрішнього згоряння того ж типу з дефектами в газорозподільному механізмі. Рис.2.25 відповідає випадку зменшення зазору між клапаном і сідлом до 0,01мм), а рис. 2.26 - зносу штовхача клапана.

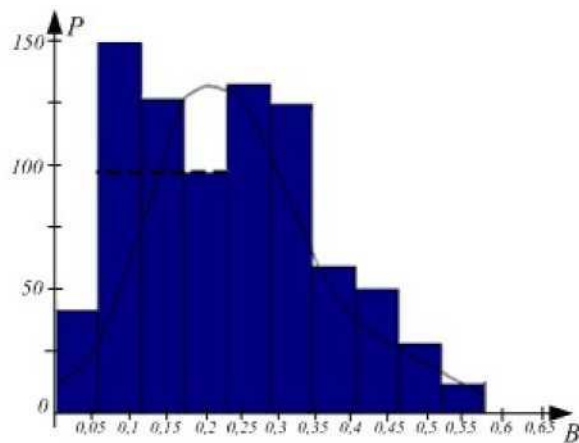


Рисунок 2.26 – Гістограма і згладжуючи крива роботи ГРМ при зменшенні зазору між клапаном і сідлом.

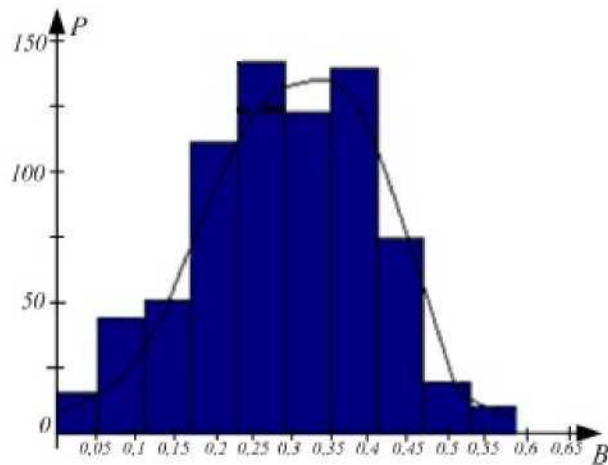


Рисунок 2.27 – Гістограма і згладжуючи крива роботи ГРМ при зносі штовхача клапана

2.4.4 Ендоскопія.

«Ендоскопія – один із методів апаратної діагностики двигуна, що дозволяє отримати багато інформації про його стан. Причому, на відміну від деяких інших методів діагностики, ендоскопія надає не непрямі, а прямі дані про наявні проблеми: задири, тріщини, деформації, протікання і так далі» [23, 24].

«Ендоскопія двигуна передбачає огляд внутрішніх компонентів автомобільного двигуна з використанням мініатюрної відеокамери з підсвічуванням (ендоскопу) (рис. 2.28). Процедура також відома як бороскопія.

Ендоскоп служить інструментом діагностики, способом зазирнути в важкодоступні порожнини автомобіля.

Виведення зображення з камери здійснюється або на власний екран ендоскопа, або на зовнішній пристрій, що підключається, - комп'ютер або смартфон» [23, 24].

«Ендоскопія проводиться на заглушеному та не прогрітому двигуні. Для огляду циліндра викручуються свічки запалювання (або свічки розжарювання, якщо йдеться про дизельний двигун), і зонд ендоскопа через свічковий отвір вводиться у циліндр. Конструктивно ендоскоп може бути виконаний як зонд на

гнучкому шнуру або мати можливість керування камерою, а також оснащуватися не тільки звичайним, але й інфрачервоним підсвічуванням. Найширші можливості мають саме ендоскопи з керованою поворотною камерою: вона дозволяє детально вивчити всі області внутрішнього простору циліндра двигуна» [23, 24].



Рисунок 2.28 Ендоскоп

Використовуючи бездротове з'єднання WIFI, зображення, отримані ендоскопом, передаються та записуються за допомогою JBM APP на будь-який мобільний пристрій/планшет/ПК.

Ендоскоп має напівжорсткий з'єднувальний кабель довжиною 1 м і оглядову камеру діаметром 5,5 мм, що забезпечує легкий доступ у важкодоступних місцях. Камера оснащена 6 яскравими білими світлодіодами, інтенсивність яких можна регулювати для кращого перегляду та запису зображень і відео.

Для дизельних двигунів використовують ендоскопи із зменшеним діаметром камери (8 мм).

«Одне з ключових завдань ендоскопії – оцінка стану циліндропоршневої групи, оскільки один із головних показників до капітального ремонту двигуна – це якраз пошкодження циліндрів та поршнів.

За допомогою ендоскопа можна оглянути стінки циліндрів на предмет наявності задирань, каверн, подряпин та інших дефектів, оцінити стан стінок у зоні перекладання поршня, а також наявність хонінгувальної сітки, що говорить про відсутність значного зносу та нормальну роботу циліндропоршневої групи – зокрема, поршневих» [26, 27].

Ендоскопія може бути корисна при огляді різних важкодоступних порожнин в автомобілі на кшталт впускного тракту або турбіни, але найширше застосування вона отримала діагностики стану циліндро-поршневої групи і клапанів.

«Ендоскопію двигуна доцільно виконувати при наступних діагностичних ознаках:

- підвищена витрата оливи;
- зниження тяги, втрата потужності;
- кіптява, синій дим;
- нестабільна робота двигуна;
- пропуски запалювання.
- *Огляд клапанів.* Як і для поршнів, для початку тут оцінюється цілісність самих клапанів та відсутність пошкоджень, а також стан та геометрія сідел клапанів. За відсутності видимих проблем із «залізом» можна оцінити роботу клапанного механізму та двигуна в цілому. Про проблеми говоритиме значний нагар на клапанах або масло на них, а сліди оливи навколо сидла клапана вкажуть на негерметичність сальників клапанів (маслознімних ковпачків). Нагар на клапанах може говорити про проблеми з EGR, вентиляцією картера, поршневими кільцями тощо» [26, 27].



Задовільний стан клапанів



Нагар на клапанах



Поломка тарілки клапана



Тріщина на клапані

Рисунок 2.29 - Ендоскопія клапанів

2.5 Розробка методу діагностування газорозподільних механізмів

При експлуатації автомобільного транспорту в газорозподільному механізмі (ГРМ) двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) відбуваються зміни, які можуть привести до відхилення кута установки розподільних валів від оптимального (заводського) положення. Причиною такого розладу ГРМ може стати неправильне складання, мимовільне перестрибування ланцюга або пасу приводу при втраті натягу, а також розтяг ланцюга або поворот зубчастих коліс щодо своїх валів. В результаті зсуваються фази газорозподілу, що негативно позначається на найважливіших експлуатаційних властивостях двигуна [28].

Для діагностики механізму газорозподілу пропонується спосіб, заснований на зв'язку фази коливань пульсації тиску у впускному колекторі з кутовим положенням розподільчих валів. Цей зв'язок був виявлений у ході експериментальних досліджень спочатку для валу приводу впускних клапанів (впускний вал) [18], а потім і для валу приводу випускних клапанів (випускний вал). Перевагами запропонованого способу є універсальність, легкість підключення діагностичного обладнання, висока точність контролю.

При розладі ГРМ геометричні розміри всіх елементів газового тракту залишаються постійними. При постійній швидкості обертання не змінюється час відкриття та пропускний переріз клапанів. Мінімальна подача палива зменшує

вплив процесів горіння у циліндрах на процеси газообміну у впускному колекторі. Всі ці обставини, що значно спрощують завдання, дозволили припустити, що для моделювання фази пульсацій тиску можна відмовитися від складного математичного апарату газової динаміки.

Проведений огляд досліджень у галузі діагностики приводів ГРМ автомобільних двигунів дозволив встановити:

- основними причинами порушень положення розподільних валів є: неправильне складання приводу ГРМ;

- несправності у механізмах, що змінюють фази газорозподілу; мимовільне переміщення ланцюга або ремня щодо зірочки (колеса) та розтягнення ланцюгів приводу. Ці причини здатні викликати падіння потужності двигуна, зниження продуктивності автомобіля, збільшення витрати палива та токсичності відпрацьованих газів.

- незважаючи на те, що багато дослідників відзначають негативний вплив розладу фаз газорозподілу на основні характеристики двигуна, цілеспрямовані дослідження для кількісної оцінки цих змін в ході огляду не виявлені. Щоб оцінити допустимі межі відхилення положення розподільних валів від нормального положення і точність їх визначення, необхідно провести експериментальні дослідження, в ході яких необхідно визначити вплив аномального положення розподільних валів на основні характеристики двигуна.

- існуючі методи діагностики приводу ГРМ вимагають або часткового розбирання двигуна, або складні в реалізації і не є оперативними та високоінформативними.

Пропонується метод діагностування приводу ГРМ двигуна автомобіля за параметрами газодинамічних процесів у впускному колекторі/

Система «Впускний трубопровід - циліндр - КШМ - ГРМ - випускний трубопровід», як об'єкта діагностування має структурну схему, представлена на рис. 2.30, дозволяє виявляти причинно-наслідкові зв'язки між елементами системи

та визначати параметри, за допомогою яких можна контролювати правильність початкового взаємного положень колінчастого та розподільних валів двигуна автомобіля.

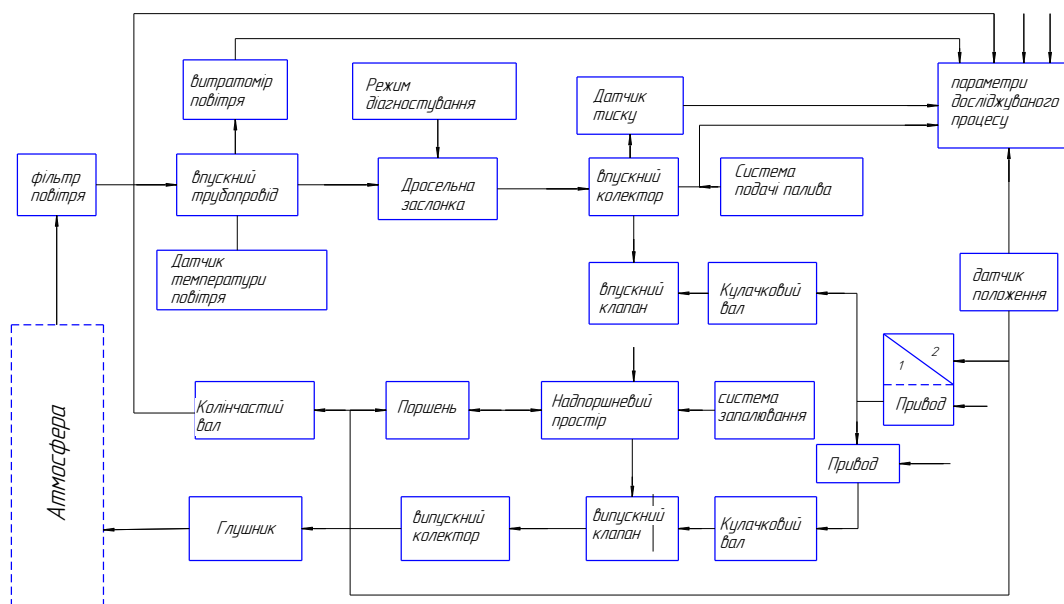


Рисунок 2.30 - Структурна схема системи «Впускний трубопровід – циліндр – КШМ-ГРМ – випускний трубопровід»

Опір руху газового потоку з боку елементів впускного тракту на всіх швидкостях течії прийнято вважати таким, що залежить тільки від висоти підйому впускного клапана. Варіювати параметрами технічного стану двигуна можливо при зміні положення розподільних валів, при яких залишається незмінною залежність висоти підйому клапана від кута повороту розподільного валу.

З погляду діагностики найінформативнішою є робота двигуна на режимах мінімальних обертів холостого ходу. При цьому, мінімальними є: частота обертання колінчастого валу; перепади тиску у впускному колекторі; витрати повітря; годинна витрата палива. Також, мінімальними будуть швидкість руху поршнів і швидкість руху свіжого заряду. Вплив залишкових газів на газодинамічні процеси у впускному колекторі також буде мінімальним.

При розгляді процесів газообміну в двигуні при малих оборотах холостого ходу прийнято такі припущення:

- постійними прийняті параметри: температура двигуна, температура навколишнього повітря, частота обертання колінчастого валу, початковий кут випередження запалення;
- горіння в циліндрі відбувається за закритими клапанами та його вплив на процеси газообміну у впускному колекторі не значно;
- зміна температури повітря під час проходження заряду по впускному колектору мінімально;
- швидкість руху газових потоків на впуску визначається швидкістю руху поршня.

3. Методика досліджень

В процесі виконання експериментальних та теоретичних досліджень здійснювався вибір та розробка методик експериментальних досліджень. Використовувалися методики: завдання заданих значень положень розподільних валів; тарування систем вимірювання контрольованих параметрів; оцінки похибок систем виміру; оцінки впливу положення розподільних валів на зовнішню швидкісну характеристику (BCX) ДВЗ; реєстрації параметрів газообміну як функцій від кута повороту колінчастого валу при варіюванні положення розподільних валів.

Для реалізації розроблених методик запропоновано експериментальне обладнання (рис. 3.1), що складається з двигуна, навантажувального гальма із системою вимірювання моменту, блоку керування гальмом, блоку вимірювань та синхронізації та персонального комп'ютера.



Рисунок 3.1 - Експериментальне обладнання:

До блоку управління підключаються: датчик масової витрати повітря (ДМРВ); датчик абсолютного тиску (ДАТ); датчик положення колінчастого валу (ДПКВ); датчик верхньої мертвої точки (ВМТ) поршня у першому циліндрі. Схема підключення запропонованого обладнання під час проведення експериментів представлена на рис. 3.2.

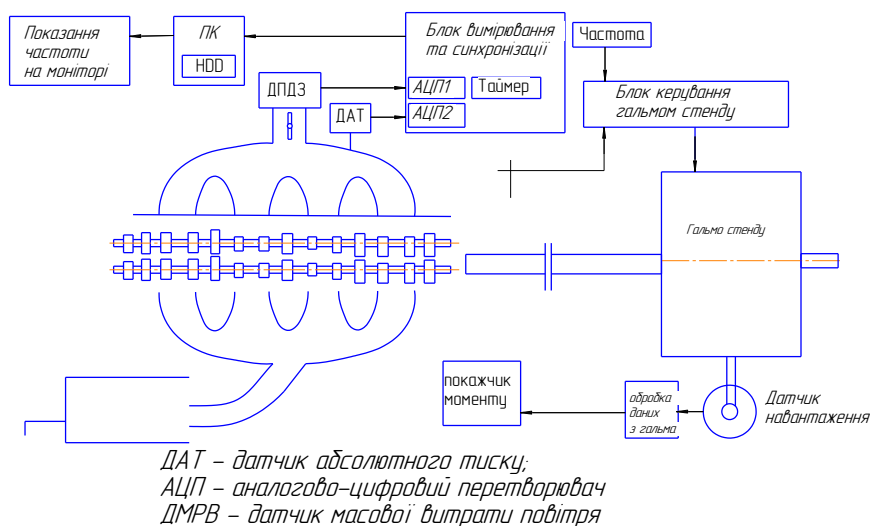


Рисунок 3.2 – Комплекс обладнання для визначення впливу положення розподільних валів на характеристики і параметри газодинамічних процесів у впускному колекторі двигуна.

У експериментальному двигуні Renault Logan обертання від зубчастого колеса на колінчастому валу передається через ремінь на зубчасте колесо розподільного

валу, закріплене на валу приводу впускних клапанів. Зубчасте колесо (рис. 3.3) колінчастого валу має 24 зубці, а розподільного-48 зубців.

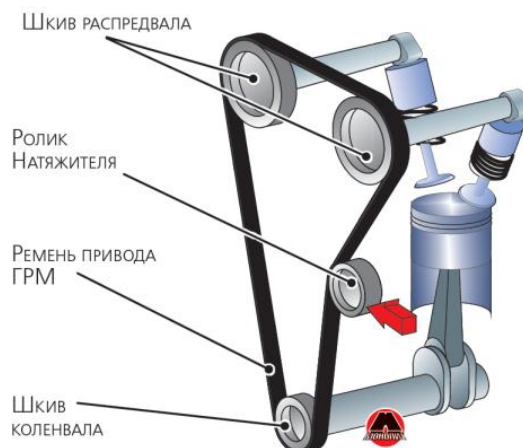


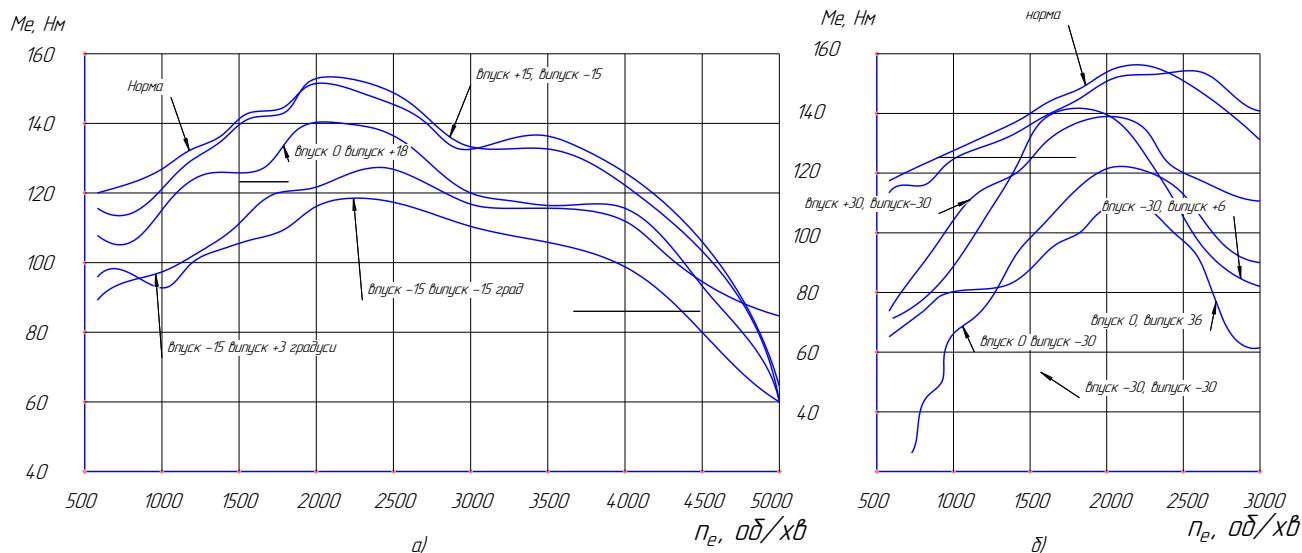
Рисунок 3.3 – Механізм газорозподілення досліджуваного двигуна.

При нормальному взаємному положенні деталей ГРМ кути положення розподільного валу рівні 0. Установка валу приводу впускних клапанів з поворотом проти ходу обертання на один зубець колеса щодо ремня ГРМ викликає запізнення або випередження обох розподільчих валів на -15° (відносно колінчастого валу).

4. Результати досліджень

Для визначення впливу положення розподільних валів на зовнішню швидкісну характеристику двигуна спочатку вимірювалися характеристики ефективного моменту для нормального положення розподільних валів, а також при відхиленні від цього положення в межах повороту колеса або шестерні приводу ГРМ на один зубець (рис. 4.1 а). Оцінку впливу початкового положення розподільних валів на зміну ефективного моменту двигуна Renault Logan доцільно проводити в діапазоні частот від 600 до 3000 об/хв.

На рис. 4.1 б показані зовнішні швидкісні характеристики виміряні при відхиленнях положення розподільних валів в межах ± 2 зубців приводу.



Графіки зовнішньої швидкісної характеристики при аномальних положеннях розподільних валів

а – в межах одного ± 1 зубця; б – в межах ± 2 зубці

Рисунок 4.1 - Графіки зовнішньої швидкісної характеристики двигуна Renault Logan при аномальних положеннях розподільних валів

Для кількісної оцінки впливу кутів положення розподільних валів на величину ефективного моменту M_e , що крутить, його значення в діапазоні 600 ± 3000 об/хв були усереднені.

При цьому середній ефективний момент M_e , отриманий для нормального положення розподільних валів, був прийнятий за 100%.

Залежності відносних змін M_e від кута положення розподільних валів приводу впускних і випускних клапанів, а також для обох розподільчих валів, представлені на рис. 4.2.

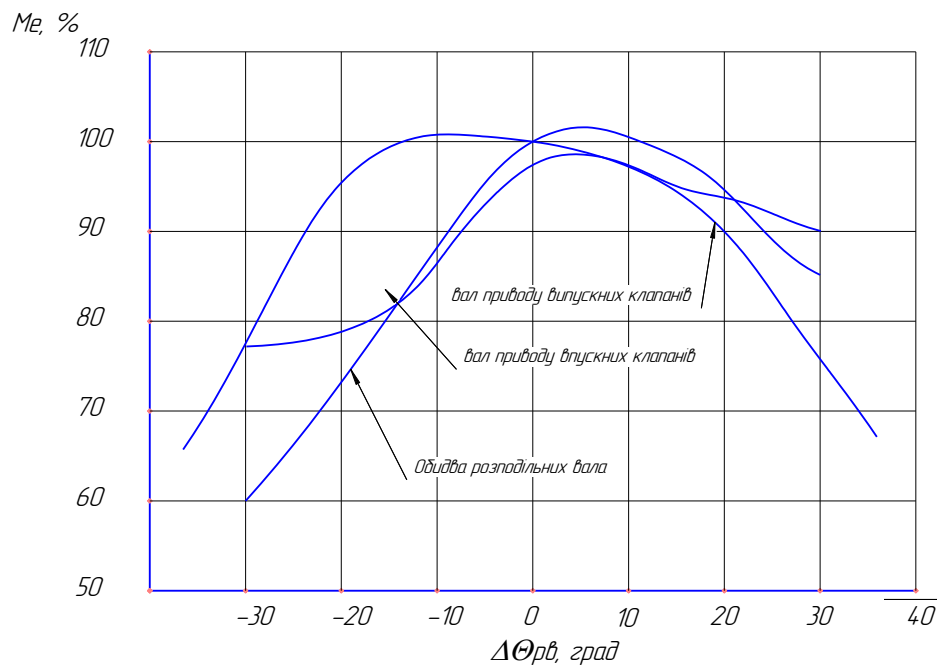


Рисунок 4.2 - Залежність середнього ефективного моменту двигуна від відхилення від нормального положення встановлення розподільних валів

У процесі розтягування ланцюга приводу відбувається плавне збільшення кута відставання розподільних валів та плавне зниження характеристик двигуна. Встановлено, що гранично допустимий рівень зниження характеристик двигуна може бути більше 95 %. Тоді найбільше кутове відхилення розподільних валів від свого нормального положення не повинно перевищувати 5° , а абсолютна похибка визначення та встановлення початкового кутового положення валів ГРМ не повинна перевищувати $\pm 2^\circ$.

У ході проведеного дослідження встановлено, що вплив положення розподільних валів на витрату повітря в двигуні досить слабкий і використовувати витрату повітря як діагностичний параметр при визначенні положення розподільних валів недоцільно.

У ході попередніх досліджень було встановлено, що при роботі ДВЗ у впускному колекторі виникають пульсації тиску. Ці пульсації стабільні, а за аномальних положеннях розподільних валів змінюють свою форму. Це змусило

виконати дослідження пульсацій тиску у впускному колекторі з метою використання їх як діагностичний параметр для контролю величин початкових положень валів ГРМ.

Для отримання чисельних характеристик пульсацій тиску у впускному колекторі використано математичний апарат перетворення Фур'є:

$$a_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N s_i \cos(k \cdot i \frac{2\pi}{N}), b_k = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N s_i \sin(k \cdot i \frac{2\pi}{N}), \alpha^k = \text{Arctg} \left(\frac{a_k}{b_k} \right).$$

Експериментальне дослідження впливу становища розподільних валів на фазу коливань у впускному колекторі проводилося на комп'ютерному вимірювальному комплексі з урахуванням двигуна Renault Logan. Пульсації тиску на холостому ходу для різних станів ГРМ представлені на рис. 4.3.

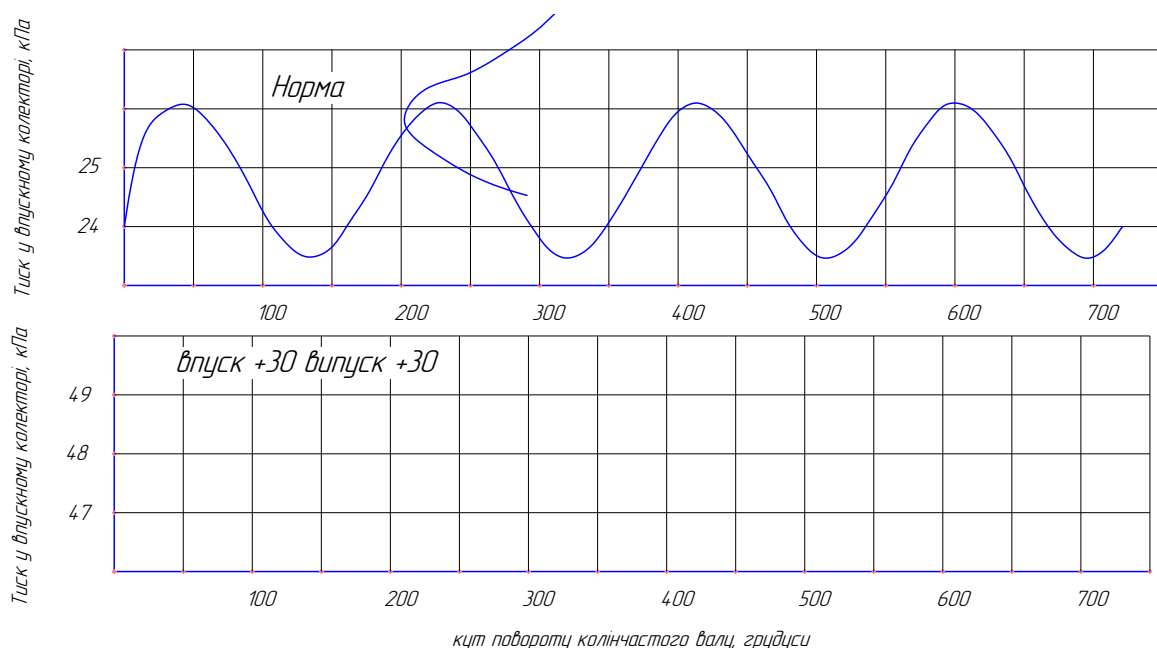


Рисунок 4.3 - Зміна тиску у впускному колекторі за два оберти колінчастого валу.

Для обробки результатів експериментів застосовувався графічний метод, за допомогою якого було встановлено, що параметр підпорядковується закону розподілу та не залежить від частоти обертання колінчастого валу в діапазоні від 500 до 1000 об/хв.

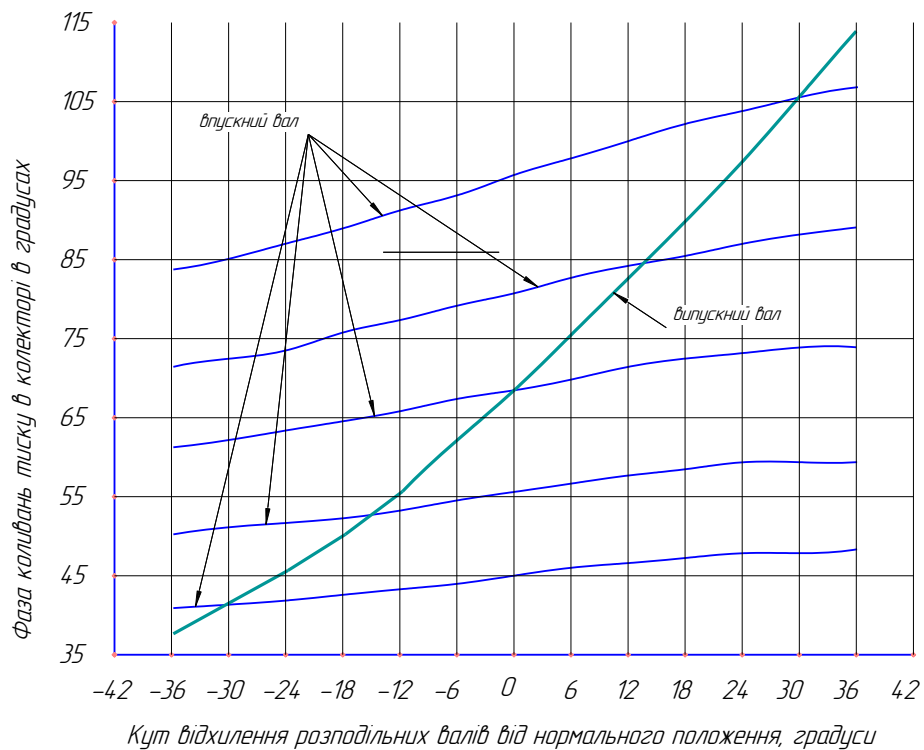


Рисунок 4.4 - Залежність фази коливань тиску у впускному колекторі від положення розподільних валів двигуна при роботі на холостому ході

За даними експерименту отримано вираз для розрахунку фази коливань тиску у впускному колекторі двигуна.

$$\alpha = 0,002 \cdot \Delta\Theta_e \cdot \Delta\Theta_i - 0,1977 \cdot \Delta\Theta_e - 0,8388 \cdot \Delta\Theta_i + 68,964$$

де $\Delta\Theta_i$ - початкове положення валу приводу впускних клапанів;

$\Delta\Theta_e$ - початкове положення валу приводу випускних клапанів.

Експериментально була зроблена оцінка діапазону зміни коефіцієнтів у виразі для різних типів ГРМ. Коефіцієнт впливу положення розподільних валів приводу впускних клапанів на параметр α ; лежить в межах $-0,9 + -0,7$. Коефіцієнт впливу положення розподільних валів приводу випускних клапанів на параметр α лежить у межах $-0,1 + -0,25$.

Було встановлено, що зміна ступеня стиснення двигуна від 10 до 30 мало впливає значення коефіцієнтів.

На рис. 4.5 представлені експериментальні результати вимірювання тиску при роботі двигуна Renault Logan на холостому ході. Форма коливань тиску виявилася близькою до трикутної. Зазначено, що при зміні положення розподільних валів змінюються швидкості наростання та зниження тиску.

Раннє відкриття впускного клапана збільшує викид відпрацьованих газів. Пізніше - посилює зворотний викид заряду під час руху поршня вгору. Це збільшує швидкість наростання тиску та зменшує коефіцієнт форми.

Відхилення початкового положення валу приводу випускних клапанів щодо заводських початкових установок збільшує кількість відпрацьованих газів в циліндрі до моменту відкриття впускного клапана. Це також збільшує швидкість наростання тиску у впускному колекторі.

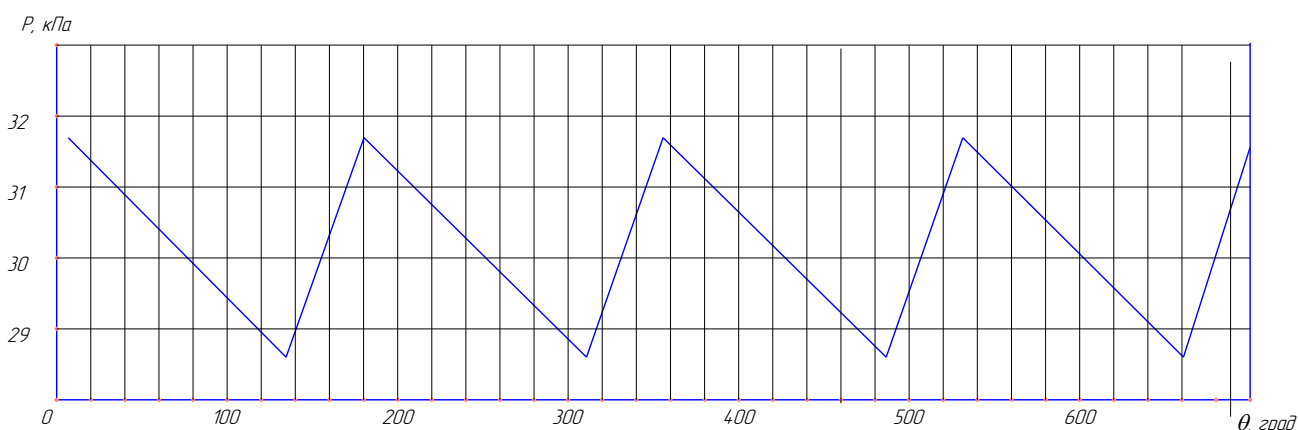


Рисунок 4.5 - Зміна тиску у впускному колекторі від кута повороту колінчатого валу при аномальному розташуванні розподільних валів.

Цим пояснюється той факт, що нормальне становище розподільчих валів характеризується максимальним значенням коефіцієнта форми, а будь-які зміни в приводі механізму газорозподілу викликає його зменшення.

На підставі проведеного дослідження встановлено, що для будь-якого типу чотиритактних двигунів з єдиним розподільчим валом, встановленим з початковим кутом $\Delta\Theta_{pv}$ залежність $\alpha = f(\Delta\Theta_{pv})$ матиме вигляд

$$\alpha = \alpha_N + \alpha_{pv} \cdot \Delta\Theta_{pv}$$

де N - значення параметра при нормальному положенні розподільних валів;

α_{pe} - коефіцієнт впливу положення розподільних валів на параметр α , що залежить від конструктивних особливостей двигуна.

Рівняння зворотної залежності, що дозволяє визначити мати вигляд

$$\Delta\Theta_{pe} = \Delta\alpha / \alpha_{pe}$$

де $\Delta\alpha = \alpha - \alpha_N$ - відхилення від норми.

Встановлено, що для будь-якого типу чотиритактних ДВЗ з двома розподільними валами, встановленими зі значеннями положення розподільних валів $\Delta\Theta_i$, і $\Delta\Theta_e$ залежність $\alpha = f(\Delta\Theta_e, \Delta\Theta_i)$ матиме вигляд

$$\alpha = \alpha_N + \alpha_i \cdot \Delta\Theta_i + b_e \cdot \Delta\Theta_e$$

де α_i, b_e - коефіцієнти впливу відповідного розподільного валу на параметр α .

Таким чином, метод вимірювання положення розподільного валу автомобільного двигуна полягає в наступному:

1. У режимі малих оборотів холостого ходу вимірюється параметр.
2. Віднімаючи його з відомого коефіцієнта α_N , виходить значення діагностичного параметра $\Delta\alpha$.
3. Підставляючи параметр $\Delta\alpha$ у діагностичне рівняння обчислюються кути установки розподільних валів.

Розроблений метод діагностування ГРМ автомобільного двигуна реалізує розроблений пристрій для визначення положення розподільного валу, що є стробоскопом, що вимірює фазу і форму коливань тиску у впускному колекторі. Функціональна схема розробленого діагностичного пристрою представлена на рис. 4.6.



Виявлені в ході обробки експериментальних даних залежності практично лінійні в широкому діапазоні розладу ГРМ та зміні режиму роботи двигуна. Кращі результати отримані при роботі двигуна на мінімальних оборотах холостого ходу, що встановилися.

62

Висновки

1. Зниження технічного стану приводу ГРМ автомобільних двигунів призводить до зміни кількості та якості горючої суміші, до скорочення тривалості робочого циклу, що викликає зниження техніко-економічних показників автомобілів, підвищує токсичність газів, що відпрацювали. Процес діагностування ГРМ в умовах АТП та СТО відрізняється низькою інформативністю, високою трудомісткістю та значним часом простою автомобілів.
2. Запропоновано метод тестового впливу на двигун при діагностуванні приводу ГРМ у вигляді його функціонування в режимі малих оборотів холостого ходу з підключеною системою вимірювання тиску повітря у впускному колекторі та стробоскопічною системою вимірювання кута повороту колінчастого валу.
3. Встановлено, що фаза коливань тиску у впускному колекторі може бути використаний як діагностичні параметр при оцінці положення розподільного валу, а індивідуальний характер коливань тиску для кожного стану приводу ГРМ дозволяє ідентифікувати його несправності.
4. Експериментальна перевірка розробленого методу, що реалізує його комплексу обладнання та програмного забезпечення, показує їхню високу оперативність та інформативність при діагностуванні приводу ГРМ. Встановлено, що запізнення обох розподільчих валів на 7° викликає зниження середнього ефективного крутного моменту M_e , на 10%. Їх установка на 30° пізніше знижує M_e на 40%, а на 30° раніше знижує M_e на 8%.

Список використаної літератури

1. <https://graceagro.com/>
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
3. Круглов С.М. Будова, технічне обслуговування і ремонт легкових автомобілів — К. — 1986. — 238с.
4. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І. І. Автомобільні двигуни. Підручник. Друге видання.—К.: Арістей, 2004, —476 с.
5. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів : підручник / В. Ф. Шапко, С. В. Шапко. — Харків : Точка, 2016. — 232 с.
6. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 т. / За ред. проф. А. П. Марченка та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. — Харків : Прапор, 2004. — 384 с.
7. Біліченко, В. В. Основи технічної діагностики колісних транспортних засобів [Текст] : навч. посіб. / В. В. Біліченко, В. Л. Крещенський, Ю. Ю. Кукурудзяк, С. В. Цимбал. - Вінниця : ВНТУ, 2012. - 118 с.
8. Коваленко В. М., Щуріхін В. К. Діагностика і технологія ремонту автомобілів : підруч. — Київ : Літера ЛТД, 2017. — 224 с.
9. Основи діагностики автомобіля: Навчально-методичний посібник до практичних та самостійних робіт студентів вищих навчальних закладів України / Укладачі: Люлька В.С., Коньок М.М., Перинський Ю.Є., Клімов О.М. — Чернігів: ЧНПУ імені Т.Г. Шевченка, 2013. — 188 с.
- 10.Тітова Л. Л., Надточій О. В., Роговський І. Л. Технічне діагностування автотранспортних засобів. : Навчальний посібник. Київ. НУБіП України, 2020. 432 с. ISBN 978-617-7878-12-3.
- 11.Жерновий А.С. Аналіз та вибір засобу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик України. Окремий випуск – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2004. – С. 147 – 149.
12. Жерновий А.С. Розробка та дослідження методу діагностування двигунів внутрішнього згоряння / А.С. Жерновий, К.С. Колобов // Автошляховик

- України. Окремий випуск – К. : ДП «ДержавтотрансНДІпроект», 2005. – С. 56 – 59.
13. Чабанний В.Я. Практикум з експлуатації вантажних автомобілів. Навчальний посібник Уклад.: Чабанний В.Я., Магопець С.О., Мажейка О.Й. та ін. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2011. – 456 с.
14. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Основи технічного обслуговування і ремонту автомобілів: Підручник. - К.: Вища шк., 1994. - (у 3-х кн.): Кн. 1: Теоретичні основи: Технологія. - 342 с; Кн. 2: Організація, планування і управління. - 383 с; Кн. 3: Ремонт автотранспортних засобів. - 599 с.
15. Komorska I. Diagnostic-oriented Vibroacoustic Model of the Reciprocating Engine / I. Komorska // SolidStat. – 2012. – № 180. – P. 214-221. – Available at: <https://www.scientific.net/>.
16. Макушин А.А. Аналітичні дослідження впливу конструкції ГРМ на показники ДВЗ / А.А. Макушин. – Автомобільна промисловість. – 2012. – № 3. – С. 12-16.
17. Браїльчук А.П. Віброакустичний метод експрес-діагностики форсунок уприскування легких палив / А.П. Браїльчук, А.А. Трифонов, Р.С. Санов // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2006. – № 34(35). – С. 208-211.
18. Banlaki P. Part failure diagnosis for internal combustion engine using noise and vibration analysis [Electronic resource] / P. Banlaki // Periodica Polytechnica Transportation Engineering. – 2010. – № 38. – pp. 53-60. – Available at: <http://surl.li/bqwn>.
19. Kaźmierczak A. Dopplerowska wibrometria laserowa w diagnostyce silnika spalinowego [Electronic resource] / A. Kaźmierczak, K. Krakowian, R. Wróbel // Przegląd Elektrotechniczny. – 2010. – № 86(10). – P. 147-149. – Available at: www.pe.org.pl/.

20. Urbahs A. The problem of vibro-acoustic diagnostics of gas turbine engine bearing units / A. Urbahs // 20th International Scientific Conference “Mechanika”. – Lithuania, 2015. – P. 268-271.
21. Yunusov S. New Approach to the Formation of the Adequate Diagnostic Matrix of the Gas Turbine Engine /S. Yunusov // 25th European Conference on Modelling and Simulation “ECMS 2011”. – Kharkiv, 7-10 June 2011. – P. 362-369.
22. Marko K.A. Neural network application to comprehensive engine diagnostics // K.A. Marko, B. Bryant, N. Soderborg // In IEEE International Conference of System, Man and Cybernetics, Chicago, IL, 1992. – P. 1016-1022.
23. Nonlinear Analysis of Combustion Engine Vibroacoustic Signals for Misfire Detection [Electronic resource] /P. Boguś, J. Merkisz, R. Grzeszczyk, S. Mazurek // SAE Technical Papers. – 2003. – Available at: <http://surl.li/bqya>.
24. Jasmin Sehovic. Contribution to the Diagnostics of the Internal Combustion Engine Timing Mechanism Chain/Conference: International Symposium on Innovative and Interdisciplinary Applications of Advanced Technologies IAT 2023: Advanced Technologies, Systems, and Applications VIII, September 2023. DOI:10.1007/978-3-031-43056-5_35
25. Badawy T, Shrestha A, Henein N. Detection of Combustion Resonance Using an Ion Current Sensor in Diesel Engines. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power 2012; 134(5): 052-802, <https://doi.org/10.1115/1.4004840>.
26. Ucar M, Ergun RE, Cengiz A. A novel failure diagnosis system design for automotive timing belts. Expl Techq 2014; 38: 48–53.
27. Blander RS, Wenzel KJ, Piska VG. Method of detecting timing apparatus malfunction in an engine. US Patent 5,463,898, 1995.
28. A H Abadi, R Suhartono, A Efendi, and R Anugrah Pratama. Analysis of variable valve timing intelligent mechanism of gasoline performance/ International Conference on Technology and Vocational Teachers (ICTVT), 2020, doi:10.1088/1742-6596/1833/1/012027