МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кваліфікаційна наукова

праця на правах рукопису

ХРУЛЄВ ОЛЕКСАНДР ЕДУАРДОВИЧ

УДК 621.431

ДИСЕРТАЦІЯ
МЕТОД ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ПОШКОДЖЕНЬ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Спеціальність 05.05.03 – Двигуни та енергетичні установки

ОКРЕМА КНИГА З ДОДАТКАМИ

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

_____О. Е. Хрулєв

Науковий консультант Сараєв Олексій Вікторович, доктор технічних наук, професор

Харків – 2025

ЗМІСТ

ДОДАТОК А – МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ.....5

А.1 Ідентифікація двигуна та його деталей як об'єкта досліджень 5

А.2 Особливості відбору проб рідин, палив та олив 6

А.3 Попереднє дослідження двигуна на місці огляду..... 7

А.4 Перевірка роботи двигуна в дослідженнях причин несправності 8

А.5 Особливості досліджень непрацездатного двигуна 10

А.6 Проведення електронної діагностики під час досліджень причин несправності двигуна..... 14

А.7 Особливості електронної діагностики у разі виникнення несправностей механічної частини двигуна..... 18

А.8 Метод діагностики несправностей двигуна вимірюванням компресії у циліндрах..... 20

А.9 Технологія ендоскопічного дослідження порожнини циліндрів 27

А.10 Методи дослідження палива під час проведення досліджень причин несправностей двигунів автомобілів..... 34

А.11 Методи дослідження властивостей моторної оливи під час пошуку причин несправностей 41

А.12 Допоміжні перевірки та їх особливості під час проведення досліджень причин несправності..... 47

А.13 Визначення причин несправностей шляхом розбирання двигуна як заключна стадія пошуку 48

А.14 Технологія дослідження деталей розібраного двигуна..... 51

А.15 Особливості досліджень моменту затягування болтів..... 53

А.16 Метод дослідження ознак несправності за вигляду деталей..... 55

ДОДАТОК Б – ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ..... 76

Б.1 Прилади для електронної діагностики 76

Б.2 Прості діагностичні прилади та обладнання 81
Б.3 Спеціальні технічні засоби, інструмент, прилади та обладнання для робіт з пошуку причин несправності..... 95
Б.4 Вимірювальний інструмент для дослідження пошкоджень..... 102

ДОДАТОК В – ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ, ФОРМИ, ВЗАЄМНОГО ПОЛОЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ І МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ . 109
В.1 Вкладиші підшипників колінчастого валу 110
В.2 Колінчастий вал..... 114
В.3 Блок циліндрів 116
В.4 Поршень та шатун 120
В.5 Поршневі кільця 123
В.6 Головка циліндра..... 125
В.7 Клапани..... 129
В.8 Інші вузли та деталі..... 132
В.9 Методи дослідження матеріалу деталей 135

ДОДАТОК Г – МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕНЬ У ДВИГУНАХ..... 142
Г.1 Визначення температурного стану поршня та розрахунок температурних напруг та деформацій 142
Г.2 Розрахунок напружено-деформованого стану шатуна від навантажень стиснення, розтягування та вигину 146
Г.3 Визначення напружено-деформованого стану кришки шатуна 155
Г.4 Розрахунок напружено-деформованого стану поршневого пальця від згинальних навантажень..... 158

ДОДАТОК Д – ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ..... 161
Д.1 Авторизована інформація..... 161

Д.2 Неавторизована інформація 164
Д.3 Нормативно-технічна документація..... 167
Д.4 Спеціальна довідкова технічна інформація..... 168
Д.5 Ретроспективний аналіз історії автомобіля як метод інформаційного забезпечення досліджень причин несправності двигуна..... 175
Д.5.1 Роль ретроспективного аналізу історії автомобіля в завданнях визначення причин несправностей двигуна 176
Д.5.2 Методика ретроспективного аналізу історії транспортного засобу 179

ДОДАТОК Е – ВИСНОВКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ..... 182
Е.1 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна автомобіля TOYOTA HIGHLANDER (абразивне зношування) 183
Е.2 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна автомобіля SSANGYONG KORANDO (перегрів при витіканні охолоджувальної рідини)264
Е.3 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна MERCEDES-BENZ CLA 200 (гідроудар)..... 337

ДОДАТОК Ж – АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ..... 400

ДОДАТОК А – МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ

А.1 Ідентифікація двигуна та його деталей як об'єкта досліджень

Перш ніж починати дослідження технічного стану автомобіля та двигуна з мотою визначення причин несправності, необхідно з'ясувати, що за автомобіль та двигун досліджується. З цією метою необхідно знайти для наступного аналізу:

1) маркувальні таблички на кузові автомобіля,

2) копії реєстраційних документів на автомобіль,

3) технічні дані, особливості конструкції, параметри двигуна.

Далі виконується порівняння відповідних ідентифікаційних номерів із даними документів, які отримані від замовника. Зазвичай така робота не викликає труднощів, оскільки маркувальні таблички знаходяться у відомих (традиційно розташованих) місцях автомобіля. При цьому фіксується цілісність та комплектність автомобіля, у тому числі двигуна.

Однак, складність цієї роботи може бути пов'язана, в першу чергу, з тим, що при виконаному раніше до дослідження демонтажі зняті деталі ніяк не були марковані [56] (тут і далі нумерація джерел по основному тому роботи). Крім того, деталі можуть зберігатися невідповідним чином – або у неопечатаному автомобілі, або на стелажі в приміщенні сервісу, де до них є вільний доступ сторонніх. У таких випадках виникає необхідність досліджувати та ідентифікувати зняті деталі з метою встановлення їх належності.

При дослідженні двигунів дана проблема набуває особливої складності, оскільки переважна більшість деталей після демонтажу не мають жодних ознак належності. Все це призводить до того, що потрібно встановити, які з наданих на дослідження деталей та вузлів мають ознаки приналежності до досліджуваного автомобіля, і, відповідно, є об'єктами дослідження, а які ні.

При тривалому зберіганні двигуна, особливо, розібраного, неминуча корозія його деталей [70], яка може знищити характерні сліди (ознаки) і

утруднити точного встановлення причини пошкоджень. Найсильнішої корозії під час тривалого зберігання піддаються циліндри блоку, якщо головка блоку і піддон зняті з двигуна. Незважаючи на це, навіть мінімальні заходи щодо захисту поверхонь від впливу навколишнього середовища застосовуються на практиці вкрай рідко. Забезпечити безпеку та захист від корозії знятих деталей двигуна в багажному відділенні автомобіля практично неможливо, якщо автомобіль зберігається на відкритій стоянці в міжсезоння.

Найбільші складнощі можуть виникнути у випадку, коли двигун демонтований та розібраний, але не надані документи, з яких можна було б встановити, що даний двигун належить досліджуваному автомобілю [248]. У разі належність деталей може бути встановлена за характерними ознаками. Однак зробити таку роботу для всіх деталей проблематично, що в деяких випадках призводить до виключення їх з об'єктів дослідження.

А.2 Особливості відбору проб рідин, палив та олив

Необхідність взяття проб виникає за наявності обґрунтованих версій у тому, що саме невідповідність властивостей робочих рідин (палив, олив) могло стати причиною несправності. Наприклад, рідина може містити якісь речовини, які можуть бути ознаками будь-якої несправності.

При взятті проб [37] дотримується ряд правил, зокрема:

1) кількість рідини має бути близько 1 л, що, як правило, достатньо для будь-яких видів дослідження,

2) для проби достатньо пластикової місткості, проте це не годиться для бензину – він є розчинником, і для нього потрібна скляна місткість,

3) проби зазвичай беруться у кількості 3-х, з яких одна йде на дослідження, а дві інших є контрольними та залишаються у сторін спору,

4) проби беруться у присутності якоїсь комісії, яка підписує відповідний акт відбору проби, у якому також зазначається вид рідини, дата, дані автомобіля, прізвища та підписи присутніх осіб,

5) ці дані прикріплюються до місткості так, щоб їх можна було прочитати, але не було можливості розкрити місткість, не зашкодивши пакування.

Дослідженню властивостей палива можуть перешкоджати невідповідні умови зберігання автомобіля та тривалий термін такого зберігання, коли властивості палива можуть змінитися. У такому разі паливо вже не відповідатиме тому стану та властивостям, які були на момент появи несправності [71, 112].

Наприклад, дизельне паливо у відкритому паливному баку при тривалому зберіганні в перехідний період (наприклад, осінь-зима) піддаватиметься різким перепадам температури. В умовах підвищеної вологості це неминуче призведе до конденсації води на стінках та надходження її до палива. У такій ситуації аналіз палива на вміст води недоцільний, оскільки результат ніяк би не показував стан палива в експлуатації автомобіля, у тому числі на момент появи ознак несправності [103].

Відомі також випадки, коли автомобіль та/або злиті рідини зберігалися у неналежному вигляді, у режимі вільного доступу, у невідповідних умовах. Тоді відбір проб і подальше дослідження даних рідин слід виключити, оскільки встановити їхню приналежність, а також гарантувати відсутність будь-якого впливу на них у період зберігання практично неможливо.

А.3 Попереднє дослідження двигуна на місці огляду

Основне завдання при огляді двигуна – не пропустити важливих фактів, особливо тих, які потім не можна буде повторити та/або відтворити [56, 103]. До таких фактів, в першу чергу, належать:

1) рівні робочих рідин та оливи. Після їх зливу з агрегатів та систем, очевидно, встановити рівень (кількість) рідини на момент огляду неможливо,

2) сліди підтікання робочих рідин на різних поверхнях, у тому числі на кузові автомобіля. Ці сліди, якщо вони розташовані на зовнішніх поверхнях агрегатів, після демонтажу агрегатів виявити важко або навіть неможливо,

4) сліди демонтажу та повторного монтажу вузлів та агрегатів. Виявити їх після наступного демонтажу також неможливо (буде незрозуміло, коли утворилися, наприклад, сліди на гранях болтів та гайок – колись до або безпосередньо в момент демонтажу під час огляду),

3) стан пам'яті блоку керування. Після роз'єднання електронних вузлів, датчиків та кабелів проведення діагностики також стає скрутним або навіть неможливим.

Якщо двигун після зняття та розбирання зберігається занадто довго і в невідповідних умовах, то згодом багато ознак, що є на деталях, знищуються. Наприклад, патьоки рідин зникають, деталі іржавіють, а паливо нерідко істотно змінює свої властивості так, що передбачити, яким воно було на момент виникнення несправності, вже неможливо.

А.4 Перевірка роботи двигуна в дослідженнях причин несправності

При дослідженні причин несправності двигун може перебувати у різному технічному стані, але з погляду подальших дій найважливіше, перебуває двигун у робочому чи неробочому стані.

Якщо двигун працездатний, перевірка його роботи є обов'язковою. Робочий стан означає, що двигун працює, але, можливо, має певні відхилення параметрів від нормальних (номінальних, допустимих) значень. Це може бути ознакою несправності. У неробочому стані, очевидно, двигун непрацездатний внаслідок тих чи інших пошкоджень (відмов).

Визначення причини несправності двигуна, що у робочому стані, загалом виявляється близьким до звичайної сервісної операції – діагностиці. У робочого двигуна за зовнішні ознаки несправності нерідко не дають можливості однозначно виявити її причину, тоді як використання діагностичних засобів може бути вирішальним для локалізації несправності. Далі, але тільки після отримання та попереднього аналізу результатів діагностики, слід ухвалити рішення про необхідність подальшої часткової або повної розбирання двигуна,

якщо виявлена на попередній стадії несправність пов'язана з механічною частиною двигуна [103].

При проведенні діагностики, окрім технічних засобів, важливе значення має також аналіз зовнішніх ознак несправності – таких як акустичні ознаки (шуми та стукоти) та сліди зовнішньої негерметичності систем (витік оливи чи охолоджувальної рідини).

Шуми та стукоти іноді можуть бути додатковими ознаками несправності, однак робити їх головними ознаками недоцільно відразу з кількох причин. Так, на шуми та стукоти не існує жодних норм і стандартів, які дозволили б встановити не тільки підвищений у порівнянні з якоюсь нормою рівень, але навіть і наявність підвищеного шуму/ стуку двигуна. У таких умовах усі результати визначення шумів та стукотів стають суб'єктивними. Крім того, тільки на їх основі неможливо прийняти будь-які обґрунтовані рішення ні про передбачувану причину несправності, ні про способи її визначення.

Навпаки, патьоки рідин на зовнішніх поверхнях є важливою ознакою різних несправностей. У загальному випадку ознаки негерметичності можуть не тільки вказувати на факт самої негерметичності, але також дати уявлення про її кількісні характеристики. Тут важливий характер поширення слідів рідин у напрямку потоку повітря на днище та задню частину автомобіля. У деяких випадках не менш важливими можуть бути інші ознаки, що доповнюють картину несправності – наприклад, знос гальмівних дисків, шин та інші [103].

Важливим етапом дослідження є тестова поїздка [56], при якій можуть контролюватись та вимірюватись різні параметри. Отримання таких параметрів при сучасному розвитку діагностичних засобів не становить проблем. Однак складністю під час проведення тестової поїздки може бути:

1) небажання власника транспортного засобу виконати поїздку (у цьому випадку поїздка неможлива),

2) велика тривалість поїздки, коли отримання якихось параметрів вимагає поїздки на значні відстані (наприклад, витрата оливи чи палива).

А.5 Особливості досліджень непрацездатного двигуна

Дослідження непрацездатного двигуна має низку обмежень щодо застосування методів та засобів діагностики [103]. Для того, щоб встановити правильний алгоритм проведення досліджень, необхідно враховувати деякі особливості технічного стану, які легко визначаються при огляді. При дослідженні непрацездатного двигуна всі несправності за зовнішніми ознаками можна розділити на дві умовні групи: коли колінчастий вал провертається (стартером, спеціальним ключем тощо) і коли цього не можна зробити.

Для першої групи несправностей істотне значення мають тип та конструкція двигуна та його системи управління. Наприклад, для бензинових двигунів часто причиною неможливості запуску є несправності систем паливоподання або запалювання. При цьому знижена компресія у всіх циліндрах є рідкісним випадком і може взагалі не пов'язана з несправністю механічної частини (наприклад, відомий з практики ефект змивання оливи зі стінок циліндрів паливом під час запуску при низьких температурах).

Навпаки, у дизелів, крім несправностей у системі паливоподання та порушення роботи свічок розжарювання, неможливість запуску може бути спричинена низькою компресією. Це можливо, наприклад, внаслідок зносу ЦПГ, стрижнів клапанів, напрямних втулок та сідел клапанів. Тому, якщо виключити несправності стартера та акумуляторної батареї, що не дозволяють обертати при запуску колінчастий вал із необхідною для цього швидкістю, можна розглядати причини незапуску бензинових та дизельних двигунів окремо (табл.А.1).

Якщо колінчастий вал двигуна не обертається, це може бути легко визначено, наприклад, за допомогою ключа з важелем, що встановлюється на болт шківа колінчастого валу. Тоді причини заклинювання у всіх типів двигунів є загальними. У цьом разі несправності різних систем можна сміливо виключити та вважати, що основні причини несправності укладено у механічної частини самого двигуна (табл. А.2).

Таблиця А.1 – Типові причини несправності, при яких запуск двигуна неможливій або дуже утруднений при вільному обертанні колінчастого валу

Причина	Перевірка
Бензинові двигуни	
Несправності систем керування: - Системи паливоподання - Системи запалювання	Діагностичні роботи з системи управління
Низький тиск (компресія) у циліндрі внаслідок перезбагаченої суміші. Зустрічається зазвичай під час запуску за умовах низьких температур	Вивернути свічки, продути циліндри, залити у кожен по 0,5÷1,0 см3 оливи, загорнути свічки, запустити двигун
Обрив зубчастого ременя чи ланцюга приводу розподільчого валу	Колінчастий вал обертається стартером дуже швидко. Зняти кожух ременя (кришку ланцюга), кришку головки блоку та переконатися, що розподільний вал не обертається
"Перескакування" надмірно ослабленого зубчастого ременя або ланцюга на кілька зубів	Бавовни на впуск і в глушник. Точно визначається шляхом зняття кришок та перевіркою встановлення фаз газорозподілу
Дизельні двигуни	
Несправність 2-х або більше свічок розжарювання або системи керування свічками (не запускається лише холодний двигун)	Від'єднати свічки від шини та перевірити електроопір кожної свічки. Перевірити напругу на шині. За відсутності напруги можна подати на шину напругу безпосередньо від акумулятора за допомогою дроту та перевірити запуск двигуна
Несправність системи паливоподання (форсунки, паливний насос високого тиску)	Перевірка паливної апаратури на спеціальних стендах
Великий знос поршневої групи, клапанів, напрямних втулок та сідел. Спостерігається після пробігу 120 150 тис. км і більше	Двигун пускається лише за підвищеної частоти обертання (наприклад, “сходу”). Після запуску працює задовільно. Можлива негерметичність сальників та прокладок через підвищений тиск у картері, велика витрата оливи

Таблиця А.2 – Основні несправності двигунів при великій труднощі або неможливості прокрутити колінчастий вал

Причина	Перевірка
Заклинювання підшипників колінчастого валу через недостатнє змащення.	Зняти піддон картера, звільнити кришки шатунів, провернути колінчастий вал.
Заклинювання розподільчого валу через недостатнє змащення.	Зняти кришку головки, звільнити підшипники розподільчого валу, повернути двигун.
Заклинювання поршневого пальця в поршні при запуску в умовах низьких температур (зустрічається дуже рідко).	Зняти піддон, кришки шатунів, переконатися у неможливості повернути шатуни у пальцях.
Обрив шатуна через перегрівання при недостатньому змащенні або після гідроудару.	Зняти піддон, визначити несправність візуально.
Руйнування клапана, попадання його головки між головкою блока та поршнем.	Зняти кришку, перевірити зазори у клапанах. Перевірити рівні охолоджувальної рідини та оливи (можлива тріщина в головці). Виконати огляд циліндра за допомогою ендоскопу
Заклинювання шестерень стартера у зношених зубах маховика (зрідка зустрічається).	Звільнити стартер, провернути колінчастий вал.
Руйнування деталей приводу розподільного валу (ланцюг, натягувач ланцюга).	Зняти кришку головки, оглянути ланцюг.
Обрив ременя приводу розподільчого валу, упор поршнів у відкриті клапани.	Зняти кожух ременя, оглянути деталі.
Деформація шатунів із-за гідроудару в циліндрах.	Зняти піддон, звільнити кришки шатунів, оглянути шатуни, провернути колінчастий вал.
Велика кількість рідини (вода, олива, охолоджувальна рідина, паливо) в циліндрах.	Вивернути свічки, провернути колінчастий вал, зробити перевірку шатунів на можливу деформацію.

Слід також зазначити, що не лише прямі ознаки можуть вказувати на причину несправності. Так, багато несправностей механічної частини та систем управління безпосередньо ведуть до виходу з ладу стартера. Наприклад, через туге обертання колінчастого валу відбувається перегрів обмоток стартера, прискорене зношування щіток, колектора, перегрів контактів тягового реле. Схожий результат буде, якщо запуск двигуна утруднений через несправність систем подачі палива або запалювання, хоча при цьому ротор стартера буде обертатися з набагато вищою частотою.

Насправді нерідко виявляється справедливим і зворотне – якщо несправний стартер, отже двигун має якусь несправність, що з труднощами запуску. Тобто між несправностями двигуна і стартера може бути причинно-наслідковий зв'язок, коли несправність стартера з'явилася не сама по собі, а була викликана несправністю двигуна. У цьому завдання дослідження – правильно визначити, що є справжня причина незапуску, а де наслідок цієї причини.

Двигун з очевидними зовнішніми пошкодженнями (проломи, пробоїни) однозначно має внутрішні руйнування деталей, тому визначення причини несправності такий двигун має бути однозначно і повністю розібраний [103]. В іншому випадку, за відсутності розбирання або при неповному розбиранні, правильно визначити причину, як правило, не вдається. При цьому слід мати на увазі, що для непрацездатного двигуна з явними ознаками внутрішніх пошкоджень, на відміну від працездатного двигуна, розбирання фактично не є руйнівним методом контролю, оскільки стан двигуна і до і після розбирання залишається непрацездатним.

Якщо підбивати підсумок з усіх процесів і роботам, виконуваних щодо автомобіля і двигуна, то практики можна зробити такі висновки:

1) при дослідженні причин несправності двигунів надзвичайно важливо суворо дотримуватись певного порядку поетапного виконання робіт,

2) порядок виконання робіт з дослідження несправності двигуна в загальному випадку включає наступні основні етапи:

- Зовнішній огляд, перевірка рівнів робочих рідин, пошук місць негерметичності і т.д.,

- для робочого двигуна – аналіз акустичних даних, димності, проведення тестів тощо,

- комплексна діагностика за допомогою технічних засобів,

- відбір проб палива, оливи,

- прийняття рішення про розбирання,

- власне розбирання двигуна, дослідження пошкоджених деталей,

3) спрощення та/або прагнення до економії часу шляхом пропуску окремих етапів та/або видів робіт, а також ускладнення шляхом необґрунтованого виконання "зайвих" досліджень зазвичай призводять до утруднення або навіть неможливості правильного визначення причини несправності,

4) перевагу слід віддавати використанню безрозбірних методів пошуку причини та тільки потім, за неможливості визначення причини безрозбірними методами, слід переходити до розбирання двигуна, часткової або повної.

А.6 Проведення електронної діагностики під час досліджень причин несправності двигуна

Розглянемо докладніше порядок робіт із виконання електронної діагностики під час пошуку причин несправностей [103]. Зазвичай під час проведення досліджень ці роботи виконує діагност, проте дослідник-фахівець як присутній. Він також повинен добре розуміти цілі та завдання дій діагноста, а також планувати експеримент та знати, що треба отримати від діагностики для подальшого аналізу.

З цією метою розглянемо принцип побудови системи керування двигуном та особливості її діагностування. Згідно з основними вимогами стандартів OBD-II та EOBD [222, 361], бортовий комп'ютер автомобіля повинен включати контрольну лампу індикації несправності (MIL – Malfunction Indicator Lamp, її

також називають лампою Check Engine – Перевір двигун) на панелі приладів. Лампа MIL спрацьовує у разі виявлення несправності у таких системах:

1. Несправності у вузлах системи зниження токсичності відпрацьованих газів.

2. Порушення роботи вузлів системи керування трансмісією, якщо вони впливають на токсичність відпрацьованих газів.

3. Несправності у самому блоці управління.

У разі виникнення несправностей у пам'ять блоку керування записуються відповідні діагностичні коди несправностей (DTC – Diagnostic Trouble Codes) відповідно до вимог системи.

Для перевірки наявності несправностей, у тому числі кодів DTC, необхідно увімкнути електронний діагностичний прилад (сканер) до діагностичного роз'єму автомобіля [303]. На дисплеї приладу показуватимуться коди DTC, поточні параметри (фіксовані набори параметрів) та інші різні дані про стан та умови роботи двигуна.

При нормальній експлуатації автомобіля система самодіагностики працює у звичайному режимі. При цьому для забезпечення точного визначення несправності зазвичай застосовується так звана логіка діагностування за 2 поїздки (поїздкою вважається робота двигуна між включенням та вимкненням запалювання). Тобто при першому виявленні несправності відповідні їй DTC тимчасово зберігаються у пам'яті блоку управління (перша поїздка). Далі, якщо ця сама несправність реєструється знову під час наступного циклу руху, включається контрольна лампа MIL (2-а поїздка).

Якщо в якийсь момент експлуатації з'явилася серйозна несправність, код помилки даної несправності записується в пам'ять блоку управління. Запис відбувається разом з усіма параметрами, які мав автомобіль і двигун на момент виникнення несправності, включаючи швидкість руху, оберти колінвала, температури в характерних точках їх вимірювання, час початку поїздки та інші. При цьому на момент виникнення несправності деякі важливі коди в пам'яті блоку керування зберігаються разом із миттєвими значеннями поточних

параметрів, які були на момент реєстрації відповідного DTC (так звані "заморожені дані" Freeze Frame Data).

Це свідчить як важливу, інколи ж навіть визначальну роль діагностики щодо причин несправності, а й помітна відмінність цілей і завдань у діагностики та визначення причин несправності [56, 103]. Дійсно, при вступі на СТО несправного автомобіля з лампою MIL, що горить, заведено виконувати всі запропоновані виробником процедури перевірок [55, 232, 340]. Але якщо несправності не виявляються, діагност може просто "погасити" лампу і, стерши коди, звітувати про справність автомобіля. Абсолютно інакше працює діагностика при дослідженні причини несправності. Дослідник-фахівець вивчає той же протокол, який діагност бачив неодноразово, і може знайти аномальні параметри [103]. А вони свідчать не тільки про те, що автомобіль на момент виходу з діагностичної ділянки був несправний, а й те, яка в автомобілі була несправність, коли вона виникла і до чого вона передбачила, з метою визначити, яка її причина [56].

Таким чином, правильне планування діагностичних робіт в дослідженнях причин несправності та подальший правильний аналіз отриманої діагностичної інформації дозволяє швидко та ефективно визначити параметри, що вийшли за допустимі межі та можуть вказувати на причину несправності. Однак не всі помилки можуть записуватись разом із "замороженими" даними, і не у всіх моделей автомобілів вдається отримати такі дані тоді, коли вони були б корисні при пошуку причини несправності.

Коли для аналізу можливих причин несправностей отримати додаткові дані не вдається, за відсутності достатньої інформації може бути корисним режим так званої активної діагностики (поїздка з діагностичним приладом). Для покращення здатності системи самодіагностики виявляти несправності, у тому числі епізодичні, при відтворенні ознак несправностей у режимі активної діагностики використовується логіка діагностування за 1 поїздку (зазвичай такий режим реалізований у дилерських сканерах).

Після проведення всіх діагностичних процедур, запису їх результатів, перевірки систем та усунення виявлених несправностей згідно з ремонтною документацією проводиться видалення кодів. Це найпростіше зробити за допомогою сканера. На деяких автомобілях коди DTC можуть також видалятися (занулятися) при відключенні негативної клеми АКБ автомобіля на термін більш чим 1 хвилина. Факт видалення кодів фіксується блоком керування, який веде відлік пробігу автомобіля із цього моменту.

Важливо, якщо на момент проведення діагностики пам'яті блоку управління збережена величина пробігу з моменту виникнення DTC. Це або пробіг автомобіля з несправністю з моменту останнього занулення кодів, або пробіг автомобіля з несправністю безпосередньо з виникнення цієї несправності, якщо за цей пробіг занулення кодів не проводилося [90]. Ця особливість, властива системам керування деяких автомобілів [103], в окремих випадках (наприклад, при "скиданні" пробігу автомобіля для продовження його гарантії або перед продажем) може мати виключно важливе значення для висновків дослідження.

У системах керування двигуном для багатьох несправностей, окрім логіки діагностування, застосовується і відповідна логіка "забуття" несправностей. Якщо несправність не виявляється протягом заданої кількості наступних поїздок, контрольна лампа несправності автоматично вимикається, однак коди DTC залишаються в пам'яті блоку керування. Тобто, якщо несправність, що виникла раніше, не проявляється тривалий час, то блок може про неї "забути", як про випадковий і/або незначний збій.

Зазвичай у системах управління реалізується логіка "забуття" помилок після великої кількості поїздок – наприклад, після 40-ї або навіть 50-ї поїздки. Якщо протягом такого великого числа поїздок несправність не повторилася, то система вимикає лампу MIL і переводить помилку або в історію до пасивних (не чинних) помилок, або взагалі стирає інформацію про цю помилку (залежно від виду помилки).

Таким чином, якщо на момент діагностики автомобіля в пам'яті блоку керування містяться помилки, то в залежності від їх статусу – активні вони або пасивні, в блоці зберігатиметься інформація про пробіг, при якому виникла помилка, а також стан лампи MIL на момент діагностики (включена або вимкнена). Спрощено це може виглядати так: якщо лампа MIL була включена, то помилка активна, і система несправна, якщо ж лампа вимкнена – помилка пасивна і на момент перевірки несправність не виявляється.

Зазначені особливості роботи системи управління, у тому числі її самодіагностики та діагностики за допомогою сканера, широко використовуються на практиці при аналізі стану системи управління та пошуку причин несправності двигуна. При цьому електронна діагностика є дуже важливим інструментом дослідження несправності – причини деяких несправностей без електронної діагностики виявити не вдається. Однак електронна діагностика має свої межі застосування, її не рекомендується зводити до абсолюту, навпаки – вона вимагає обґрунтованого застосування там, де це необхідно. Щоб визначити ці межі, необхідно розглянути, у яких випадках електронна діагностика не дає жодної корисної інформації під час дослідження причин несправності та чому.

А.7 Особливості електронної діагностики у разі виникнення несправностей механічної частини двигуна

Функції самодіагностики блоку управління відповідно до вимог стандартів OBD-II та EOBD передбачають оповіщення водія та запис кодів помилок у пам'ять блока керування. Це передбачено у разі виявлення несправності в системі зниження токсичності відпрацьованих газів та/або несправності в самому блоці керування [222]. Самодіагностика за «заводськими» протоколами передбачає запис помилок, які відносяться не тільки до токсичності, що дає ще більше інформації [49]. Однак усі ці корисні функції не дозволяють виявити багато несправностей у механічній частині двигуна.

Дійсно, деякі види механічних несправностей у двигуні, якщо вони не призводять до пропусків займання та відключення циліндрів, ніяк не розпізнаються системою самодіагностики. Причина цього очевидна – у всій системі керування немає датчиків, які б виявити ознаки таких несправностей. До них відносяться, наприклад, підвищений знос, сторонні шуми та стукіт у двигуні (якщо цей стукіт не перевищує рівень, що реєструється датчиком детонації), різні течі робочих рідин, включаючи також і витрата оливи. За відсутності "датчиків" зношування, течі, витрати, шуму система самодіагностики не може побачити параметрів і відповідних несправностей механічної частини двигуна.

Це означає, що зношування та сторонні шуми не можуть бути зафіксовані блоком керування як ознаки несправності. Відповідно до цього блок керування не може запам'ятати будь-яких кодів помилок, пов'язаних з несправностями двигуна, що виявляють себе у вигляді зносив, течій, витрат, шумів та стукотів, а сканер, відповідно, не може їх показати. Тому ситуація, коли діагностичний прилад підключають до явно несправного двигуна, а прилад не показує жодних помилок, абсолютно нормальна для діагностики та дослідження причин несправности [103].

Крім цього, слід зазначити та таку неприємну особливість систем керування – у пам'яті блоку, навіть за наявності відповідних датчиків, деякі параметри, що свідчать про відхилення від норми, не записуються. Наприклад, це стосується тиску та рівня моторної оливи. Значить, при порушенні, з будь-якої причини, подачі оливи до пар, що труться, така несправність не буде діагностована блоком керування безпосередньо, і шукати коди помилок марно. У той самий час треба розуміти, деякі дані про порушення подачі оливи можна отримати опосередковано, за параметрами інших систем, які керуються тиском оливи (наприклад, за кодом помилки у системі регулювання фаз газорозподілу).

Таким чином, добре видно, що система самодіагностики – не найкращий інструмент для виявлення у ДВЗ механічних пошкоджень (несправностей та дефектів). Але якісь механічні несправності за допомогою електронної діагностики таки можуть бути виявлені, хоч і побічно.

Для того, щоб їх знайти, треба умовно розбити всі несправності механічної частини на дві групи. Звідки можна назвати "екологічні" несправності механічної частини, тобто такі, що не порушують екологічні параметри автомобіля (наприклад, руйнування вкладишів колінчастого валу). Такі несправності можуть залишатися абсолютно "невидимими" для системи управління. І навпаки, "неекологічні" несправності, наприклад, пошкодження поршня або клапанів, безпосередньо порушують екологічні параметри автомобіля (викликають перепустки займання) і тому фіксуються блоком керування. Тоді при дослідженні залишається лише за непрямими ознаками встановити причинно-наслідкові зв'язки ознак та причин несправності.

Крім цього, нерідко при дослідженні двигунів можуть спостерігатися різні нехарактерні відкладення нагару [121, 185, 408], зміна в'язкості та/або осад моторної оливи [94, 185, 356, 373, 396], а також пошкодження та знос деталей як внаслідок порушення змащення [103, 142, 211, 365, 367]. Очевидно, такі несправності двигуна безпосередньо не можуть призвести до появи кодів помилок. Вони не записуються в пам'ять блоку керування і тим більше не призводять до спрацьовування лампи несправності на панелі приладів та/або не виявляються за допомогою сканера. Однак несправності можуть надавати непрямий вплив на різні системи двигуна та їх параметри. Тобто загалом не можна виключити відхилення таких параметрів від штатних значень та можливості появи кодів помилок внаслідок цих відхилень.

У цьому випадку виникнення несправності можуть мати причинно-наслідкові зв'язки, а можуть бути розглянуті незалежними. Встановлення таких зв'язків, тим щонайменше, необхідне визначення причини несправностей і як головне завдання практики дослідження технічного стану двигунів.

А.8 Метод діагностики несправностей двигуна вимірюванням компресії у циліндрах

Вимірювання компресії (величини максимального тиску в циліндрі, створюваного при холостому прокручуванні двигуна стартером при відключеній подачі палива) в циліндрах є найпростішим і дешевим методом діагностики. Це також поширений спосіб неруйнівного контролю та діагностування двигуна з метою отримання оцінки його технічного стану та локалізації несправностей [102-103, 106, 245]. У практиці дослідження причин несправностей цей спосіб також знаходить застосування, зокрема, на стадії попереднього вивчення стану двигуна [56].

Щоб виміряти компресію, необхідно замість свічки (або форсунки, свічки розжарювання дизеля) встановити компресометр [73, 245] – манометр, з'єднаний шлангом зі штуцером і зворотним клапаном. При обертанні колінчастого валу двигуна повітря нагнітатиметься у шланг приладу доти, доки тиск у шлангу не зрівняється з максимальним тиском у циліндрі. Його значення зафіксує манометр, оскільки зворотний клапан не дасть повітря вийти назад.

Простота, дешевизна та доступність цього приладу зробили його практично "універсальним" засобом не тільки для визначення місця несправності двигуна, але й для оцінки його технічного стану загалом. Універсальність методу оцінки, як і універсальність приладу, є дуже поширеною помилкою. При всій простоті методу отримані результати нерідко вимагають певного пояснення, інакше можна зробити неправильні висновки. Більш того, пряме вимірювання компресії нерідко дає зовсім неправильне уявлення про дійсний стан двигуна.

Щоб зрозуміти чому так відбувається, розглянемо вплив різних факторів на компресію [245]. Очевидно, що в циліндрі на такті стиснення стискується певна кількість повітря. Тоді максимально можливе для цієї кількості повітря значення тиску в циліндрі в кінці такту стиснення (у верхній мертвій точці – ВМТ) буде досягнуто при мінімальних його витіканнях з циліндра. Мінімальні витікання відповідають наступному набору умов (рис.А.1):

1) ідеально круглий циліндр,

2) поверхня циліндра ідеально рівна і не має глибоких подряпин, особливо, поздовжніх,

3) поршневі кільця ідеально і по всій довжині прилягають до поверхні циліндра,

4) замок кілець має мінімальний розмір,

5) торцеві поверхні кілець ідеально прилягають до торцевих поверхонь канавок поршня,

6) поршень ходить у циліндрі без перекосу та перекладок у ВМТ,

7) тарілка клапана фаскою ідеально прилягає до сідла по всій окружності,

8) прокладання головки блоку забезпечує ідеальну герметичність циліндра.

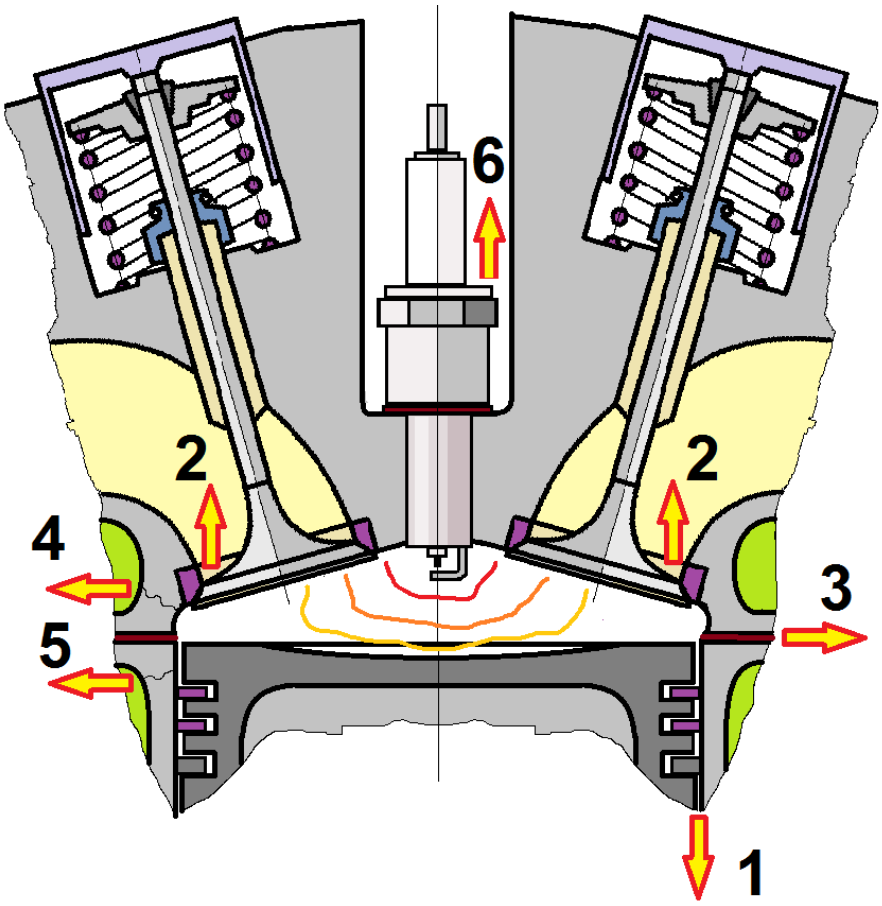


Рисунок А.1 – Основні місця втрат тиску з циліндра при вимірюванні компресії: 1 – з'єднання поршневих кілець з циліндром і канавкою поршня, 2 – з'єднання клапанів і сідел, 3 – з'єднання прокладки з головкою і блоком циліндрів, 4 – через тріщину в сорочці головки, 5 – через тріщину в стінці циліндра, 6 – через ущільнення свічки або штуцера компресометру з головкою

Точно встановити, яка ситуація з цими параметрами у різних двигунів неможливо, як і те, наскільки ці фактори впливають на компресію у кожного з них. З іншого боку, на компресію впливає кількість повітря, яке надійде в циліндр на такті впуску перед стиском. Таких факторів впливу не менше, вони прямо збільшують кількість повітря і, відповідно, компресію:

1) збільшення відкриття дросельної заслінки;

2) встановлення чистого повітряного фільтра;

3) наявність нещільности у системі впуску,

4) встановлення фаз газорозподілу. Тиск збільшується, коли перекриття клапанів, як і витікання з циліндра на випуск на початку фази впуску, зменшується (наприклад, внаслідок помилкової установки фаз при обслуговуванні двигуна зсув випускного розподільного валу на один зуб раніше, тобто на більш раннє відкриття),

5) зменшення тривалості фаз впуску та випуску. Воно залежить від зазорів у механізмі приводу клапанів (збільшення зазорів зменшує перекриття клапанів і усуває "шкідливе" для компресії пізніше закриття впускного клапана в кінці впуску на такті стиснення).

Вплив кількості повітря на компресію може бути ще посилено. Чим більше повітря надходить у циліндр, тим менше впливають витікання на компресію. Особливо сильний вплив на компресію має частота обертання колінвала. Річ у тому, що повітря надходе в циліндр кожні 2 обороти колінвала (у 4-тактних двигунів), але витікання йдуть не за оборотами, а за часом – і вони тим більше ніж повільніше обертання. Теплові втрати з циліндра (охолодження повітря явно зменшує його тиск) також відбуваються за часом. Тоді, за інших рівних умов, збільшення частоти обертання прямо дає підвищення компресії, причому відразу досить помітно. У зв'язку з цим різний стан стартера та АКБ впливає на частоту обертання колінвала і результат вимірювання компресії.

Крім зазначених серйозних факторів (у тому числі та внаслідок них), компресію збільшують і цілий ряд додаткових процесів:

1) підвищення температури двигуна (забезпечує не тільки найкраще з'єднання деталей, раніше вже приоблених один до одного при робочій температурі, але також і, головним чином, перешкоджає охолодженню повітря в процесі стиснення в циліндрі),

2) збільшення кількості оливи в циліндрі при недостатньо хорошій ущільнювальній дії поршневих кілець і маслознімних ковпачків (підвищує компресію, тому що ущільнює зазори в сполучених деталях),

3) збільшення в'язкості оливи (олива з високою в'язкістю має вищі ущільнювальні властивості, це також можливо при зменшенні температури двигуна).

Можна відзначити ще кілька факторів, що серйозно впливають на компресію, але у зворотний бік:

4) збільшення кількості палива, що надходить у циліндр як крапель, сильно знижує компресію, т.к. змиває оливу з ущільнюваних поверхонь деталей (на відміну від оливи, паливо не має ущільнювальних властивостей через малу в'язкість);

5) негерметичність зворотного клапана компресометра або магістралі від клапана до манометра зменшує компресію при її вимірюваннях за допомогою несправного компресометра,

6) велике зусилля пружини зворотного клапана компресометра (зустрічається у дешевих приладів сумнівного походження).

Така велика кількість факторів, що впливають на максимальний тиск в циліндрі шляхом впливу на кількість повітря і на його витікання з циліндра, може непередбачено змінити результати вимірювань і зробити їх просто сумнівними або навіть помилковими. Тоді, при такій величезній кількості взаємозаперечних і чинних у різні сторони факторів, говорити про наочність, застосовність та/або достовірность будь-яких результатів вимірювання компресії щонайменше передчасно.

Для ілюстрації сказаного можна порівняти результати вимірювання компресії у різних двигунів, коли виміряна компресія виявляється занадто

низькою і свідчить про явну несправність справного двигуна і, навпаки, висока компресія показує повну справність несправного двигуна [102, 106].

З цього аналізу випливає, що до результатів вимірювання компресії слід ставитися з великою обережністю – вони можуть ввести в оману, причому подібних прикладів багато. Щоб не помилитися у висновках, фахівцю слід знати, у яких випадках на результати вимірів можна з упевненістю покластися, а коли – лише взяти до уваги. Щоб визначити, яким алгоритмом правильно вимірювати компресію, необхідно розглянути порядок вимірювань докладніше.

Якщо проаналізувати всі наведені вище дані про вплив різних факторів на компресію, можна сформулювати наступні основні вимоги (умови) до операції її вимірювання, що дають хоча б задовільну повторюваність результатів [245]:

1) двигун повинен бути, як мінімум, "теплим",

2) необхідно відключити подачу палива в циліндри, (відключивши бензонасос, форсунки або іншим способом),

3) необхідно вивернути свічки у всіх циліндрах,

4) акумуляторна батарея повинна бути повністю заряджена, а стартер – повністю справнім.

Далі необхідно враховувати, що вимірювання компресії можна виконувати як при повністю відкритій, так і закритій дросельній заслінці. Кожен із цих способів визначає різні види несправностей.

Виходячи з особливостей різних варіантів вимірювання компресії, можна дати деякі рекомендації щодо їх використання, якщо для зручності звести їх до таблиці (табл.А.3). Наведені в таблиці дані отримані у великій кількості досліджень, у тому числі при ремонті великої кількості двигунів і показують досвід, отриманий у цих дослідженнях [102-103, 106].

При вимірюваннях слід враховувати динаміку наростання тиску. Якщо на першому такті величина тиску, що реєструється компресометром, низька (0,3-0,4 МПа), а при наступних тактах зростає, це більше свідчить про знос поршневих кілець та/або інших пошкоджень в ущільнювальному поясі поршня.

Таблиця А.3 – Деякі несправності бензинових двигунів, що виявляються вимірюванням компресії

Несправность	Ознаки несправності	Компресия, МПа	
		повністю відкрита заслінка	закрита заслінка*
Повністю справний двигун	Відсутні	1,1-1,2	0,6-0,8
Тріщина/руйнування перемички поршня	Синій дим вихлопу, великий тиск у картері	0,7-0,9	0,4-0,6
Прогар поршня	Те ж саме, циліндр не працює, іноді тільки на малій частоті обертання	0,3-0,7	0-0,5
Залегание колец в канавках поршня	Те саме	0,2-0,6	0-0,4
Задираки на поршні і циліндрі	Те саме, можлива нестійка робота циліндра на холостому ході	0,6-0,9	0,2-0,6
Деформація клапана та неприлягання клапана до сідла	Циліндр не працює на малій частоті обертання	0,3-0,7	0-0,3
Прогар клапана	Те саме	0,1-0,4	0
Зависання клапана	Те саме	0,4-0,8	0
Зношування профілю кулачка	Те саме	0,7-0,9	0,1-0,5
розподільного валу (для конструкцій з гідроштовхачами)	Підвищена витрата оливи з синім димом вихлопу	1,2-1,5	0,9-1,2
Підвищена кількість нагару в камері згоряння у поєднанні зі зношеними маслознімними ковпачками та кільцями	Те саме	0,6-0,9	0,4-0,6

*– компресія може підвищуватися зі збільшенням частоти обертання коленвала.

Навпаки, якщо на першому такті відразу ж досягається помірний тиск (0,7-0,9 МПа), а при наступних тактах ця величина практично не зростає – це опосередковано свідчить про наявність постійного витікання. Це може бути, наприклад, через клапани, прокладки голівки блоку і т.п.

Тому зазвичай потрібне спільне використання разом із компресометром інших засобів діагностики – наприклад, ендоскопа, тестера витоків (герметичності) тощо.

А.9 Технологія ендоскопічного дослідження порожнини циліндрів

Ендоскопічне дослідження є дуже ефективним методом безрозбірної діагностики технічного стану двигуна та визначення деяких причин несправностей [73, 103]. Прилад для досліджень цього типу – ендоскоп, призначений для прихованих порожнин. Тому основні завдання, які вирішує це дослідження, пов'язані, в першу чергу, з оглядом порожнини циліндрів.

Основними напрямками ендоскопічного дослідження є:

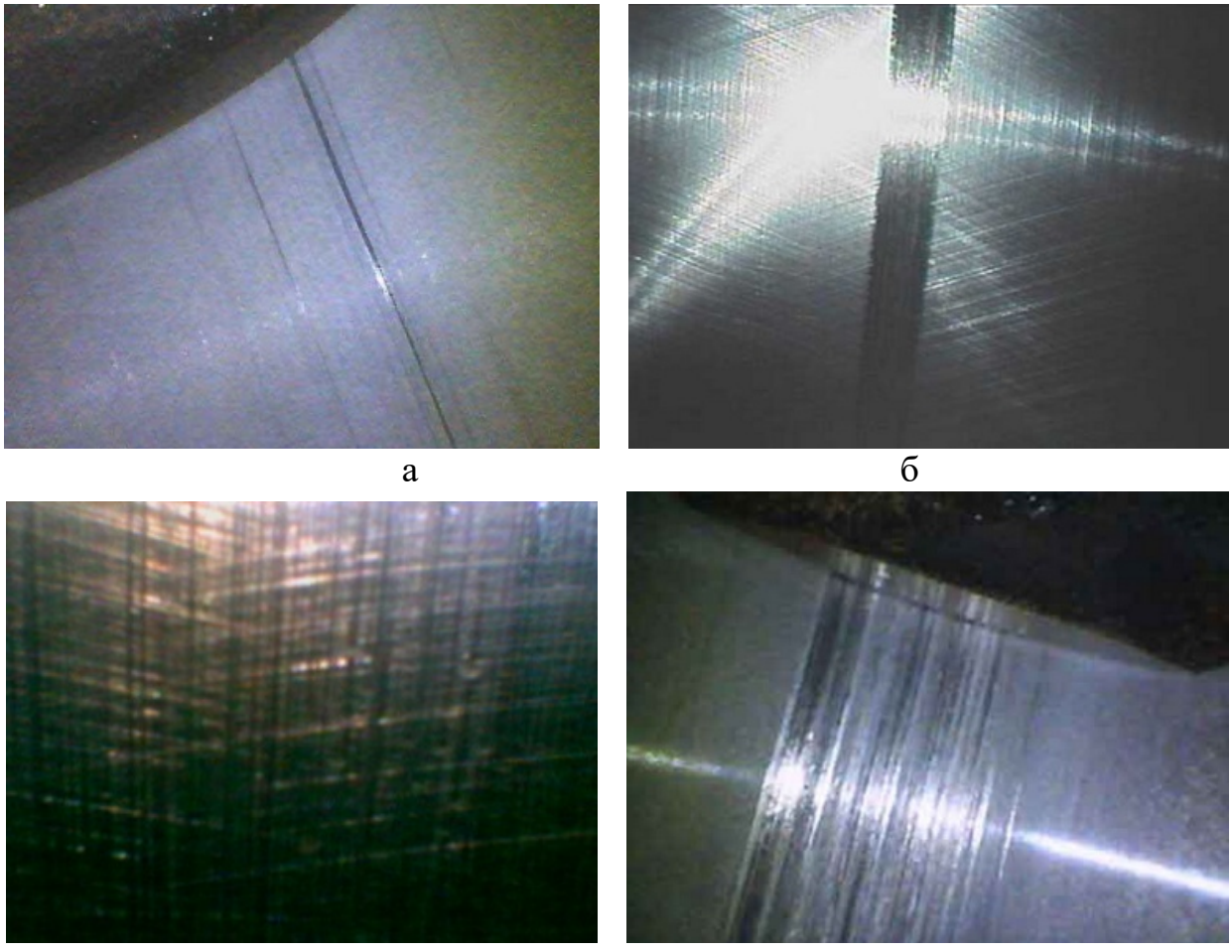
- попередній пошук причини несправності, пов'язаної з пошкодженнями циліндро-поршневої групи та клапанного механізму,

- уточнення стану двигуна на етапі попередніх досліджень, коли дослідник має версію, отриману на основі інших методів дослідження (наприклад, за допомогою вимірювання компресії або витікання), у тому числі перевірку обґрунтованості скарг власника (водія) на витрату оливи.

Огляд циліндрів завжди виконується на двигуні, що остигнув (якщо двигун гарячий, не всі пошкодження можна побачити, і, крім того, зонд ендоскопа може бути пошкоджений високою температурою). При виконанні ендоскопії циліндра важливо мати можливість прямого і кутового огляду. Прямий огляд у напрямку осі отвору для зонда дає тільки вид на днище поршня, тоді як найбільш важливі деталі, наприклад, клапани та їх сідла, вимагають розвороту зонда, як мінімум, на кут до 90 градусів (або застосування відповідної кутової насадки).

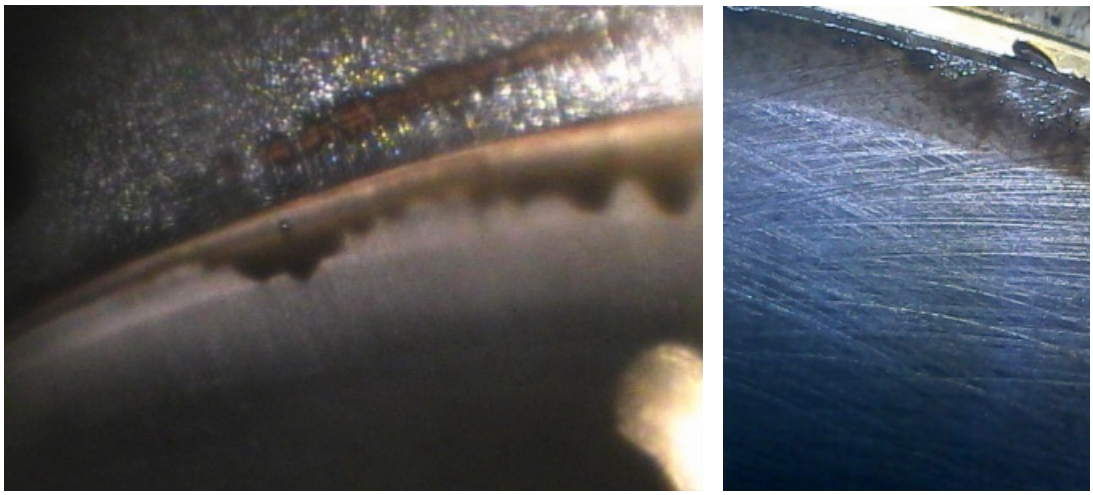
а б

Рисунок А.2 – Прямий огляд днища поршня дозволяє виявити: а – характер нагару, оливу; б – явні механічні пошкодження



а б в г

Рисунок А.3 – Типові види пошкоджень стінки циліндра, добре видимі за допомогою ендоскопа: а – подряпини від абразивних частинок на алюмінієвому циліндрі; б – пошкодження на чавунному циліндрі від попадання сторонніх частинок; в – абразивне зношування; г – задираки



а б

Рисунок А.4 - Ознака зношування та явної негерметичності кілець: а – моторна олива на поверхні циліндра поширюється на зону контакту поршневих кілець; б – оливний слід може мати менш виражений характер

При ендоскопії циліндра контролюються такі поверхні:

1) днище поршня – на наявність механічних пошкоджень, характеру нагару та оливи (рис.А.2),

2) стінка циліндра в середній та верхній частині – на наявність подряпин та задирак (рис.А.3),

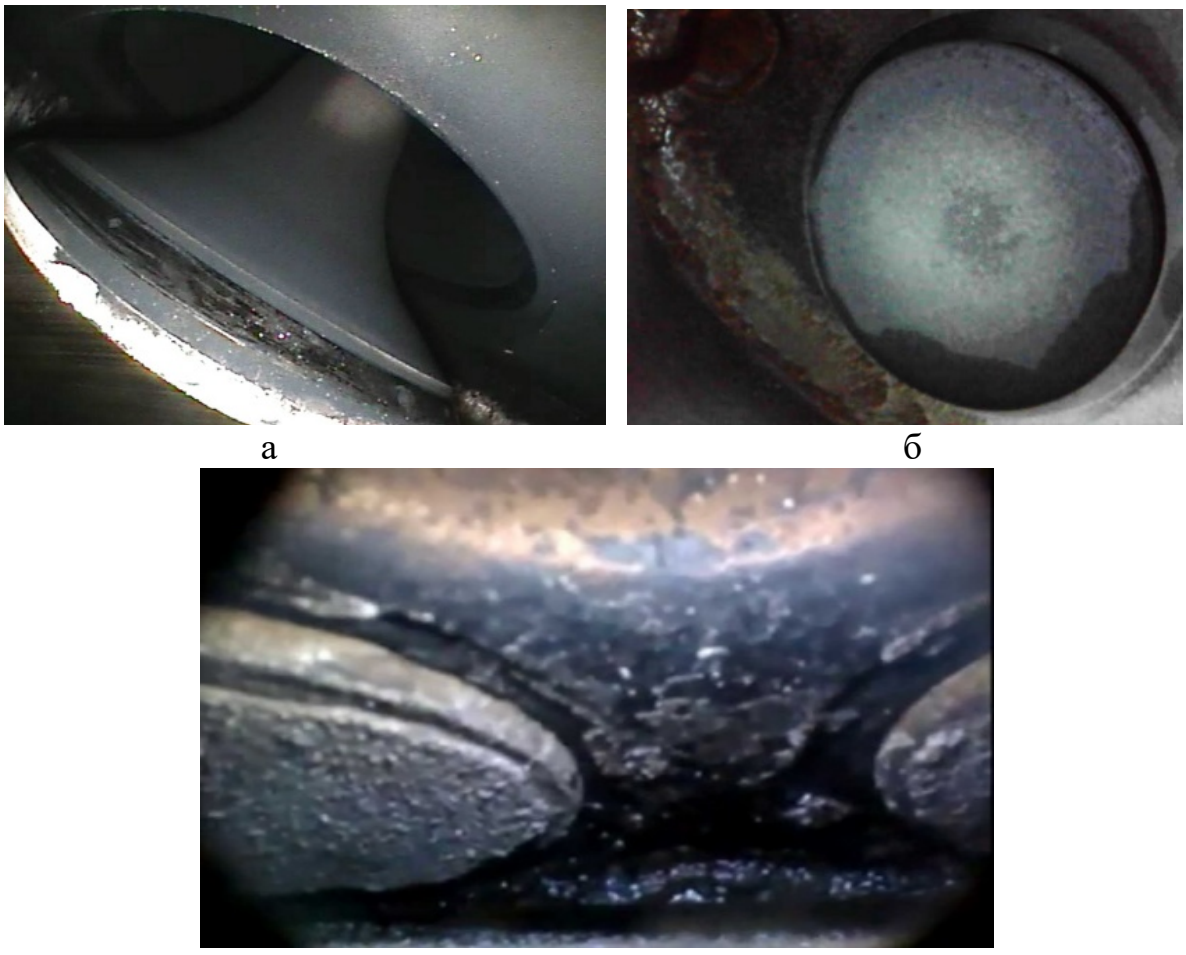
3) стінка циліндра у верхній неробочій зоні – на наявність слідів оливи (рис.А.4),

4) тарілки клапанів – на характер нагару та наявність оливи (рис.А.5).

Отримати дані за станом днища поршня найпростіше – зазвичай всі особливості поверхні та її пошкодження добре видно, за потреби можна наблизити зонд та отримати збільшене зображення. Найбільш важливими деталями на днищі, крім механічних пошкоджень, можуть бути сліди оливи та великий шар нагару, в тому числі оливного (мокрий нагар чорного кольору), що свідчить про надходження в циліндр оливи.

Розворот зонда на 70-90^0 від осі циліндра дозволяє оглянути стінку циліндра на наявність різних пошкоджень, включаючи абразивне зношування, попадання у циліндр різних частинок і предметів, а також задири від порушення змащення.

При огляді циліндра слід мати на увазі, що нерідко ендоскоп дає збільшену або навіть перебільшену картину пошкоджень стінки, у той час, як реальний розмір подряпин і, відповідно, їх вплив на роботу двигуна може виявитися набагато меншим за їх зображення. Тому для отримання найповнішої та достовірної картини, при огляді слід у першу чергу, звертати увагу на наявність оливи на досліджуваних поверхнях. Для чого необхідно мати можливість оглянути верхню частину циліндра і клапани.



а б в

Рисунок А.5 – Явні ознаки негерметичності ущільнення стрижня клапана: а – нормальний клапан; б – замаслювання головки клапана особливо помітно на нижній її кромці; в – оливний нагар нижче за клапан на стінці камери

У верхній частині циліндра можна побачити пояс нагару вище зони роботи поршневих кілець (рис.А.4). При нормальному стані деталей ЦПГ та клапанів зона нагару суха, коричневого (у бензинових двигунів) або чорного (у дизелів)

кольору. Як тільки на ній з'являються сліди оливи, це вже говорить про порушення ущільнення порожнини циліндра, проте слід розрізняти характерні особливості замаслювання. Якщо олива помічено безпосередньо в зоні роботи поршневих кілець у вигляді потік, це досить точна ознака порушення ущільнювальних властивостей поршневих кілець. Якщо олива в цій зоні відсутнє, необхідно дивитися вище на головки клапанів і ділянки камери згоряння, що примикають до них (рис.А.5).

Нормальним станом клапана слід вважати таке, коли на поверхні головки клапана лежить сухий нагар, що має приблизно однаковий світлий колір та рівний шар. Фактично, будь-які відхилення від зазначеної норми означають наявність тих чи інших несправностей (рис.А.6).

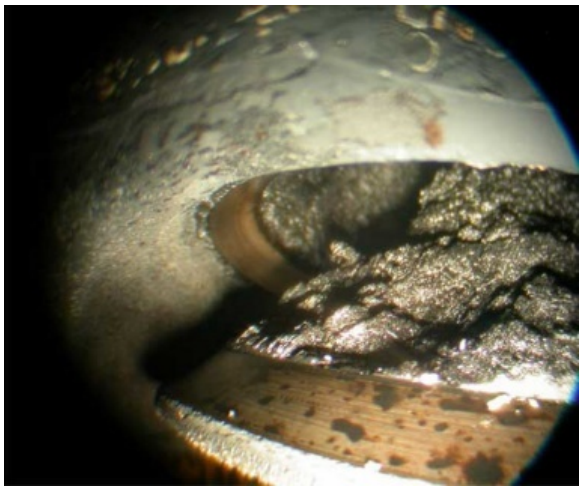
Великий шар нагару коричневого кольору з рваними краями може свідчити про експлуатацію двигуна на паливі з підвищеним вмістом смол. Такий самий шар чорного кольору говорить про надходження в циліндр великої кількості оливи. У цьому випадку огляд відкритого клапана швидше за все вкаже і на значні відкладення на верхній частині головки клапана, що підтвердить негерметичність ущільнення стрижня.

Таким чином, характер нагару і замаслювання поверхонь дозволяє ще на стадії попереднього дослідження виявити імовірно проблемні вузли, які при необхідності можуть бути більш детальними дослідженнями, в тому числі з розбиранням. Це особливо важливо при дослідженні причин несправностей двигуна, коли вони супроводжуються великою витратою оливи.

Однак слід зазначити, що ознаки негерметичності ущільнення циліндрів у вигляді потік оливи та замаслювання поверхонь можна побачити виключно до розбирання двигуна. Як тільки буде виконано розбирання двигуна, ці сліди будуть природним чином знищені, і про витрату оливи говоритиме лише нагар. У багатьох випадках встановити тільки по нагару навіть про місце негерметичності – це кільця або маслознімні ковпачки на стрижнях клапанів, практично неможливо. Тому етап ендоскопії у деяких складних випадках має

винятково важливе і вирішальне значення для правильного визначення причини несправності.

а



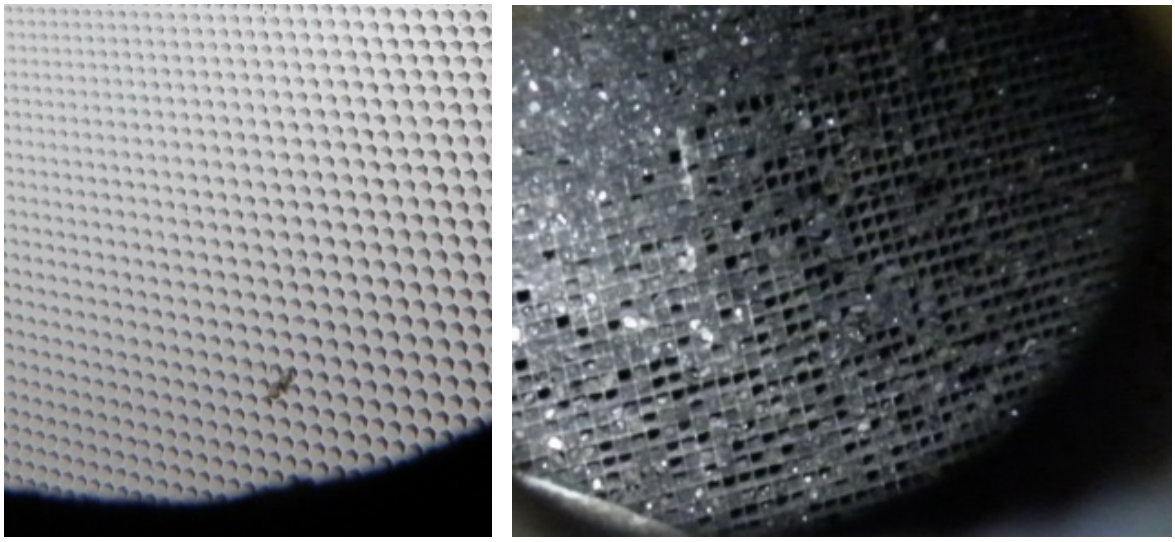
б

в

Рисунок А.6 – Результати дослідження за допомогою ендоскопа: а – адмірні відкладення нагару на нижній поверхні головки клапана і в камері згоряння пов'язані з надходженням олії через кільця або з неякісним паливом (залежно від кольору нагару), б – відкладення на верхній частині головки клапана зазвичай говорять про негерметичність маслознімного ковпачка; в – огляд клапанів з боку колектора дозволяє виявити й цілу низку інших несправностей клапанів, включаючи сколи та прогари

Застосування ендоскопа можливе не лише для дослідження циліндра. Іноді може бути доцільним огляд головок клапанів з боку впускного або випускного колекторів, що може бути важливо при утрудненому доступі до циліндра (наприклад, при використанні бороскопа для дослідження V-подібного двигуна).

Але найбільш ефективним слід визнати застосування ендоскопу для огляду та контролю стану каталітичних нейтралізаторів (рис.А.7).



а б

в

Рисунок А.7 – Огляд ендоскопом дозволяє легко визначити стан нейтралізатора: а – справний каталізатор; б – пошкоджений каталізатор; в – зруйнований каталізатор (на екрані відеоендоскопа)

Відомо, що багато двигунів сучасних автомобілів мають каталізатори, встановлені безпосередньо у випускному колекторі. Ця вимога екології пов'язана з необхідністю прискореного розігріву та виходу каталізатора на робочий режим. Однак воно може ускладнити прямий доступ до його вхідної та вихідної поверхонь навіть після демонтажу колектора (за умови збереження цілісності вузла). За такої конструкції оглянути стільники каталізатора неозброєним оком неможливо – вони закриті внаслідок кутового повороту каналів колектора. У такому випадку використання ендоскопа може виявитися єдиним методом контролю стану нейтралізатора без його руйнування.

Таким чином, застосування ендоскопа дає для дослідження двигунів досить великі можливості, які роблять цей метод у деяких ситуаціях найбільш ефективним. Внаслідок цього наявність у спеціаліста ендоскопа та вміння правильно ним користуватися свідчить про професіоналізм у дослідженні несправностей двигунів.

А.10 Методи дослідження палива під час проведення досліджень причин несправностей двигунів автомобілів

Практика показує, що невідповідність палива до встановлених вимог є досить поширеною причиною несправності двигунів [211, 254, 256, 396]. Тому при дослідженнях несправностей двигуна до палива слід ставитись дуже уважно. Незважаючи на те, що по паливах існує багато джерел інформації, практика показує, що дані про властивості палива та їх можливі зміни, здатні викликати пошкодження у двигуні, повинні бути правильно застосовані під час проведення конкретних досліджень.

Справді, щодо несправностей двигунів питання про дослідження палива виникає досить часто. Аналіз властивостей палива виконується у спеціальних лабораторіях, які мають відповідне обладнання і фахівців. Але важливість таких досліджень вимагає розуміння не так того, як і на чому досліджувати паливо,

скільки того, як і для чого це потрібно робити, а також куди застосувати отримані дані.

У цьому питанні досі немає повної ясності, хоча вплив палива попри всі основні процеси ДВЗ загалом зрозуміло [103]. Це нерідко є причиною того, чому дослідження властивостей палива заведено проводити незалежно від ознак конкретної несправності – ймовірно, таким чином сподіваються виявити будь-яке відхилення від нормативів та регламентів. Тим самим нерідко намагаються закінчити дослідження просто на підставі якогось порушення експлуатантом правил та інструкцій з експлуатації автомобіля.

Однак та сама практика показує інше – не менш часто навіть знайдені відхилення в параметрах палива не мають жодного причинно-наслідкового зв'язку з несправностями двигуна. Ціла низка серйозних пошкоджень, наприклад, в результаті гідроудару, масляного голодування від несвоєчасного контролю рівня оливи та інших, відбуваються незалежно від того, який склад або параметри мало паливо на момент пошкодження і/або виходу двигуна з ладу. Так само несправності внаслідок виробничих дефектів проявляються і нерідко призводять до виходу двигуна з ладу без будь-якого зв'язку з властивостями палива в той чи інший період експлуатації.

Всі подібні приклади говорять про те, що в загальному випадку лише наявності відхилень у паливі, як правило, зовсім недостатньо для того, щоб викликати несправності у двигуні. З іншого боку, несправності, спричинені саме невідповідним паливом, мають характерні ознаки. За ними можна з упевненістю стверджувати, що саме паливо і стало причиною несправності. І, нарешті, з 3-го боку, навіть повністю підтверджена якість палива на момент виявлення несправності зовсім не означає, що відхилення у складі та параметрах палива не були в минулі періоди експлуатації причиною якогось початкового ушкодження, що спричинило зрештою наявну несправність.

З сукупності особливостей впливу відхилень у властивостях палива на двигун прямо слід, що у переважній більшості практичних випадків виявити причину несправності з допомогою лише результатів дослідження палива у

принципі неможливо. Однак за допомогою досліджень палива можна вирішити зворотне завдання – підтвердити виявлену за характерними ознаками причину несправності, пов'язану з впливом невідповідного палива, якщо в паливному баку на момент дослідження дійсно знаходиться те саме паливо, яке викликало пошкодження [94, 103].

Бензин при відхиленні параметрів впливає на значну кількість різних процесів бензинового ДВЗ, від пускових властивостей до нагароутворення. Серед параметрів бензину, які контролюються при стандартних перевірках якості, найбільш важливими є [39, 40]:

1) октанове число (за моторним та/або дослідним методом),

2) випаровування (фракційний склад),

3) зміст (концентрація) фактичних смол,

4) вміст інших речовин (спирти, ненасичені вуглеводні тощо).

Інші параметри менш важливі, оскільки рідко викликають будь-які відхилення у роботі бензинового ДВЗ.

Основний вплив відхилення параметрів бензину мають такі процеси ДВЗ (рис.А.8):

1) детонація (виникає при низькому октановому числі та призводить, головним чином, до руйнування перемичок між канавками кілець на поршнях [103]),

2) пошкодження та/або руйнування каталізатора в системі вихлопу (виникає з багатьох причин, але, головним чином, за наявності в бензині великої кількості важких фракцій та смол, які викликають порушення згоряння в циліндрі та догоряння палива в каталізаторі),

3) значні мазеподібні відкладення на внутрішніх поверхнях [243, 254], аж до загусання оливи та перетворення її на каучукоподібну субстанцію (виникають при порушенні хімічного складу, наприклад, за наявності великої кількості ненасичених вуглеводнів або спиртів)

4) відкладення нагару на поршнях та стінках камер згоряння (великий вміст важких вуглеводнів та смол),

а

б

в

г

5

6

Рисунок А.8 - Основні наслідки (ознаки) застосування неякісного палива в бензинових ДВЗ: 1 – руйнування перемичок між кільцями на поршні, 2 – руйнування каталізатора, 3 – деградація моторної оливи, 4 – відкладення нагару на поршні, 5 – те саме у камері згоряння та впускних клапанах, 6 – відкладення на випускних клапанах

5) відкладення нагару на клапанах [396], у тому числі заклинювання впускних клапанів (високий вміст смол).

Деякі порушення процесів можуть виникати як наслідок зазначених вище. Наприклад, при значному нагароутворенні (займання суміші від розжарених частинок нагару) можливе жарове запалювання. У той самий час, інші ознаки відхилень параметрів бензину, крім зазначених, спостерігаються рідко чи майже зустрічаються.

При розгляді зазначених ознак застосування бензину з різними відхиленнями [121, 367, 396] необхідно відзначити нерозривний зв'язок пошкоджень конкретних деталей та вузлів двигуна з конкретними відхиленнями. Цей факт має ключове значення для практики досліджень з метою точного визначення причин несправності. Фактично алгоритм використання даних аналізу палива в дослідженнях причин несправності передбачає первинне вивчення ознак пошкодження на деталях. І тільки потім, при знаходженні тих, які можуть вказувати на позаштатні властивості палива, необхідно дослідити паливо.

Навпаки, наявність конкретних відхилень у бензині за відсутності суворо відповідних їм ознак пошкоджень на деталях двигуна взагалі ні про що не говорить. Тому будь-які теорії про причини несправності, якщо вони побудовані тільки на основі наявності відхилень палива, зазвичай виявляються недостовірними та помилковими [254].

Практично більшість особливостей дослідження палива для бензинових ДВЗ можна віднести й до дизельного палива. Однак дизельне паливо має цілу низку особливостей щодо свого впливу на процеси. При проведенні аналізу параметрів дизельного палива контролюється їх велика кількість. Але на відміну від бензину, найбільший вплив на процеси в дизельному двигуні надає фракційний склад, що головним чином не відповідають даному виду палива важкі або, навпаки, легкі фракції [71, 112, 195].

Наприклад, велика кількість важких фракцій при низькій температурі призводить до випадання парафінів та забиття фільтрів. Навпаки, додавання в

дизельне паливо легких вуглеводнів, у тому числі бензину, для поліпшення зимових властивостей дизельного палива, призводить до перегріву і прогару поршнів, стінок камер згоряння (головки циліндрів) та інших серйозних пошкоджень (рис.А.9).

Інші параметри дизельного палива або мало впливають на сам двигун і його механічну частину, або взагалі практично не дають ніяких пошкоджень навіть при помітних відхиленнях. До таких параметрів палива відносяться цетанове число, вода та механічні домішки.

а б

Рисунок А.9 – Деякі ознаки застосування неякісного дизельного палива: а – використання брудного палива призвело до забруднення паливного фільтра та виходу з ладу паливної апаратури; б – значні домішки легких фракцій викликали надмірно жорстке згоряння та руйнування перемичок на поршні між кільцями.

Наприклад, незважаючи на те, що цетанове число є досить важливим параметром дизельного палива, різні пошкодження дизельних двигунів в експлуатації прямо пов'язати з відхиленням цього параметра не так просто. Це пов'язано з тим, що вплив цетанового числа не обов'язково має миттєво ушкодливий характер, а вимагає достатньої тривалої експлуатації двигуна на паливі з відхиленням за цим параметром, щоб якийсь негативний вплив міг проявитися.

При малому цетановому числі коштом збільшення затримки займання палива збільшується жорсткість роботи двигуна [175, 229, 232]. При великих пробігах автомобіля це може призвести до зниження ресурсу внаслідок інтенсивнішого зносу (при надто високому цетановому числі, навпаки, практично немає ніякого впливу палива на ресурс двигуна). Однак точно сказати, а тим більше довести, що саме тривала експлуатація двигуна на тому самому паливі з надмірним відхиленням саме за цетановим числом призвела до якогось зносу, практично неможливо.

Аналогічно за наявності води у паливному баку явного порушення роботи дизеля може не статися. Крім того, навіть помітне неозброєним оком вміст механічних домішок теж може ні на що не вплинути, оскільки затримується паливним фільтром тонкого очищення. Принаймні однієї заправки паливного бака, швидше за все, буде недостатньо, щоб у двигуні відбулися якісь незворотні зміни.

Дійсно, майже будь-які відхилення цих параметрів палива ефективно усуваються застосовуваними повсюдно сучасними паливними фільтрами [183, 297, 309]. В результаті ні до паливної апаратури, ні тим більше в циліндри ДВЗ жодних домішок і жодної води не надходить, що однозначно може доводити відсутність будь-яких пошкоджень від таких відхилень палива на практиці.

З іншого боку, при порушенні умов експлуатації, у тривалій експлуатації без заміни паливного фільтра, коли паливо дійсно містить велику кількість забруднень, а паливний фільтр не змінюється протягом значного часу, паливна апаратура може бути пошкоджена внаслідок втрати фільтром необхідних робочих властивостей. В результаті процес подачі палива може виявитися порушений настільки сильно, що викличе пошкодження і в механічній частині двигуна і/або його систем. Тоді необхідно дослідити всі причинно-наслідкові зв'язки в такому ланцюжку явищ та подій, щоб однозначно виявити реальну причину пошкодження двигуна.

Однак практика показує, що нерідко використовується спрощений підхід, коли можна списати несправність двигуна на будь-які відхилення в параметрах

палива – цетанове число, вода або механічні домішки [40]. У цьому вся ситуація з дослідженням дизельного палива аналогічна дослідженню бензину. Тобто дослідження дизельного палива частіше проводиться не з метою підтвердження попередньо прийнятої версії причини несправності, виходячи з наявних ознак, а безпосередньо як виявлення та призначення відхилень у паливі головною причиною несправності. Після цього зазвичай прийнято "підганяти" якусь "теорію" пошкодження, практично завжди вигадану, під виявлені відхилення.

Ще одна складність при дослідженні палива пов'язана з часом. Нерідко відбір проб та дослідження палива проводяться через багато місяців після припинення експлуатації автомобіля, в умовах його довільного зберігання, з розібраною та розгерметизованою паливною системою після розбирання двигуна. У таких умовах не тільки неможливо передбачити, як змінилися за цей час властивості палива, але й не можна зрозуміти, чи якому автомобілю належить це паливо, що досліджується.

У деяких випадках явних прямих ознак впливу відхилення властивостей палива на двигун немає, але вдається виявити ознаки аномальної зміни властивостей моторної оливи – у вигляді значного шару нагару, осаду або навіть загусання до гумоподібної маси. Тоді не виключено, що саме паливо могло викликати таку деградацію оливи, що потребує проведення досліджень не лише палива, а й оливи.

А.11 Методи дослідження властивостей моторної оливи під час пошуку причин несправностей

Як відомо, моторна олива в ДВЗ виконує надзвичайно важливі функції та тим самим забезпечує і працездатність, і ресурс двигуна – це охолодження деталей та їх змащення. Охолодження забезпечується перенесенням теплоти від пар деталей, що підігріваються від тертя (підшипники) або гарячих газів (поршень) до піддона картера та/або до спеціального вузла для охолодження

масла (маслорадіатор). У цьому випадку олива використовується як теплоносій. Мастильні властивості оливи пов'язані з його здатністю розділяти тертьові поверхні плівкою (або оливним клином), щоб виключити їхні зіткнення, за яким слідує зношування, перегрів, плавлення, задираки та вихід з ладу [26, 47, 211].

Усі зазначені властивості мають бути реалізовані у всьому діапазоні робочих режимів двигуна. Зрозуміло, що для задоволення таких вимог моторна олива повинна мати певні властивості або якість. Однак у деяких випадках, пов'язаних як з невідповідною якістю оливи, позаштатними режимами експлуатації, так і з надходженням в оливі різних речовин, у тому числі з паливом, охолоджувальні та змащувальні функції оливи можуть порушуватися (рис.А.10).

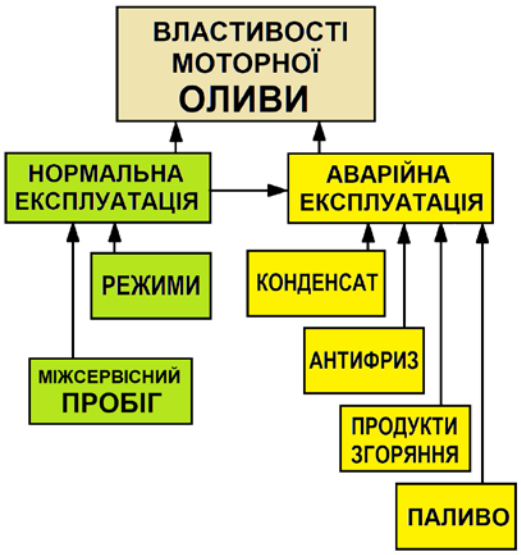


Рисунок А.10 – Властивості моторної оливи надають вирішальний вплив на працездатність та ресурс ДВЗ: при впливі на оливу різних факторів її властивості можуть змінитися, і експлуатація з нормальної перетвориться на аварійну

Основна проблема, яку могло б викликати олива невідповідної якості або втрата якості оливою в експлуатації, нерідко пов'язана з невідповідними двигуном присадками або їх спрацьовуванням [94, 288, 392]. Наприклад, в оливі в результаті старіння в експлуатації можуть бути відсутніми в необхідній кількості деякі присадки, необхідні для надійної роботи двигуна – протизадирні, протиокислювальні, мийні, антикорозійні та інші [81, 185].

Очевидно, на попередній стадії дослідження несправного двигуна ознаки того, що олива могла якось вплинути на несправність, встановити не завжди можливо. У цьому випадку доцільно взяти проби оливи разом із пробами палива, зберегти їх на той випадок, якщо в процесі наступного розбирання підозра про зв'язок властивостей оливи з несправністю підтвердяться, а тоді і провести її дослідження.

З іншого боку, слід розділяти причину несправності та її наслідки. У багатьох випадках зміна властивостей оливи викликається деградацією присадок, що входять до неї. Наприклад, деградація присадок, що загущують, зазвичай призводить до утворення осаду [243]. Водночас, сильне нагароутворення може бути пов'язане і з втратою властивостей інших присадок, наприклад, мийних та протиокислювальних.

Для бензинових двигунів одним з головних "деградаційних" факторів слід визнати паливо, що застосовується [356, 373, 396], в якому можуть міститися найсильніші хімічні речовини. Це ненасичені вуглеводні та спирти, які при попаданні через поршневі кільця в картер у найменших кількостях здатні викликати швидкі зміни в оливі.

При дослідженні моторної оливи в лабораторіях перевіряють властивості оливи на відповідність нормативним документам за вказаними вище параметрами. Серед них основними є в'язкість при 40^0C та 100^0C, індекс в'язкості, температура спалаху, лужне та кислотне число, вміст різних елементів, що характеризують присадки, а також продукти зношування деталей, забруднення та інші параметри.

У деяких найскладніших випадках може виникнути потреба не тільки визначити властивості палива та оливи на відповідність нормативним документам за основними фізико-хімічними параметрами, а й провести дослідження хімічного складу методами спектрального аналізу. Це може знадобитися для точного визначення основних присадок, що входять до складу оливи, а також сторонніх речовин та забруднень [142, 223, 408]. Всі ці дані

використовуються далі для дослідження причин зміни властивостей (якщо воно виявлене) та його впливу на роботу вузлів та деталей двигуна.

Нерідко шуканий вид хімічних досліджень, коли потрібно встановити причину, через яку олива втратила свої основні властивості, а тим більше перетворилася на гумоподібну масу [254], представляє найбільш серйозну складність для спеціалізованих лабораторій. Основна причина труднощів полягає в тому, що дослідження, які зазвичай проводяться за стандартними методиками контролю якості палива та оливи, мають обмежену застосовність. Особливо, для відповіді на питання, чи є причинно-наслідковий зв'язок між властивостями палива, що застосовується, і зміною властивостей оливи. Крім того, у багатьох випадках таке дослідження нічого не може дати – внаслідок того, що паливо, що викликало таку зміну властивостей оливи, було надто давно заправлене і так само давно витрачено, в результаті чого в пробі палива не залишилося слідів сторонніх речовин.

Основна проблема, пов'язана з моторною оливою і нерідко виникає при дослідженні причин несправностей ДВЗ, полягає в тому, як правильно знайти ознаки порушення робочих властивостей оливи і як потім підтвердити, що сама олива стала причиною несправності.

Відомо, що в процесі старіння оливи спостерігається зміна концентрації, будови та ефективності присадок в результаті розкладання, взаємодії з продуктами згоряння палива та окислення оливи, фільтрувальними елементами та деталями [121, 185, 254]. Наприклад, зменшення лужного числа (концентрації мийних присадок) в експлуатації супроводжується накопиченням в оливі кислих продуктів, що може спричинити корозійне зношування деталей.

Особливо небезпечне потрапляння в оливу легких фракцій палива, які мають низьку стабільність до окислення. Моторні оливі, забруднені паливом, окислюються значно швидше з утворенням органічних кислот та відкладень, які погіршують їхню якість [373, 396]. В результаті можливе як зниження в'язкості оливи та пошкодження підшипників, так і інтенсифікація процесів нагаро- та шлакоутворення у двигуні аж до сильного загущення оливи (рис.А.11).

Саме по собі відхилення у властивостях оливи зовсім не обов'язково є причиною несправності – не менш важливо знайти відповідність між пошкодженнями на деталях і відхиленнями, що викликали їх, у властивостях оливи. Тому за наявності відповідних ознак зміни властивостей оливи слід розділити їх за впливом на двигун на загальні та локальні. Загальними ознаками зміни властивостей оливи можна позначити об'ємні зміни, наприклад, поява в обсязі оливи осаду, значне збільшення в'язкості – аж до втрати плинності, а також сильне нагароутворення та відкладення на стінках [254].

Зазвичай подібна зміна властивостей призводить до зменшення подачі оливи до окремих або навіть всіх пар, що труться, на деяких або на всіх режимах роботи двигуна – в залежності від ступеня зміни властивостей і швидкості такої зміни. Збільшення в'язкості (загущення) оливи, що виникає при цьому, перешкоджає нормальному змащенню та охолодженню підшипників. Водночас, утворення осаду в об'ємі оливи може частково або повністю закрити сітку маслоприймача і викликати порушення мащення всіх підшипників незалежно від режимів роботи двигуна, температури та інших параметрів.

Крім загальної зміни властивостей, можливі також локальні проблеми. До них умовно можна віднести погіршення окремих властивостей оливи, наприклад мийних, коли утворюються локальні відкладення на певних поверхнях. Як приклад можна навести утворення значних відкладень на ущільнювальному поясі поршня. Воно супроводжується блокуванням пазів у маслознімних кільцях, а у важких випадках – усіх поршневих кілець у канавках поршнів (рис.А.12).

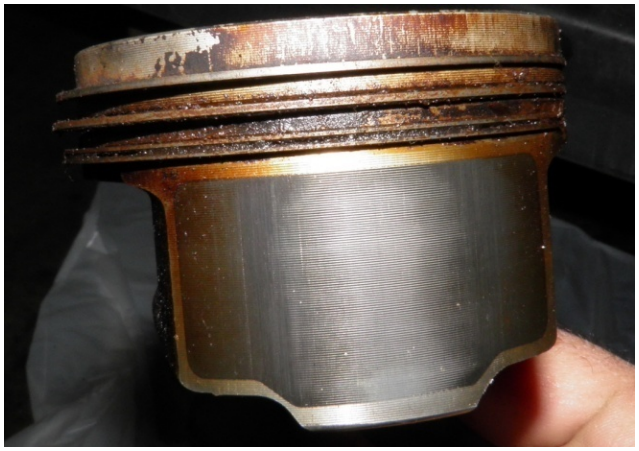
Така картина частіше спостерігається при використанні оливи, не призначеної для умов експлуатації даного двигуна і не розрахованої на високі навантаження та температури [254].

а

б

в

Рисунок А.11 - Типові ознаки зміни властивостей моторної оливи: а – утворення твердого нагару; б – мазеподібні відкладення; в – повне блокування сітки маслоприймача та заклинюванням підшипників



а

б

Рисунок А.12 – Ознаки зміни властивостей оливи: а – блокування пазів в маслознімних кільцях; б – блокування всього ущільнювального поясу поршня внаслідок застосування невідповідної двигуну оливи

Існує ряд методик, що дозволяють діагностувати зміну властивостей оливи у процесі експлуатації [121]. Однак їх використання для автомобілів масового сектора, тим більше для оперативного виявлення відхилень, фактично неможливо як внаслідок дорожнечі обладнання, так і через його відсутність у системах бортової діагностики серійних автомобілів.

В результаті при проведенні досліджень причин несправності зміна властивостей моторної оливи фіксується фактично тільки на завершальному етапі експлуатації, головним чином після виходу двигуна з ладу. Тоді не вдається однозначно і відразу встановити причинно-наслідкові зв'язки між несправністю та властивостями оливи, а також відповісти на запитання, чи могла це зміна стати причиною несправності. У таких випадках, крім хімічного аналізу, доцільно застосовувати інші методи досліджень, наприклад, логічні [254], а також робити аналіз історії експлуатації автомобіля [90].

А.12 Допоміжні перевірки та їх особливості під час проведення досліджень причин несправності

До таких перевірок можна віднести, крім зазначених вище, різні операції, які можуть бути виконані на зібраному двигуні з метою отримання додаткових даних про його технічний стан. Як правило, такі дані виходять візуально зовнішнім оглядом певних деталей та вузлів, які легко демонтуються з двигуна. До таких деталей відносяться, головним чином, свічки запалювання (розжарення у дизелів), форсунки та фільтри.

Свічки запалювання є в деяких випадках важливим елементом для перевірки, оскільки зазвичай дають досить наочну картину процесів, що відбуваються в циліндрі двигуна. Так, виходячи з відомих даних про види пошкодження свічок запалювання та їх ознаки [151-152], у багатьох практичних випадках за станом свічок запалювання можна зробити попередній висновок про причини пошкоджень не тільки самих свічок, але й інших деталей двигуна.

Насамперед це деталі циліндро-поршневої групи та клапанного механізму. Саме з цієї причини перевірка стану свічок може бути включена до переліку перевірок, який найбільше доцільно виконувати на етапі попереднього дослідження несправного двигуна, до його розбирання.

У дизелів робота свічок розжарення здійснюється за заданим виробником алгоритмом, відхилення від якого саме собою зазвичай призводить до пошкоджень і несправностей свічок розжарення. Проте, причина пошкодження свічки розжарення абсолютно необов'язково пов'язана з самою свічкою – нерідко порушення роботи свічки розжарення спричиняють несправності систем двигуна або навіть його механічної частини. Саме цей факт і робить у деяких випадках діагностику стану дизельного двигуна на вигляд свічок розжарення дуже ефективною.

Несправності свічок запалювання та розжарення досить докладно розглядаються багатьма виробниками [125, 151]. У деяких випадках описані закономірності дозволяють ще на попередньому етапі дослідження виявити деякі особливості технічного стану двигуна та намітити шляхи подальших досліджень без серйозних, довгих і дорогих перевірок паливної апаратури, розбирання двигуна та інших вузлів та систем. Щобільше, використання методів діагностики двигуна за станом свічок запалювання може виключити необґрунтоване розбирання або, навпаки, зменшити витрати часу на пошуки у разі серйозного пошкодження та відмови. Ці особливості роблять цей вид діагностики досить ефективним інструментом, у тому числі в дослідженнях технічного стану двигуна для попередньої оцінки ступеня його пошкодження.

А.13 Визначення причин несправностей шляхом розбирання двигуна як заключна стадія пошуку

Пошук несправностей та його причин часто і неминуче призводить до необхідності вивчення стану деталей механічної частини. Дійсно, на деталях можуть бути сліди зношування та пошкоджень, які можуть вказувати на причину

несправності. У такому разі без розбирання виявити причину несправності неможливо.

Цілком очевидно, що розбирання є одним із завершальних етапів дослідження двигуна і має проводитися тоді, коли інші етапи вже виконані. Однак на практиці нерідко роблять стандартну помилку – проводять розбирання двигуна без проведення тих робіт, які мають передувати розбиранню. У першу чергу йдеться про докладно описану вище безрозбірну діагностику, коли багато ознак пошкоджень можна виявити простими діагностичними методами.

Зрозуміло, що при виконанні необґрунтованої та/або поспішного розбирання двигуна деякі важливі ознаки втрачаються, причому втрачаються безповоротно. Приклади подібної втрати даних дуже численні. Наприклад, під час огляду циліндрів з допомогою ендоскопа можна виявити характерне замаслювання різних зон камер згоряння. Якщо замаслені головки клапанів, іноді навіть зі слідами стікання оливи з нижнього краю по стінці камери, – це типова ознака негерметичності ущільнень стрижнів клапанів (маслознімних ковпачків) та/або зносу напрямних втулок. Якщо ж головки клапанів порівняно сухі, а у верхній частині циліндра кругова зона замаслювання – це типова ознака зносу або пошкодження поршневих кілець. Однак варто лише розібрати двигун, як усі ці ознаки виявляться неочевидними та фактично втраченими.

Можна навести й простіші приклади втрат даних від необґрунтованого та/або поспішного розбирання двигуна:

1) моторна олива та охолоджувальна рідина – після розбирання визначити, який був їхній рівень у двигуні, неможливо,

2) дані системи керування (діагностика) – включення запалювання після роз'єднання проводки при розбиранні двигуна дасть величезну кількість помилок, що ускладнить виявлення тих, які могли бути перед розбиранням. А в деяких автомобілях після відключення АКБ при знятті двигуна дані в пам'яті блоку керування через невеликий час взагалі безповоротно стираються,

3) витік оливи та охолоджувальної рідини – визначити місце течі після розбирання двигуна важко, а в деяких випадках практично вже неможливо.

Всі ці приклади свідчать, що розбирання двигуна не може бути та не є самоціллю при дослідженні несправного двигуна. Навпаки, це лише черговий етап дослідження, який має йти за іншими, не менш важливими етапами. Цілком очевидно, що пропуск тих чи інших етапів призведе до непоправних втрат ознак несправності. Тому дотримання правильного алгоритму виконання досліджень має ключове значення для правильного визначення причини несправності.

Виходячи з цього, розбирання двигуна може проводитися тільки на завершальній стадії робіт, коли всі можливі операції, які повинні були проводитися на зібраному та встановленому в автомобілі двигуні, вже проведено. Фактично це означає, що розбирання двигуна є завершальним (або одним із завершальних) етапів роботи щодо несправності двигуна.

З іншого боку, крім порядку виконання робіт, необхідно враховувати обґрунтованість їх виконання в рамках досліджень несправності. Розбирання двигуна ставитися до робіт, які істотно змінюють властивості не тільки двигуна, а й автомобіля в цілому, фактично переводячи й той, і інший у непрацездатний стан. Таке перетворення, якщо вона робиться з метою визначення причини несправності, відноситься до так званих методів руйнівного контролю. Це означає, що потрібне спеціальне обґрунтування – тобто, необхідно відповісти на запитання, наскільки серйозні були ознаки, і наскільки серйозна передбачалася несправність у двигуні, що обов'язково потрібно розбирати шляхом руйнування цілісності.

Справді, коли двигун працездатний, але його, проте, розбирають, саме в таких випадках розбирання і може виявитися необґрунтованим. Іншими словами, є ризик не знайти причин тих ознак несправності, які імовірно двигун мав перед розбиранням. Саме тут слід дотримуватись найбільшої акуратності та виключати квапливість, оскільки властивості об'єкта дослідження після розбирання виявляться серйозно змінені, і в результаті дослідження стан об'єкта перейде з робочого в неробочий. Якщо ж йдеться саме про автотехнічні дослідження, то обов'язково слід запитати замовника (власника автомобіля)

дозволу провести такі дослідження з обґрунтуванням їхньої необхідності. В іншому випадку є ризик завдати шкоди майну власника автомобіля.

Найскладніші для практики випадки – це коли ознаки несправності двигуна є, але мають неявний чи прихований характер. До таких несправностей відносяться, в першу чергу, різні шуми [239] та стукіт. Якщо сторонній шум прослуховується у двигуні, не можна відразу приступати до розбирання двигуна – навпаки, необхідно передусім проводити безрозбірні види досліджень, включаючи діагностичні. Або взагалі відкласти дослідження з метою виявлення чіткіших ознак несправності в процесі подальшої експлуатації, щоб необґрунтованим розбиранням не утруднити пошук причини пошкоджень.

А.14 Технологія дослідження деталей розібраного двигуна

Пошук несправностей та їх причин у часто неминуче призводить до необхідності вивчення стану деталей механічної частини. Дійсно, на деталях можуть бути сліди зношування та пошкоджень, які можуть вказувати на причину несправності. У такому разі без розбирання двигуна виявити причину несправності неможливо.

У процесі розбирання двигуна необхідно перевіряти ознаки, що відповідають тим чи іншим версіям. Однак не виключено, що в процесі розбирання можуть бути виявлені ознаки зовсім іншої несправності, ніж передбачалася на попередньому етапі.

Розбирання сама по собі ніяких труднощів не становить, проте має деякі особливості для різних автомобілів. Багатоциліндрові двигуни, як правило, вимагають значного часу на демонтаж з автомобіля, в той час, як найбільш поширені 4-циліндрові двигуни зазвичай знімаються за кілька годин. В результаті виконати повне дослідження багатоциліндрового двигуна за один робочий день проблематично, на відміну від простого 4-циліндрового.

Зазвичай зняття та розбирання двигуна починається зі зливу оливи та робочих рідин, що є досить важливою операцією для подальших досліджень,

оскільки говорить про кількість робочих рідин на момент дослідження та про їх стан у цілому. Відповідно не рекомендується, як це часто робиться на СТО, зливати рідини та оливу в якусь загальну місткість для подальшої утилізації – навпаки, для зливу повинні бути підготовлені відповідні чисті місткості (рис.А.13).

а

б

в

г

Рисунок А.13 – Дії при наявності ознаків зміни властивостей оливи: а – наявность осаду; б – взяття проб оливи; в – взяття проб палива; г – для деяких досліджень може знадобитися також охолоджувальна рідина

Далі, якщо виникла потреба, із таких місткостей можна відібрати проби для подальшого аналізу. Подальші роботи з демонтажу та розбирання двигуна не відрізняються від викладених у відповідній літературі. При цьому в процесі

розбирання, при необхідності, можуть виконуватися деякі роботи, наведені нижче.

А.15 Особливості досліджень моменту затягування болтів

При виконанні досліджень, пов'язаних з якістю виконаних ремонтних робіт, іноді виникає потреба визначити моменти затягування болтів тих чи інших з'єднань.

Як відомо, затягування багатьох різьбових елементів виконується на певний крутний момент. У процесі повороту болта коштом зусилля затягування очевидно зростає крутний момент. Далі, досягши заданого моменту, затяжка припиняється. Для оцінки моменту, з яким був затягнутий болт, потрібно розв'язувати обернену задачу,

Відомо, що при загортанні болт зазнає тертя ковзання, а при відвертанні, в момент страгування – тертя спокою, яке може бути набагато більшим. На практиці це виглядає так, ніби болт "прикипів", і йому потрібне додаткове зусилля на відвертання – "клацання", щоб рушити з місця. Це часто призводить до помилки в оцінці моменту. Тому правильна дія в такому випадку – це точно зафіксувати кутове положення головки болта щодо деталі, скручувати болт і трохи відвернути його, а потім загорнути точно у вихідне кутове положення (рис.А.14).

Однак, навіть не дуже прості методи перевірки затяжки болтів не завжди застосовні. Багато відповідальних різьбових з'єднань у сучасних двигунах тягнуться не на момент, а на межу плинності болта. Це означає, що при затягуванні спочатку дається тільки якийсь початковий крутний момент, після якого болт загортається зазвичай за два кроки на заданий кут, при якому момент не контролюється. В результаті болт фактично виходить на межу плинності, при якому зусилля затягування постійно. У такому разі знайти, який момент був при попередній затяжці, і на який кут повертався потім болт, взагалі неможливо – можна тільки знайти, якому крутному моменту відповідає ця затяжка.

Для такої операції підходять тільки ключі з безперервною індикацією крутного моменту – стрілкової або цифрової. Але далі, після отримання даних про момент, доведеться їх із чимось порівнювати. Порівняти цей результат практично нема з чим, порівнювати можна тільки з грубішими оцінювальними даними, наприклад, з орієнтовним максимальним моментом затягування, розрахованим за відомою формулою $M = (50...60)\ d$, де M – момент затягування, Нм, d – діаметр різьблення болта, мм [206].

а б

Рисунок А.14 – Особливості визначення моменту затягування болта за допомогою динамометричного ключа: а – за допомогою "клацаного" динамометричного ключа це неможливо в принципі; б – динамометричний ключ зі стрілковою індикацією дозволяє знайти шуканий момент, але не дає відповіді на питання, з чим порівнювати отриманий результат, і чи відповідає він регламентованій процедурі затягування чи ні

Таким чином, за допомогою вимірювання моменту затягування болтів можна відповісти тільки на питання "чи був цей болт затягнутий?" Водночас відповісти на запитання "з яким моментом було затягнуто цей болт?", неможливо. Саме тому для досліджень причин несправностей даний вид вимірювань не рекомендується і не застосовується.

При розбиранні двигуна слід також звертати увагу на інші ознаки – наприклад, на наявність масляного нагару у системі випуску, що від'єднується, і

оливи у впускних трубопроводах, що особливо важливо для двигунів з турбонаддувом. Важливо також зафіксувати номер двигуна, який стає легко доступним після зняття агрегату – номер може значитися в документах або базі даних виробника і підтверджує, наприклад, що автомобіль був зроблений на заводі-виробнику саме з цим двигуном [90]. Однак загалом обсяг і предмет перевірок у процесі зняття та розбирання двигуна визначається виходячи з наявних ознак, попередніх версій причини несправності та інших факторів.

А.16 Метод дослідження ознак несправності за вигляду деталей

Зовнішній вигляд деталей розібраного двигуна є одна із головних джерел інформації про причину несправності (чи навпаки – про відсутність несправності). Основними для дослідження зазвичай є деталі тертьових пар, проте нерідко важливі для визначення причини несправності сліди можуть бути й на інших деталях та їх поверхнях.

Важливо також те, що при візуальному огляді йдеться саме про поверхні деталей, які можна оглянути, зокрема, за допомогою різних пристроїв (лупа, мікроскоп, ендоскоп). При цьому огляд деталей є першим етапом дослідження, за результатами якого, за потреби, можуть бути проведені додаткові дослідження їх геометричних розмірів, а також властивостей – твердості, хімічного складу тощо.

У випадку деталі двигуна можуть мати такі сліди тієї чи іншого впливу, видимі на поверхнях, які дослідник повинен розпізнати та зафіксувати:

• сліди від заводської обробки, відсутність видимих слідів впливу під час експлуатації,

• сліди звичайного для експлуатації тертя, зносу, взаємодії тощо,

• сліди позаштатного (аномального) тертя, зносу, взаємодії, у тому числі подряпини, задираки, вибоїни та ін.,

• сліди аномального теплового впливу, сліди втечі та/або нагару,

• тріщини, руйнування деталі за відсутності явного зовнішнього впливу,

• тріщини, руйнування деталі за наявності слідів позаштатної взаємодії зі сполученими та/або поруч розташованими деталями,

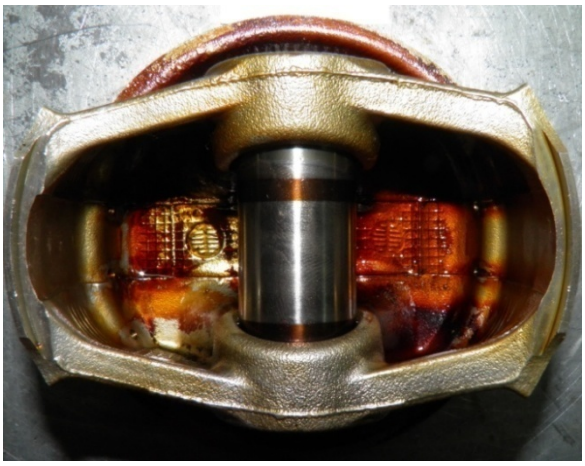
• складні випадки комплексного характеру.

Як показує практика, найбільшу складність для досліджень становить різницю між станами деталей. Наприклад, різниця між відсутністю та наявністю слідів впливу очевидна, але є певна складність у використанні цієї інформації для виявлення причин несправності. Непоодинокі випадки, коли саме відсутність слідів може бути ознакою аномальної роботи деталі (наприклад, при деяких видах виробничих дефектів). Однак найбільшу складність становить визначення різниці між звичайними та аномальними слідами на поверхнях деталей.

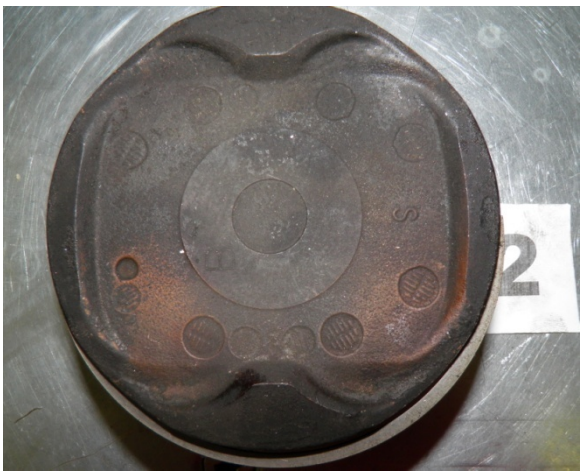
Дійсно, кожна деталь двигуна має власні особливості та характер зносу, а також власний характер пошкоджень. Це потребує окремого детального опису стану всіх деталей ДВЗ. Оскільки таких деталей можуть бути десятки та сотні, у зв'язку з цим доцільно дослідити загальний підхід (принцип), що дозволяє визначити, чи було на ту, чи іншу деталь якийсь вплив, який характер мав цей вплив. Тобто, важливо розуміти, чи вплив на деталь був звичайним експлуатаційним або якимось аномальним, що не відповідає звичайним умовам експлуатації, і як можна використовувати всю цю інформацію при пошуку причини несправності [264].

1) Для того, щоб описати стан деталей, був прийнятий такий простий алгоритм:
2) описується стан справної деталі при звичайному стані, що характеризується нормальним зносом при звичайній експлуатації, визначається еталон нормального стану деталі,
3) послідовно описуються різні найбільш часто зустрічаються практично відхилення від звичайного (нормального) зовнішнього вигляду деталі, з описом стану та зазначенням причин. Тим самим визначаються зразки для різних видів пошкоджень,
4) отримані зразки надалі використовуються виявлення характерних пошкоджень шляхом порівняння досліджуваних деталей з еталонами.

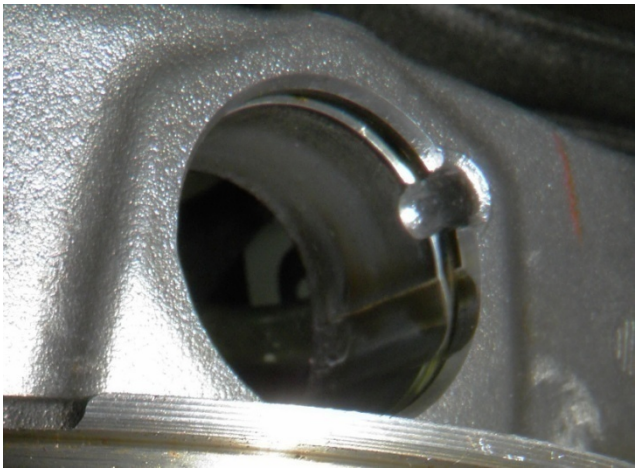
а



б



в



г

д

Рисунок А.15 – Вид справного робочого поршня, що приймається за еталон: а – спідниця та ущільнювальний пояс, б – внутрішня поверхня, в – днище, г – отвір під палець, д – поверхні канавок під кільця

Детальний опис різних пошкоджень деталей зазвичай дається у спеціалізованих довідниках [161, 165, 183, 339, 178-182, 184, 317, 338, 347, 406]. Але на етапі попереднього дослідження необхідний загальний підхід (принцип) до дослідження зовнішнього вигляду деталей – на прикладі деталей, що найчастіше ушкоджуються.

Такою деталлю, серед інших деталей ДВЗ, є поршень. Поршень, що нормально працював, характеризується наступними зовнішніми особливостями (рис.А.15):

• на кожній стороні спідниці в середній та нижній її частині є помітні області контакту з циліндром у вигляді помітного блиску, або, навпаки, матовості, зміненого кольору, частково стертого антифрикційного покриття (за його наявності). Ці області мають строго симетричний характер щодо вертикальної осі, що проходить через середину поверхні спідниці з кожного її боку,

• днище та ущільнювальний пояс повинні бути рівномірно покриті сухим темним нагаром,

• у канавках для кілець їх верхні та нижні поверхні повинні бути блискучими або принаймні мати рівний матовий колір від роботи поршневих кілець,

• в отворі під поршневий палець аналогічно повинні бути сліди роботи пальця, переважно у верхній частині отвору (навернутої до днища поршня),

• на внутрішній поверхні днища може лежати порівняно тонкий (прозорий) нагар різних відтінків коричневого кольору.

Ніяких інших слідів взаємодії на зовнішній поверхні не повинно бути. Відповідно, до ознак відхилення стану поршня від нормального відносяться:

1) область контакту на спідниці надто широка, колір області матовий, з дрібними подряпинами – це абразивне зношування від попадання дрібних частинок,

2) на спідниці є глибокі вузькі подряпини – сліди пошкодження від попадання порівняно великих частинок,

3) на поверхні спідниці є задираки – ділянки з наволіканням і перенесенням матеріалу, причому задираки можуть мати поширення знизу вгору і/або навпаки, зверху вниз, і розташовуватися в середній частині спідниці (порушення змащення) або по краях (перегрів двигуна),

4) ущільнювальна частина поршня має стерті області нагару над областю контакту спідниці – це наслідок абразивного зношування спідниці та великого зазору поршня в циліндрі,

5) те саме, але нагар стертий під 90 градусів, над одним з отворів під палець – деформований шатун (ознака супроводжується характерним "діагональним" слідом контакту на спідниці, на краях шатунних вкладишів і т.д.),

6) на ущільнювальній частині поршня значні відкладення нагару, повністю або частково заблоковано рухливість поршневих кілець – типові ознаки коксування низькоякісної моторної оливи,

7) на внутрішній поверхні поршня аномальний нагар – перегрів поршня або неякісна олива,

8) розбиті канавки кілець – коливання кілець з різних причин, від виробничих до експлуатаційних,

9) руйнування перемичок між канавками поршневих кілець – звичайне наслідок детонації,

10) прогар і сліди плавлення на зовнішній поверхні ущільнювального пояса – звичайне наслідок перегріву поршня після руйнування поршневих кілець та/або перемичок,

11) наскрізний прогар і/або сліди плавлення в центральній частині днища – гарне запалювання від тліючого нагару (рідкісне пошкодження бензинових ДВЗ),

12) те саме, ближче до краю днища поршня з внутрішнім охолодженням, можливо, з задирами на ущільнювальнім поясі – перегрів поршня внаслідок несправності форсунки масляного охолодження.

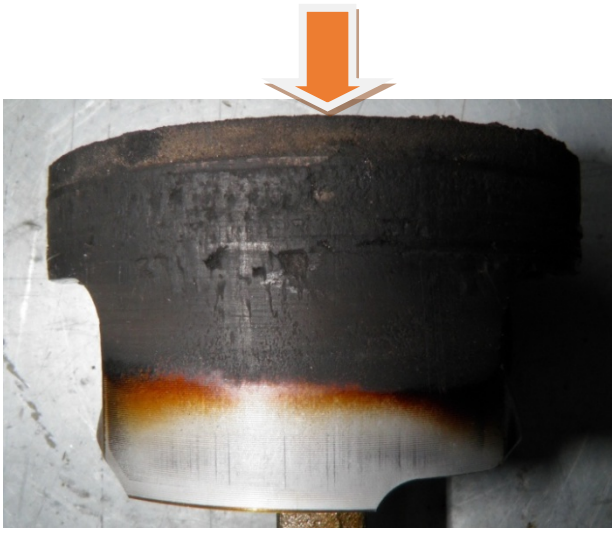
Наведений список є неповним, оскільки не дає численних проміжних станів, але навіть в усіченому вигляді показує, наскільки багато варіантів пошкоджень може бути тільки в однієї деталі ДВЗ – поршня.

На рис.А.16 представлені відхилення від нормального стану, що найбільш часто зустрічаються, і їх можливі причини.

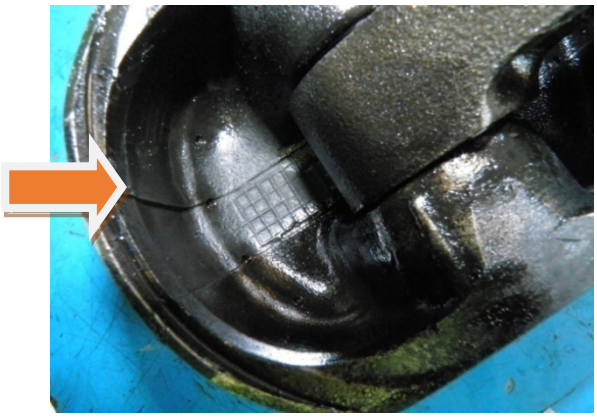
а б в г

Рисунок А.16-1 – Основні види та ознаки пошкоджень поршнів:
а – абразивний знос, б – пошкодження частинками, в – задираки, г – великий зазор в циліндрі (знос спідниці)

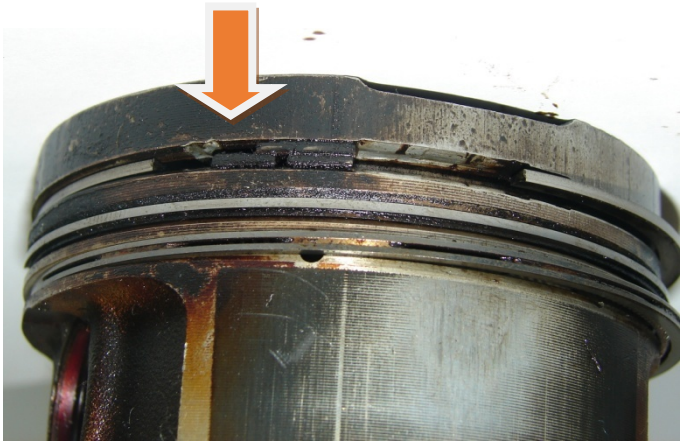
д



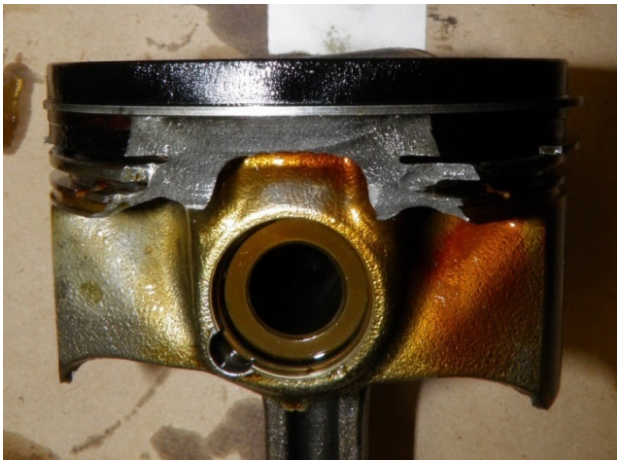
е



ж



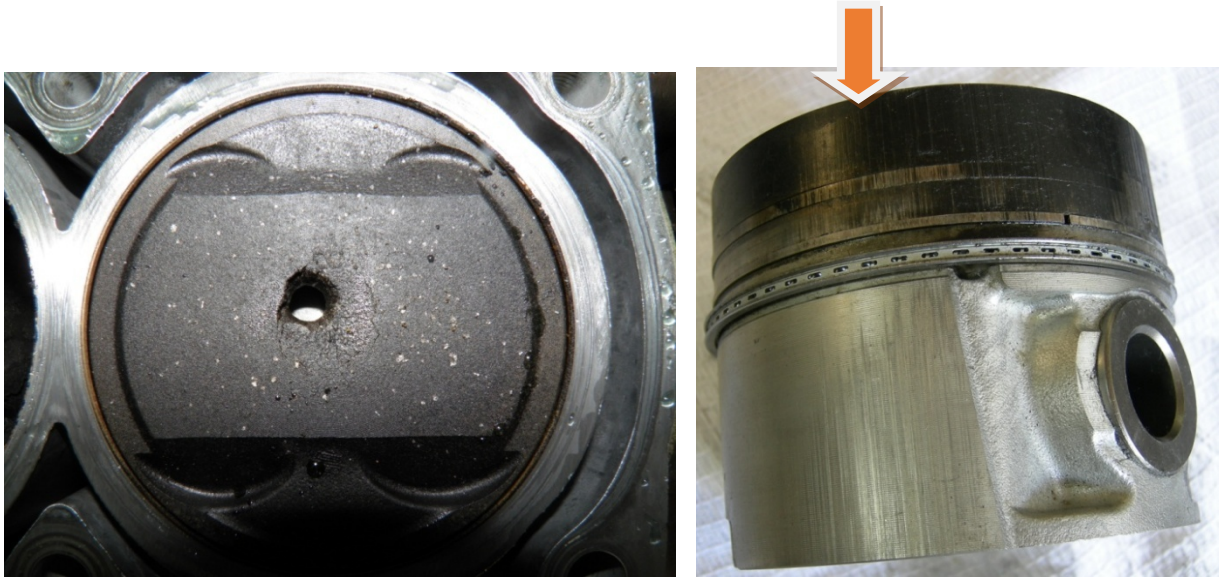
з



и

к

Рисунок А.16-2 – Основні види та ознаки пошкоджень поршнів (продовження): д – деформація шатуна, е – низькоякісна олива, ж – перегрів поршня або неякісна олива, з – розмивання канавки при коливанні зламаного поршневого кільця, и – детонація, к – перегрів поршня після поломки кілець та/або перемичок



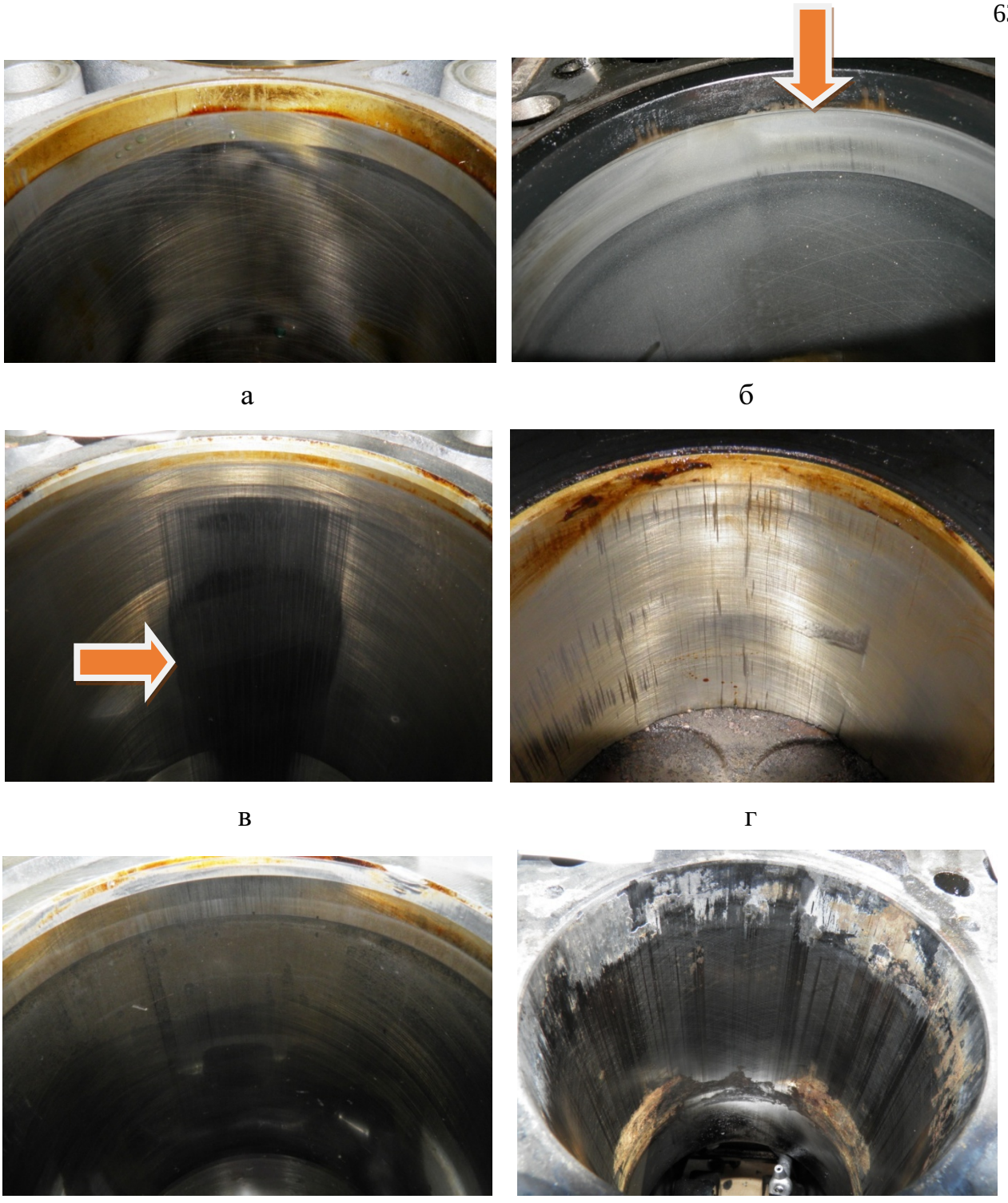
л м

Рисунок А.16-3 – Основні види та ознаки пошкоджень поршнів (закінчення): л – розжарювальне запалювання, м – порушення оливного охолодження

Зовнішнім оглядом можна отримати дані про стан циліндрів, де візуально можна побачити більшість видів пошкоджень поверхні (рис.А.17). Водночас слід пам'ятати, що якість обробки поверхні циліндрів (наприклад, мікропрофіль поверхні та вихід графіту у ньому) щодо дослідження стану двигуна перевірити проблематично. Для цього потрібно спеціальне дороге обладнання, включаючи спеціальний прилад для визначення шорсткості та мікропрофілю поверхні – профілограф [333, 360].

Дослідження якості обробки поверхні є обов'язковими, якщо є підозра, що причиною виходу двигуна з ладу було "неправильне" хонінгування циліндрів при ремонті. Однак така причина на практиці є рідкістю, а довести, що хонінгування було зроблено з порушенням технології, без профілографа та даних виробника про шорсткість поверхні (яких практично неможливо отримати) не є можливим. Внаслідок цього в оцінці стану поверхні циліндрів доцільно аналізувати інші причини пошкоджень.

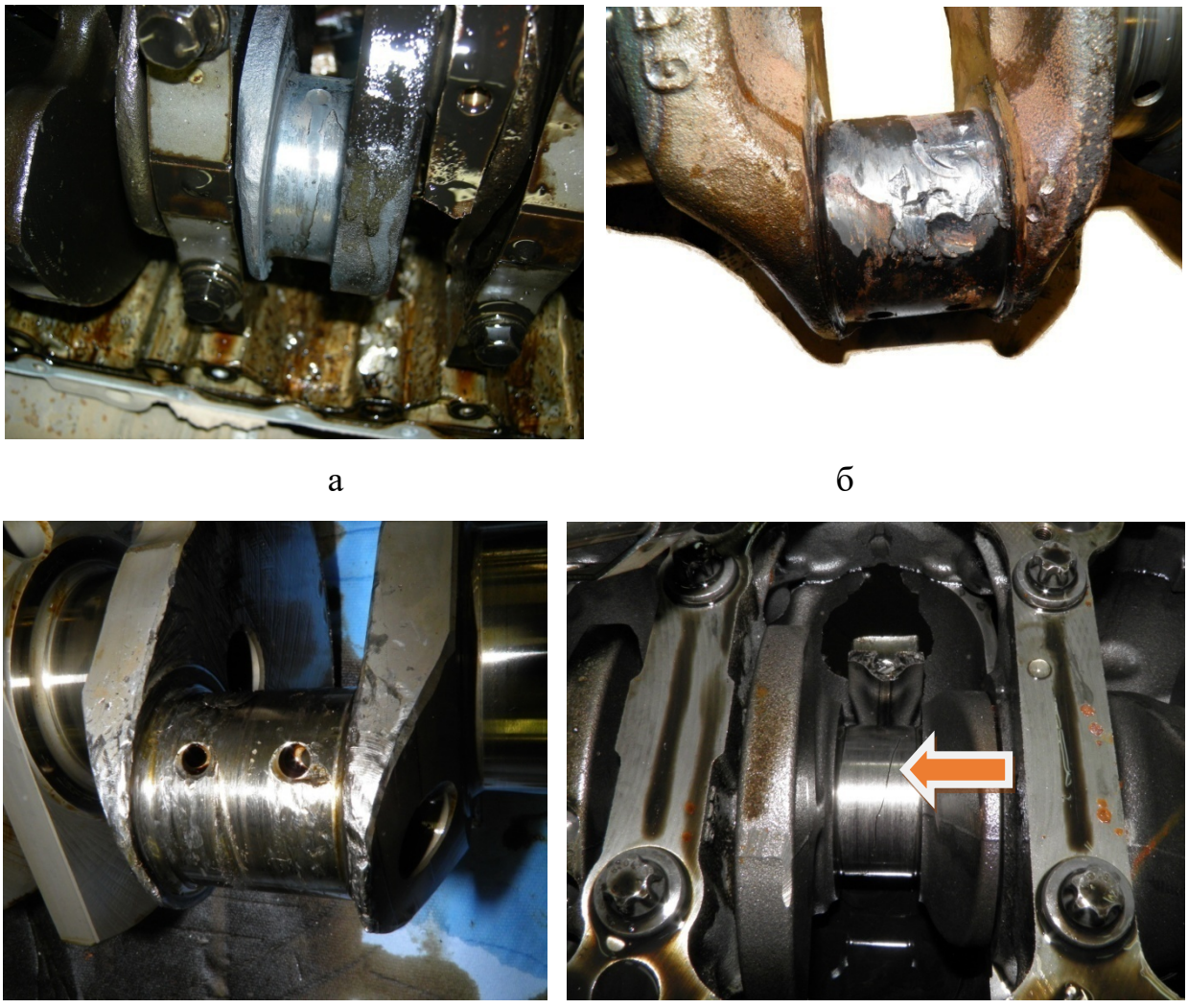
Основну увагу при огляді циліндрів слід зосередити на визначенні наявності або відсутності характерних хонінгувальних рисок. Якщо вони на поверхні циліндра видно, то знос, швидше за все, невеликий, якщо їх не видно, знос може бути значним, однак необхідно ще перевірити розміри циліндрів.



а б в г д е

Рисунок А.17 – Види (еталони) циліндрів, якими визначається їх стан:
а – нормальне робоче (еталон), б – абразивний знос від частинок пилу з повітря,
в – те саме від частинок з оливи, г – потрапляння сторонніх предметів у циліндр,
д – корозія, е – задираки

Візуальний огляд дозволяє виявити також багато пошкоджень шийок колінвала – знос, задираки та перегрів [164, 187, 211, 375]. Знос шийки може бути виміряний, проте у разі серйозних пошкоджень (рис.А.18) вимірювання не мають сенсу, оскільки сам зовнішній вигляд шийки може говорити про серйозні несправності двигуна і неремонтопридатність колінчастого валу.



а б

в г

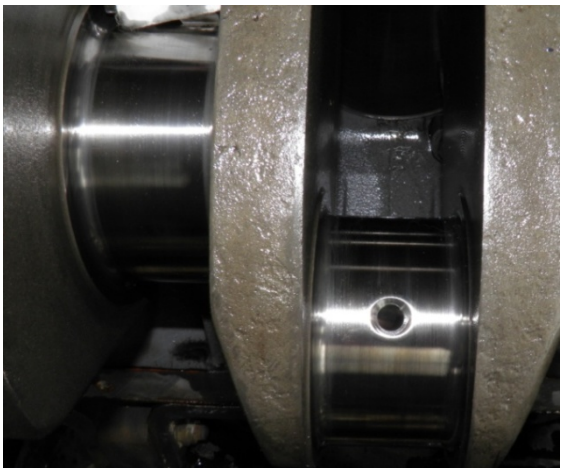
Рисунок А.18 – Шийки з такими пошкодженнями зазвичай ще до початку досліджень вже вказують на причину несправності: а – сильний перегрів шийки при тривалій роботі двигуна за відсутності подачі оливи, б – те саме, але при руйнуванні шатуна, в – руйнування шатуна без порушення подачі оливи, г – втомне руйнування колінчастого валу по шийки

У деяких випадках на поверхні шийок колінвала можуть бути виявлені тріщини. Великі тріщини видно неозброєним оком, виявити мікротріщини можна лише спеціальними приладами, наприклад магнітним дефектоскопом. Зазвичай такі поглиблені дослідження при розбиранні та аналізі причин несправності двигуна не мають сенсу, але в окремих випадках, наприклад, при оцінці можливості та вартості ремонту, вони все ж таки можуть бути корисні.

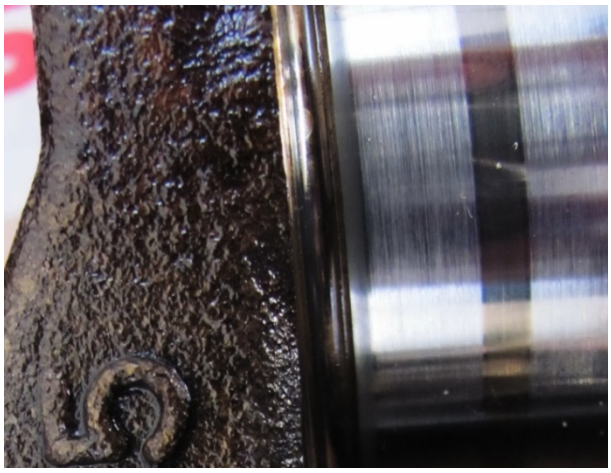
Вочевидь, якість поверхні шийок колінвала визначає шорсткість поверхні (рис.А.19). Наявність на шийках пошкоджень у вигляді подряпин і задирак може говорити про абразивне зношування та/або режим недостатнього змащення. Причому в такому випадку стан колінвала треба обов'язково зіставляти зі станом деталей у відповідь – вкладишів, що допомагає швидше знайти причину несправності, що викликала пошкодження [165, 178, 298, 347].

Несправності після ремонту двигуна слід розглядати окремо, оскільки можуть виникнути внаслідок неякісно проведеного відновлювального ремонту колінчастого валу (рис.А.20). У випадку шийки колінвала після шліфування повинні обов'язково поліруватися. Річ у тому, що навіть шліфована до дзеркального блиску поверхня шийки для роботи вкладиша занадто груба, і вкладиш стосуватиметься вершин мікронерівностей на поверхні шийки. Крім того, після шліфування на краях мастильних отворів утворюються задирки, здатні відразу ж зіпсувати робочу поверхню вкладишів різанням (задирочки легко загладжуються при поліруванні).

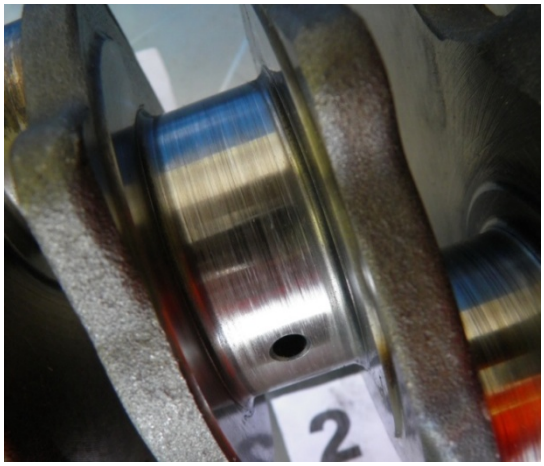
Всі ці особливості повною мірою відносяться також до завзятих поверхонь колінвала. Груба неполірована поверхня шийок, у тому числі з дефектами шліфування типу характерного огранювання, здатна швидко вивести з ладу будь-які вкладиші. Однак проводити перевірку шорсткості шийок, тим більше вимірювати її яким-небудь приладом, а також шукати огранювання поверхні безглуздо, якщо вкладиші не мають явних та/або серйозних пошкоджень.



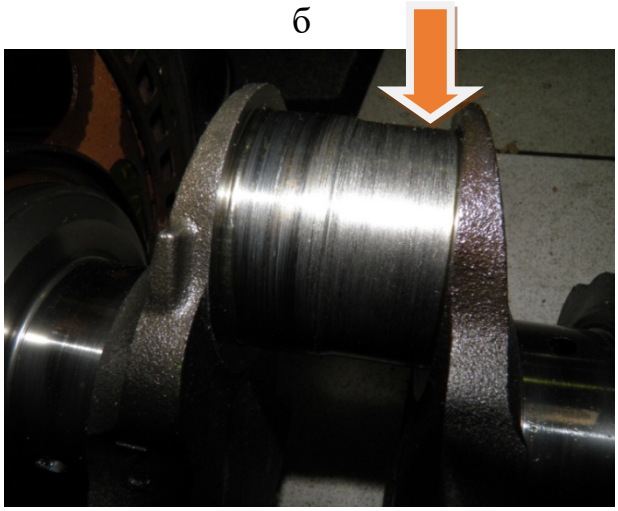
а



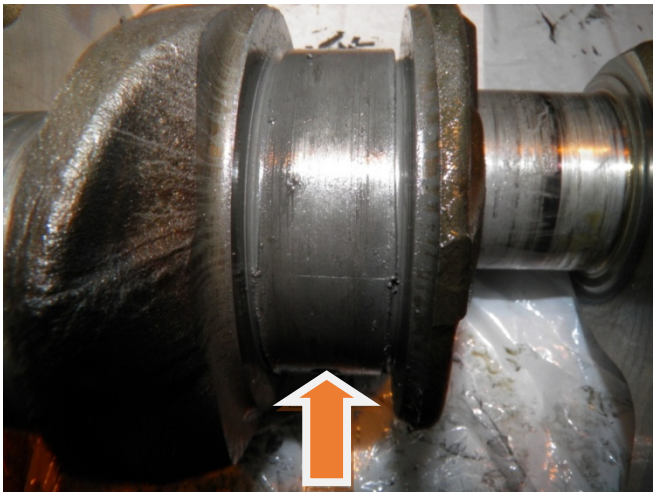
б



в

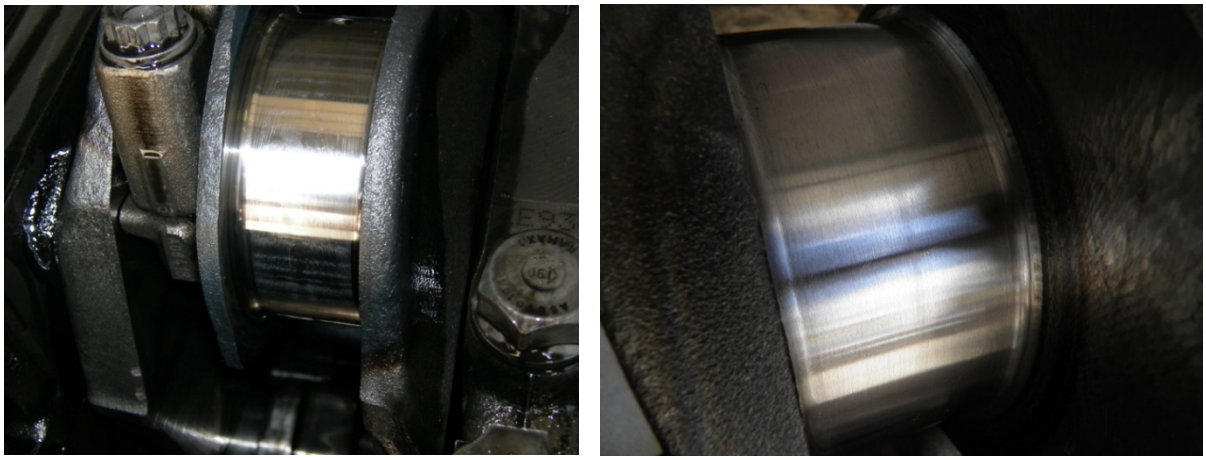


г

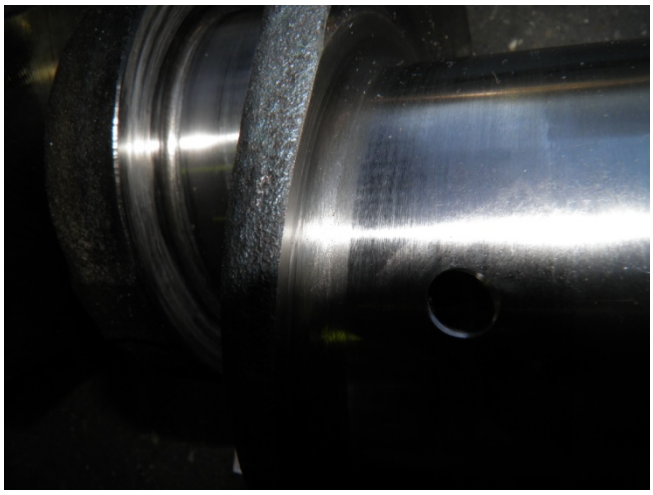


д

Рисунок А.19 – Стан поверхні шийок, що вимагають від дослідника-фахівця уважності та правильного опису пошкоджень: а – нормальний робочий стан, б – ознаки абразивного зношування, в – ознаки безпосереднього контакту з вкладишем, г – задираки, д – заклинювання з провертанням вкладишів у підшипнику



а б



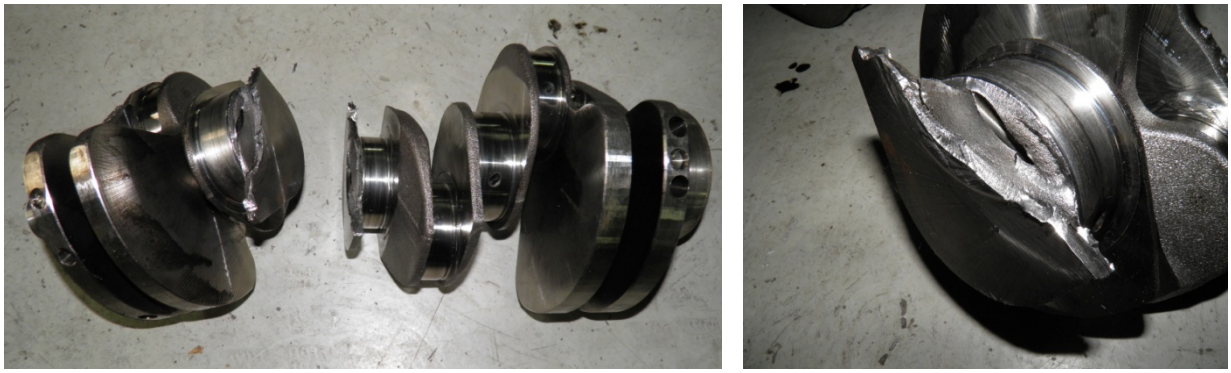
в

Рисунок А.20 – Деякі ремонтні дефекти колінчастого валу, які можуть вплинути на його нормальну роботу: а – огранювання, б – груба поверхня "з-під різця" без полірування, в – груба поверхня галтелей

Наслідком неправильного шліфування нерідко стає втомне руйнування колінчастого валу після ремонту (рис.А.21), причому поширення втомної тріщини починається, як правило, з гострої крайки галтелі або внаслідок позаштатної шорсткості її поверхні.

Іноді для дослідження причин несправностей колінчастих валів контролюють твердість шийок колінвала. Практика показує, що такий контроль абсолютно непотрібний і частіше робиться не з метою знайти дійсну причину несправності. При нормальній роботі підшипників вкладиші відокремлені

"масляним клином" і ніколи не торкаються поверхні шийок, тому твердість шийок ніякого впливу на несправність надати не може.



а б

Рисунок А.21 – Звичайний результат неякісного ремонту (шліфування колінвалу) – втомне руйнування, коли тріщина почала поширюватися з концентратора напруження – галтелі (але якщо вал не піддавався ремонту, визначити причину дуже непросто): а – зруйнуваний колінвал; б – вигляд зламу з ознаками втомного руйнування

Тільки на деяких режимах, головним чином, при запуску двигуна, коли можливе зіткнення поверхонь по мікронерівності (короткочасний режим напівридинного тертя), більш висока твердість шийок може зменшити їх зношування. Крім того, процес зношування від короткочасного контакту валу з підшипником занадто тривалий.

Іншими словами, знижена твердість шийок може вплинути тільки на ресурс, але не на працездатність коленвала. Звідси слід, що шукати причину несправності двигуна шляхом проведення вимірювань твердості шийок колінчастого валу так само безглуздо, як з тією ж метою проводити дослідження моторної оливи та/або палива. Тобто перевірка твердості шийок при виході колінчастого валу з ладу, як і висновок про недостатню твердість валу як причину несправності, найчастіше не вказує на правильну причину. Тим більше, що немає жодних даних про те, з чим порівнювати отриманий результат, оскільки жодних даних виробника за твердістю шийок, як правило, немає.

У головках блоку циліндрів при візуальному огляді виявляється чимало різних пошкоджень (рис.А.22), від прогорілих прокладок до прогарів стінок самої головки [161, 406]. Незважаючи на те, що всі подібні пошкодження досить очевидні, багато з них вимагають від дослідника особливої уваги, особливо при огляді сполучених деталей. У багатьох випадках це може дати ключову інформацію про причину несправності.

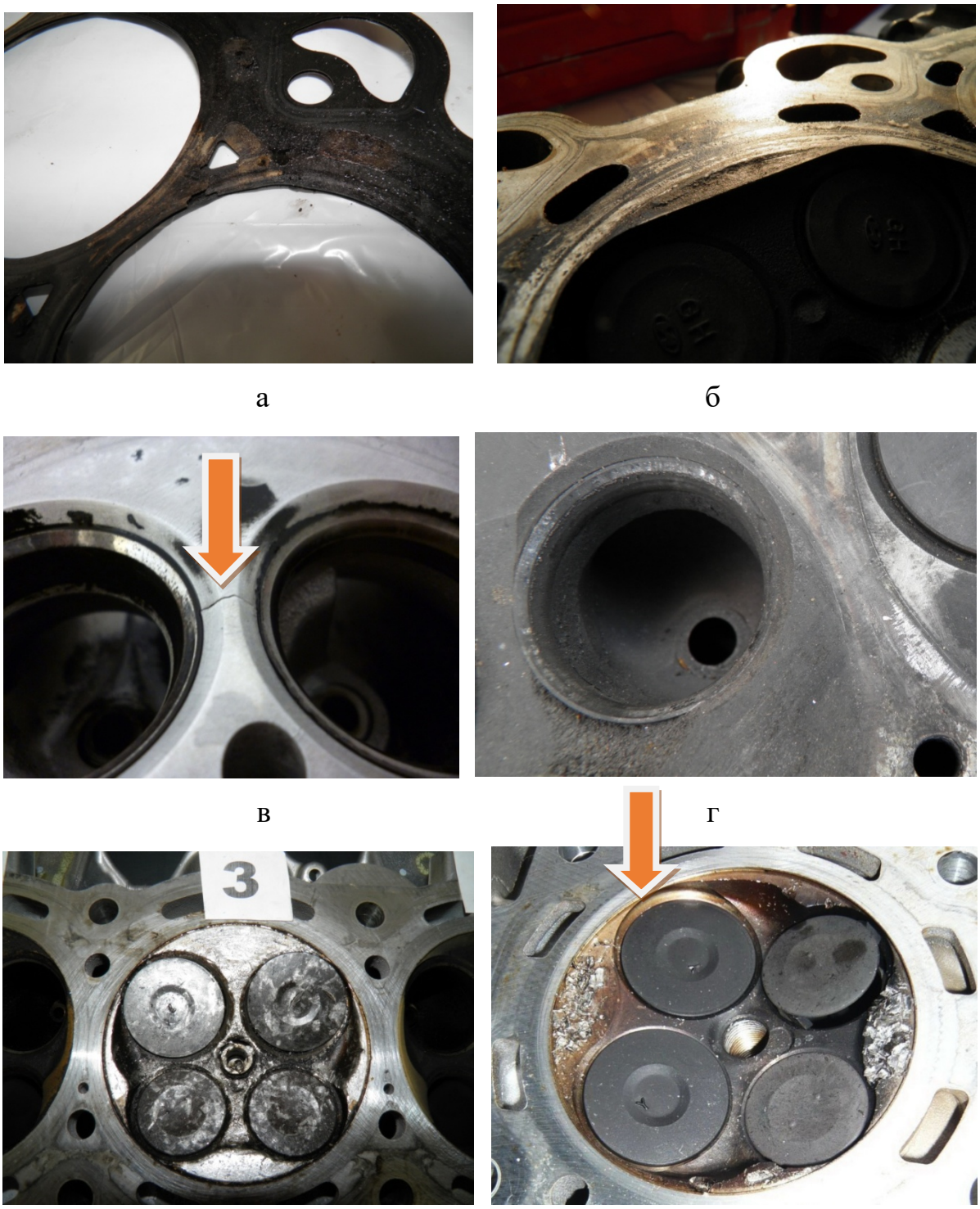
При перевірці клапанного механізму потрібне розбирання клапанів з відповідним маркуванням місця розташування клапана (іноді це корисно і для інших деталей приводу клапанів).

Для цього необхідно нанести відповідні мітки на клапани, які легко виконуються за допомогою маркера. Найкращим варіантом є використання виконаної зі звичайного картону спеціальної "каси" з отворами, куди легко поставити всі клапани, помітивши лише крайні отвори.

Розбирання клапанів необхідно виконати за допомогою відповідного пристрою, різні види яких є на будь-яких СТО. У жодному разі не можна розбирати клапани "ударним" способом – на стрижнях неминуче з'являться вибоїни, а клапани можуть бути деформовані. Після такого розбирання буде неможливо правильно оцінити їхній дійсний стан на момент закінчення експлуатації двигуна.

Іноді використовується спосіб маркування, який може пошкодити деталі. Наприклад, раніше широко застосовували прибивання керном на головках клапанів різних міток, що прийшло звідкись з якихось країн. Такий спосіб необхідно виключити – маркування може вплинути на стан деталей, а при малому діаметрі клапана взагалі є ризик деформації стрижня та головки.

Перш ніж приступити до вимірювання клапанів та сідел, необхідно ретельно очистити деталі – під шаром нагару можуть ховатися тріщини, а вимірювання брудних деталей не дозволить отримати їх розміри.



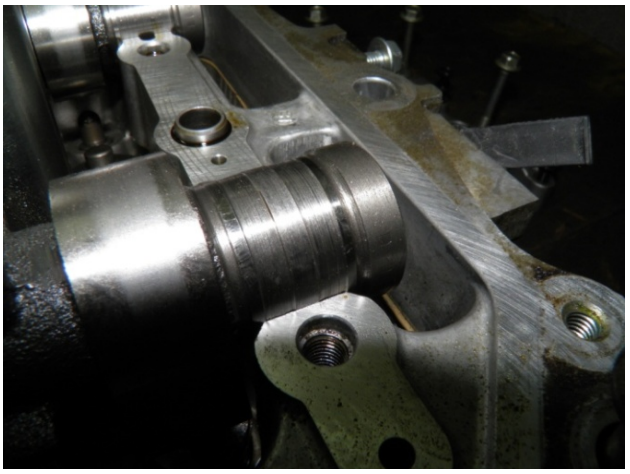
а б в г д е

Рисунок А.22-1 – Деякі типові пошкодження прокладок і головок блоку циліндрів, що легко виявляються візуально: а – прогар прокладки, б – сліди негерметичності прокладки на площині головки блоку, в – тріщина, г – прогар стінки камери згоряння, д – потрапляння стороннього предмета в циліндр, е – випадання сідла

ж

з

и

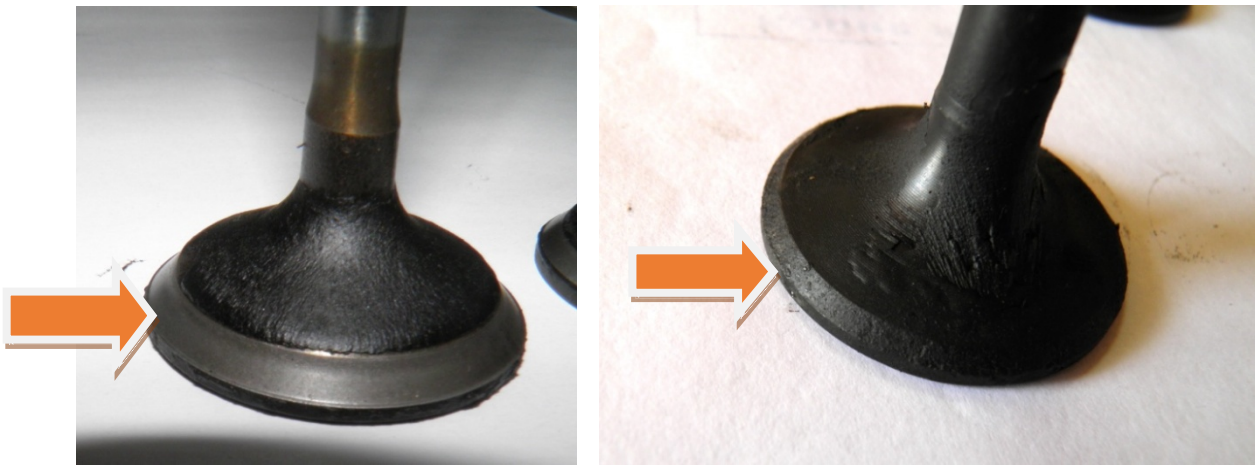


к

Рисунок А.22-2 – Деякі типові пошкодження прокладок і головок блоку циліндрів, що легко виявляються візуально (продовження): ж – обрив клапана, з – руйнування коромисел приводу клапанів, и – знос кулачків розподільного валу, к – знос опорних шийок розподільного валу.

Особливу увагу слід звернути на «відмиті» від нагару в процесі роботи двигуна ділянки поверхонь, що різко відрізняються від інших за кольором – у таких місцях найбільш ймовірно виявлення різних пошкоджень.

Залежно від характеру пошкоджень клапанів, описаних у великій кількості джерел [95, 105, 103, 137, 153, 163, 251, 284, 316, 331, 355, 401], можливі різні випадки, що вимагають найбільшої уваги щодо дослідженні (рис.А.23).

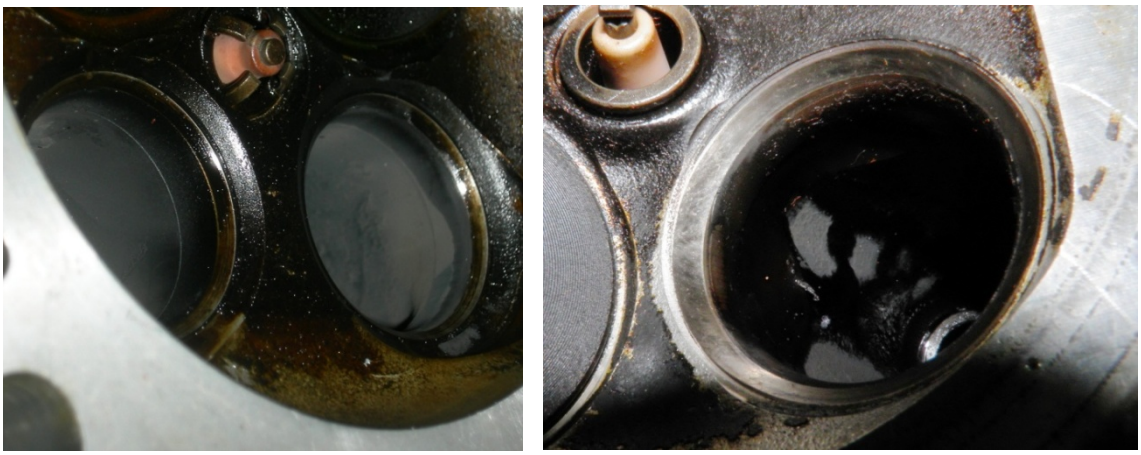


а б

в г

д е

Рисунок А.23-1 – Деякі характерні особливості стану клапанів і сідел, за якими дослідник візуально може судити про стан головки блоку циліндрів: а – абразивний знос фаски клапана, б – порушення контакту з сідлом, в – аномальний нагар, г – прогар або скол клапана, д – задир на стрижні, е – абразивне зношування стрижня



ж з

Рисунок А.23-2 – Деякі характерні особливості стану клапанів і сідел, за якими дослідник візуально може судити про стан головки блоку циліндрів (продовження): ж – сліди неприлягання клапана на сідлі, з – знос сідла

Необхідно звертати увагу на такі особливості стану клапанів та сідел:

• виявлено тріщину в стінці камери згоряння;

• сідло пошкоджено зруйнованим клапаном або поршнем;

• є підозра на ослаблення посадки сідла у голівці циліндрів;

• довкола зовнішнього діаметра сідла спостерігаються сліди корозії;

• на сідлі виявлено тріщину або є сліди його обгорання;

• велике зношування сідла і фаски клапана, що веде до надмірного «поглиблення» клапана у сідлі.

Останній випадок може призвести до того, що головка клапана сильно «провалиться» в сідлі, і стрижень клапана висунеться вгору і вибере зазор у приводі або порушить роботу гідроштовхача. При цьому зазвичай спостерігається розширення робочої фаски сідла, що веде до погіршення герметичності його посадки в сідлі та пропусків займання при роботі двигуна.

Пошкодження головки циліндрів зазвичай викликають перепустки займання. Тому всі виявлені пошкодження клапанів і сідел бажано зіставити з даними діагностики двигуна, отриманими перед його розбиранням. Не виключено, що вони підтвердять знайдені пошкодження як причину перепусток. Водночас безпосередня перевірка герметичності пари клапанів з сідлами

спеціальними засобами (наприклад, приладами для перевірки герметичності – вакуумтестерами) робиться рідко. У переважній більшості випадків для визначення, герметичний клапан чи ні, в дослідженнях несправності цілком достатньо візуальної оцінки поверхні контакту.

При дослідженні причин перегріву двигуна результати зовнішнього огляду можуть бути основою підозр на мікротріщини в голівці циліндрів. Можливо, для цього потрібно перевірити герметичність порожнини охолодження за допомогою тестера витоків (принцип дії такого обладнання описаний [302]). Проте така перевірка у реальних дослідженнях трапляється досить рідко.

Іноді корисно також перевірити візуально розташування та напрямок оливних форсунок для охолодження поршнів (рис.А.24).

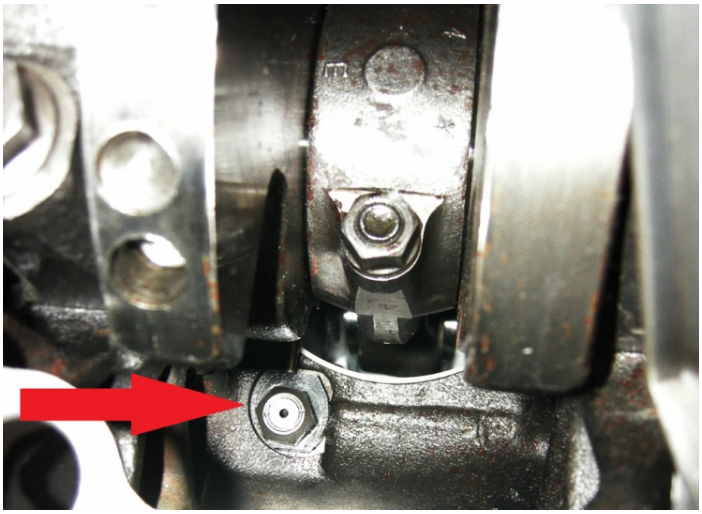


Рисунок А.24 – Неправильна та/або неточна орієнтація оливних форсунок охолодження поршнів – причина перегріву поршнів та тяжких пошкоджень багатьох дизельних двигунів в експлуатації після ремонту, яка досить легко знаходиться візуально

З практики відомо, що неправильний напрямок струменя форсунки за наявності внутрішнього (галерейного) охолодження поршня різко порушує тепловий режим, призводить до пошкоджень робочої поверхні та виходу поршня з ладу [211]. Причому, зазвичай, така ситуація спостерігається після ремонту двигуна, коли оливні форсунки можуть бути встановлені з перекосами або

деформаціями. Тому за наявності ознак порушення теплового режиму поршня перевірка форсунок є практично обов'язковою – інакше досліднику доведеться гадати, чому на поршні з'явилися задираки у верхній частині.

Перевірка проводиться із встановленим шатуном та поршнем. При повільному обертанні колінвала до положення поршня в нижній мертвій точці носик форсунки повинен опинитися в центрі отвору для оливного охолодження на поршні. Зрозуміло, що за наявності задир у верхній частині поршня та одночасної розбіжності носика форсунки з отвором в поршні причина несправності буде очевидна.

Інші відповідальні деталі ДВЗ також можуть мати велику кількість можливих варіантів пошкоджень та проміжних станів, що ускладнюють дослідження. Можливі також відмінності у стані однотипних деталей (вкладишів, поршнів тощо), причому наявність або відсутність подібних відмінностей іноді має вирішальне значення у встановленні причини несправності. До таких деталей і вузлів відносяться піддон картера і оливний фільтр, що перевіряються на наявність і характер стружки, впускний колектор на наявність забруднень, різні кришки двигуна, на яких можуть бути аномальні відкладення, привід ГРМ, особливо, натягувачі ланцюга (ременя), та ін.

Отримані в результаті дані нерідко вимагають аналізу, який важко або навіть неможливо виконати відразу ж на місці огляду двигуна і лише за одним зовнішнім виглядом. Тому для проведення детального аналізу потрібна додаткова докладніша інформація за деякими із зазначених ознак, що характеризують стан основних деталей – вкладишів підшипників, колінвалів, циліндрів, поршнів, клапанів та ін [181-184, 186, 211, 315, 347, 401].

ДОДАТОК Б – ОБЛАДНАННЯ ТА ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Б.1 Прилади для електронної діагностики

У різний час для контролю технічного стану та діагностики несправностей двигунів використовувалися різні прилади – від простих стробоскопів та газоаналізаторів до складних консольних мотортестерів. Однак з часом, а також у зв'язку з поширенням електронних систем керування двигуном, багато традиційних раніше діагностичних засобів втратили значення. При цьому специфіка досліджень причин несправності, у тому числі обмеження за часом і вартістю досліджень, практично звела всю електронну діагностику до кількох типів електронних діагностичних приладів. В результаті одним із найпоширеніших діагностичних пристроїв для двигунів сучасних автомобілів зараз став сканер – прилад для зчитування інформації з пам'яті електронних блоків керування двигуном [120, 217, 303].

Принцип дії сканера (рис. Б.1) ґрунтується на функціях самодіагностики електронного блоку.

Рисунок Б.1 – Традиційний зовнішній вигляд діагностичного сканера

Для цього проводиться вимірювання електричних параметрів елементів системи, що після порівняння їх з еталонами дозволяє робити висновок про їхню

справність та/або працездатність. Виявлені відхилення параметрів від еталонів вказують на несправності та зберігаються в електронній пам'яті блоку у вигляді цифрових кодів помилок. Крім цього, сканер забезпечує перегляд та аналіз поточних параметрів системи управління.

Для обміну інформацією з електронними пристроями автомобіля сканер оснащується одним або декількома кабелями з адаптерами для підключення до діагностичного гнізда даного автомобіля.

Важливою специфічною особливістю сканера є те, що він сам нічого не вимірює і не має датчиків у своєму складі, а лише зчитує результати вимірів та їхнього аналізу. Система керування зчитує це мовою електронного пристрою у вигляді цифрового коду. Сканер є таким чином дешифратором і його функції обмежені можливостями програми, закладеної в електронний блок керування двигуном. Звідси випливає, що повнота діагностичної інформації, одержуваної за допомогою сканера, мало залежить від виробника сканера, а визначається, головним чином, системою керування двигуном автомобіля. Тобто сканер не дасть більше інформації, ніж її видасть блок керування.

Вміст пам'яті блоку представляє безумовний інтерес під час пошуку причини несправності двигуна, і це коди помилок. Сканер має також режим роботи, званий data stream (потік даних), який дозволяє отримувати поточні та розраховані на їх базі значення параметрів системи управління. Якщо при цьому мати чітке уявлення про роботу системи, то за допомогою цього режиму можна перевірити працездатність не лише самої системи керування, а й двигуна автомобіля, який ця система контролює.

Якщо сканер розроблений на замовлення конкретного автовиробника на користь його фірмової мережі техобслуговування, його називають дилерськими (рис. Б.2). Однак розробники сканерів випускають і універсальні сканери (рис.Б.3), які призначені для незалежних обслугових та ремонтних організацій.

а

б

в

г

Рисунок Б.2 – Дилерські сканери: а – Mercedes, б – VW, в – Toyota, г – Nissan

а

б

Рисунок Б.3 – Популярні універсальні сканери: а – з Європи; б – з Азії

Універсальність сканера означає насамперед широту його застосування на автомобілях різних марок. Повністю універсального сканера поки що немає, але сучасні універсальні сканери здатні працювати з автомобілями різних виробників.

Оскільки електроніка автомобілів безперервно вдосконалюється, удосконалюються й діагностичні прилади. Зробити за таких умов програмний продукт нестаріючим неможливо, тому стає актуальним оновлення програмного забезпечення сканера. Причиною оновлення також може бути розширення охоплення за моделями та системами автомобіля, підключення додаткових функцій, а також усунення раніше допущених помилок.

Крім того, в універсальному сканері особливості тестованого автомобіля враховуються за допомогою дооснащення базового пристрою відповідним програмним продуктом, що враховує специфіку керувальної електроніки автомобіля даної марки.

Специфіка автомобілів різних виробників полягає у використанні різних протоколів обміну, а й діагностичних роз'ємів різної конфігурації. Щоб зважити на цю особливість, універсальні сканери комплектуються кабелями-адаптерами для підключення до системи бортової діагностики. Деякі розробники могуть забезпечувати свою продукцію й додатковими функціями, в тому числі вбудованим мультиметром і цифровим осцилографом, що робить їх близькими до дилерських (рис.Б.4).

На розвитку універсальних сканерів дався взнаки процес уніфікації, викликаний прийняттям стандартів OBD-II (On Board Diagnostic-II) та EURO-OBD [49, 222, 361]. Ці стандарти наказують виробникам використання єдиного протоколу обміну та стандартного діагностичного роз'єму. Звідси з'являється можливість виявляти несправності не тільки на станціях технічного обслуговування офіційних дилерів, що мають у своєму розпорядженні дилерське діагностичне обладнання, а й на незалежних СТО з використанням універсальних діагностичних засобів.

Рисунок Б.4 – Дилерські сканери дають можливість отримувати як коди помилок та потокові дані, а й зображати їх у графічному вигляді. Такі самі функції зараз мають також універсальні сканери

Класичний сканер, як відомо, є спеціалізованим комп'ютером. Звичайний персональний комп'ютер або ноутбук можна перетворити на сканер. Щоб він зміг за командою оператора запитувати та отримувати відомості від блоків управління та подавати їх на екрані монітора у необхідному для аналізу вигляді, потрібен спеціальний інтерфейс. Це завдання вирішується за допомогою установки на комп'ютері спеціальної програми, тоді для обміну даними між комп'ютером і блоком можна використовувати спеціальний інтерфейсний адаптер, або комунікаційний модуль.

Такі прилади одержали назву програмні сканери (рис.б.5). Вони фактично зрівняли можливості програмних та класичних апаратних сканерів. В результаті зараз при діагностиці двигунів сучасних автомобілів знаходять широке застосування обидва види цих приладів.

Тісний взаємозв'язок електронних систем автомобіля призвів до ще однієї властивості універсальності сканера – його здатності діагностувати не тільки двигун, а й інші електронні системи автомобіля.

Рисунок Б.5 – Типовий програмний сканер – це звичайний персональний комп'ютер, з відповідною програмою та інтерфейсним адаптером для підключення до діагностичного роз'єму автомобіля

Практика показує, що це можуть бути системи, що впливають на двигун та його електронне керування (наприклад, автоматична трансмісія). Тому поєднання в одному приладі можливостей комплексної діагностики з опитуванням всіх (або майже всіх) електронних систем автомобіля є надзвичайно корисною функцією не тільки для обслуговування та ремонту в експлуатації, але й для досліджень причин несправності. Це пов'язано не тільки з мінімізацією необхідних апаратних та програмних засобів, а і з мінімізацією часу на зчитування даних пам'яті блоків керування під час проведення досліджень причини несправностей двигуна.

Докладно список використаних під час дослідження сканерів наведено у розділі 6.1.

Б.2 Прості діагностичні прилади та обладнання

Незважаючи на вказаний прогрес у діагностичному обладнанні та електронній діагностиці, залишаються деякі операції, що потребують додаткових

приладів та обладнання. Зазвичай такі перевірки пов'язані із системами, що безпосередньо впливають на двигун, наприклад, акумуляторною батареєю, блоками керування енергоспоживання та ін.

Існує чимало досить простих та недорогих приладів, які є традиційними приладами діагностики [73], але за необхідності можуть бути застосовані й за дослідження причин несправності двигуна. При цьому практичне використання таких приладів є досить ефективним, оскільки дозволяє без помітних труднощів не тільки локалізувати місце та знайти саму несправність, а й допомогти встановити її причину.

Ці прилади досить докладно описані в різних джерелах, проте вони мають особливості застосування саме в практиці визначення причин несправності, які не завжди очевидні та вимагають пояснення.

У практиці досліджень відмов двигунів трапляються ситуації, коли немає можливості виконати електронну діагностику двигуна (розряджений акумулятор, стерті дані пам'яті блоку керування, заклинений двигун тощо). Однак існує широкий асортимент приладів та пристроїв, використовуючи які можна отримати необхідну діагностичну інформацію щодо двигуна, що досліджується. У деяких випадках саме така інформація дозволяє виявити несправність та визначити її причину.

Нерідкі також ситуації, коли базовий електронний діагностичний прилад вказує на порушення працездатності однієї із систем двигуна – наприклад, дані говорять про неправильне дозування палива. Щоб встановити причину відхилень від норми та локалізувати несправність, потрібно провести додаткові покрокові перевірки (проконтролювати роботу паливного насоса, форсунок тощо). Або такий приклад – діагностичний прилад показав помилку у роботі датчика. Але це ще не означає, що причина несправності в самому датчику, тому що необхідно з'ясувати, з чим насправді пов'язана ця помилка – з несправністю самого датчика, відсутністю живлення або пошкодженням електричного ланцюга [73, 103].

Для всіх таких випадків використовуються порівняно прості прилади. Зазвичай такі прилади в діагностиці заведено відносити до допоміжних, однак і в діагностиці, і в дослідженнях відмов їхня роль може бути помітно вища за допоміжні функції – велика кількість порівняно простих приладів існує і використовується для дослідження в областях, де інформативність основного діагностичного обладнання невисока або зовсім відсутня. Наприклад, діагностика стану механічної частини двигуна за допомогою електронних засобів не дозволяє з абсолютною достовірністю робити висновок про її справність/несправність або ступінь зношування. Саме тому не менш потрібні й інші прилади, що дозволяють підтвердити підозри про несправності, але іншими досить простими та дешевими методами.

Важливість того чи іншого виду допоміжного обладнання з точки зору процесу пошуку несправності двигуна визначається для кожного конкретного випадку. Трапляються ситуації, коли причину відмови можна встановити лише з використанням допоміжних приладів. Тоді нема потреби виконувати тотальне дослідження двигуна із застосуванням складного та/або дорогого обладнання. Достатньо провести один-два досить простих тести такими приладами, щоб підтвердити або спростувати ту чи іншу робочу гіпотезу. І це дає чималу економію коштів та часу в дослідженнях.

З іншого боку, слід зазначити, що з досліджень причин несправностей двигунів немає ні універсальних, ні ідеальних приладів, здатних вирішити будь-яке завдання. Навпаки, при проведенні дослідження можливості кожного приладу необхідно використовувати саме тоді, коли в цьому є необхідність і доцільність.

Хоча діагностика не замінює досліджень причин несправності, частина діагностичних приладів може бути застосована й в дослідженнях відмов. Друга, менш поширена частина приладів, навпаки, в дослідженнях несправних, а тим більше непрацездатних двигунів застосовується рідко та більше підходить для звичайних діагностичних робіт, які виконуються на дільницях діагностики СТО. Однак у будь-якому разі ті чи інші прилади застосовуються з високим ступенем

ефективності, якщо їх можливості та особливості застосування відомі та зрозумілі фахівцю.

Розглянемо зараз, які діагностичні прилади використовують у дослідженнях несправності двигуна та її систем.

Компресометр (рис.Б.6) – один із найпопулярніших і добре відомих більшості автофахівців приладів [102, 106, 245].

Цей прилад служить визначення максимального тиску (компресії) в циліндрі. Цей тиск заведено вимірювати при прокручуванні двигуна стартером, що дозволяє оцінити в цілому стан циліндро-поршневої групи та клапанного механізму. При вимірі компресії орієнтуються як на її величину, а й у швидкість наростання тиску, що у цілому також наочно показує прилад.

а б в

Рисунок Б.6 – Компресометр є один із найпоширеніших, простих та дешевих приладів у діагностиці: а – для бензинових двигунів; б – для дизельних двигунів; в – різновид компресометра – компресограф, має переваги у наочності уявлення результатів, але його ціна надто висока

При практичному використанні в дослідженнях моделі компресометрів із гнучким шлангом зручніше. Такий шланг дозволяє легко під'єднати прилад у двигунах різних конструкцій, якщо немає прямого доступу до отворів свічок [73].

У конструкції приладу є зворотний клапан, а також швидкознімні роз'єднувачі для зміни адаптерів при різному різьбі отворів свічок. Корпус

манометра зазвичай виконаний ударостійким зі спеціальної пластмаси або гуми. До точності манометра, і навіть до його повірки, високих вимог не пред'являється, оскільки важлива не абсолютна, а відносна величина відхилення компресії у різних циліндрах.

Для дослідження причин несправностей двигунів деякі переваги має різновид приладу – компресограф. Його призначення те саме, що й у компресометра, але результати вимірювань записуються – на папері чи спеціальних пластикових картках. Це дає можливість потім додати їх безпосередньо до звіту (висновки дослідження). Однак недоліки компресографа – висока ціна, зробили його застосування при дослідженнях причин несправностей рідкісним (у діагностиці зазвичай відзначають ще один недолік – труднощі оцінки динаміки наростання тиску при прокручуванні колінвала).

Тестер негерметичності надпоршневого простору (тестер витоків) допомагає локалізувати місце та вказати причину порушення герметичності камери згоряння (рис. Б.7). Принцип роботи приладу ґрунтується на подачі в камеру згоряння при положенні поршня ВМТ стисненого повітря. Тиск нагнітання регулюється за манометром.

Рисунок Б.7 – Тестер витоків з циліндра є дуже ефективним інструментом, але застосовується, головним чином, при діагностиці, а не при дослідженнях причин несправності

У разі негерметичності причина і характер витікання визначається по різниці тисків повітря довкілля і повітря, що подається в камері згоряння. За напрямку виходу стисненого повітря – у вихлопну або у впускну систему, а також й в отвір для масляного щупа, можливо локалізувати місце пошкодження [73, 204].

У комплект приладу входять редуктор для плавного регулювання тиску подачі повітря та адаптери для різних типів отворів свічок. Зазвичай, прилад має максимальний робочий тиск 0,6-0,8 МПа, що забезпечує достатню чутливість при роботі.

Серед корисних спеціалізованих діагностичних приладів для вимірювання тиску необхідно також відзначити манометри для вимірювання тиску оливи та палива (рис. Б.8).

а б

Рисунок Б.8 – Прилади для вимірювання тиску недорогі та у застосуванні досить ефективні, але в практиці досліджень причин несправності використовуються не часто: а – для вимірювання тиску оливи; б – для тиску палива

Комплект для вимірювання тиску палива – це інструмент, необхідний для дослідження гідравлічної частини агрегатів паливоподання всіх типів. Він

дозволяє перевірити працездатність регулятора тиску, фільтру, паливного насоса, клапанів різних типів та ін.

Універсальні та спеціалізовані комплекти випускаються за різної ціною, але зазвичай комплект з великою кількістю адаптерів більш універсальний, хоча помітно дорожче. Прилади даного типу відрізняються якістю швидкознімних з'єднувачів, а також наявністю запірних клапанів для приєднання манометра до різних магістралей під тиском без витікання палива.

Аналогічні особливості мають й комплекти вимірювання тиску оливи [204]. Такі прилади за допомогою набору з'єднувачів дозволяють увімкнути манометр до оливної системи та виміряти тиск оливи на різних режимах роботи двигуна. Досить ефективний при ряді несправностей системи охолодження та тестер витоків (рис.Б.9), принцип роботи якого ґрунтується на створенні та вимірюванні тиску в охолоджувальній системі. Однак слід зазначити, що незважаючи на порівняно хорошу наочність, у практиці досліджень причин несправності дані види приладів застосовуються рідко і відносяться більше до діагностичних, ніж до засобів для визначення причини відмови.

Рисунок Б.9 – Дуже ефективний прилад для діагностики – тестер для перевірки герметичності системи охолодження, але в дослідженнях причин несправності його застосування є рідкістю

Ендоскоп – одна з найбільш ефективних і водночас дорогих позицій з ряду простих інструментів і приладів, що розглядається (рис. Б.10). Причому це дуже важливий прилад навіть не так для діагностики, як для досліджень відмов двигунів.

Дійсно, ендоскоп дозволяє побачити практично всі типи пошкоджень циліндрів, включаючи знос, задираки, корозію, прогар клапанів, негерметичність ущільнень циліндрів і клапанів за слідами оливи та інших пошкоджень. Фактично ендоскоп – це єдиний засіб, який дозволяє без трудомісткого розбирання двигуна з хорошою достовірністю зробити висновок про місце і характер течі оливи в циліндр, зношування стінок циліндрів, величину нагару, пошкодження днища поршнів або поверхонь клапанів.

а б

Рисунок Б.10 – Відеоендоскопи: а – відеоендоскоп з гнучким зондом має широке поширення, б – прямий ендоскоп протягом багатьох років також залишається ефективним засобом для огляду циліндрів ДВЗ

Ендоскоп також успішно застосовують для обстеження двигуна і навісного обладнання у важкодоступних місцях, що використовується як при діагностиці, так і при проведенні досліджень причин несправності. Для цього сучасні ендоскопи забезпечуються різними корисними функціями, в тому числі здатністю зберігати зображення в електронному вигляді та передавати його на комп'ютер.

Очевидно, при дослідженні циліндра лише подивитися всередину недостатньо – ендоскопу необхідне також потужне джерело світла, здатне

забезпечити візуалізацію зображення навіть за умови сильного поглинання світла нагаром. Таке джерело в сучасних ендоскопах забезпечується потужним світлодіодним підсвічуванням. Крім того, для огляду поверхні циліндра та особливо клапанного механізму ендоскоп повинен забезпечувати кутовий огляд, що зазвичай досягається за допомогою різних кутових насадок. Інакше цінність отриманої інформації буде близька до нуля – основні зони пошкоджень у двигунах розташовані не на днищі поршня, тобто по осі отвори для свічки або форсунки, через які проводиться огляд, а на 90-180 градусів від цього напрямку.

Багаторічна практика досліджень пошкоджених двигунів показала, що найкращу якість зображення дає лінзовий ендоскоп (так званий бороскоп) із прямим зондом діаметром 6-8 мм. Прилади з гнучким оптоволоконним зондом (так звані відеоендоскопи), що отримали нині найбільше поширення внаслідок низької ціни, для практиці досліджень не надто зручні. У багатьох випадках, особливо при низькій ціні та низькій якості приладу, вони взагалі малопридатні через сильно спотворене зображення.

Один із головних недоліків більшості дешевих відеоендоскопів, які повністю не усунув навіть помітний прогрес в оптоволоконній техніці – недостатня світлосила гнучких зондів. Вона, як правило, набагато нижча, ніж у лінзових аналогів, а зображення має суто "піксельний" характер. Це не лише помітно знижує якість зображення дрібних деталей порожнини циліндра, а й серйозно заважає правильній інтерпретації такого зображення.

Саме тому гнучкі зонди більш ефективно використовувати дослідження закритих порожнин кузова, а чи не внутрішньої порожнини циліндра двигуна. Водночас у прямих ендоскопів, крім високої ціни, є інші серйозні недоліки. На деяких моделях автомобілів за допомогою такого ендоскопа неможливо зазирнути в циліндри двигуна через особливості розташування колодязів свічок. Крім того, недоліком деяких старих приладів прямого типу була відсутність можливості з'єднання з комп'ютером, що надзвичайно сильно обмежувало використання таких приладів у практиці досліджень причин несправності (для

висновків та звітів, як правило, необхідна функція збереження та передачі зображення на комп'ютер або фотокамеру).

Навіть порівняно прості типи ендоскопів, здатні давати картинку прийнятної для дослідження двигунів якості, досить дорогі та в дослідженнях несправностей двигунів застосовуються рідко. Навпаки, дешеві прилади східного походження не тільки не дозволяють отримати якісне зображення, але й мають малий термін служби (огляд циліндрів ДВЗ, особливо якщо прогрітий двигун не повністю охолонув, є для наконечника і самого зонда роботою у важких умовах).

Групі приладів контролю стану механічних систем двигуна належить порівняно недорогий, але іноді дуже корисний пристрій – технічний стетоскоп (рис. Б.11). Він призначений для виявлення сторонніх шумів та стукотів, які можуть бути ознаками ненормальної роботи механічних вузлів та систем двигуна.

Зараз існує дві групи стетоскопів – механічні та електронні.

Рисунок Б.11 – Простий механічний стетоскоп – найпростіший і досить ефективний прилад для прослуховування та локалізації різних шумів при діагностиці, але рідко застосовується в дослідженнях причин несправностей

Найбільш просто влаштовані механічні стетоскопи. Вони є вдосконаленими медичними стетоскопами. Основу такого приладу становить герметична акустична (звуковловлювальна) камера з еластичною мембраною. Принцип роботи приладу заснований на передачі звуку від мембрани камери безпосередньо у вушний канал і барабанні перетинки. Це досягається коштом герметичності камери та трубок при вставці їх у слуховий канал – коливання мембрани змушують коливати повітря в камері. Оскільки звук йде трубками, він не розсіюється і не втрачає енергію по дорозі від джерела звуку до вуха, що створює ефект посилення.

Автомобільний стетоскоп може комплектуватись двома типами робочого органу – металевим щупом (зондом) та/або рупором великого відносного подовження. За допомогою рупора зручно прослуховувати доступні поверхні агрегатів. Його також можна переставляти з місця на місце та вислуховувати шуми. Тонкий щуп дає можливість прослуховувати важкодоступні вузли та агрегати або конкретні деталі (наприклад, підшипники). Оскільки швидкість звуку в металах набагато вища, ніж у газах (повітрі), за допомогою металевого щупа можна впевнено та дуже точно визначати шуми різних складних механізмів.

Рисунок Б.12 – Різні види електронних стетоскопів – це серйозні прилади, але внаслідок дорожнечі вони практично не застосовуються у практиці пошуку причин несправності

Електронні стетоскопи (рис.Б.12) мають складніший пристрій. У них обов'язково передбачено звукоуловлювальний пристрій (зазвичай на основі п'єзоелектричного елемента), підсилювальний блок та навушники, проте застосовуються вони вкрай рідко.

Очевидно, інформація, одержувана за допомогою стетоскопа, має суто суб'єктивний характер, і її оцінка залежить головним чином від досвіду діагноста або дослідника. Загалом за наявності відповідного досвіду та практики застосування стетоскопа досить легко дозволяє встановити джерело сторонніх шумів. Проте дослідження таких шумів ДВЗ має не цілком зрозумілі нормативні та/або технічні підстави, оскільки шум вузлів та агрегатів автомобіля не нормується. Внаслідок зазначених причин ні дорогі електронні стетоскопи, ні дешеві механічні не знайшли помітного поширення в дослідній практиці причин несправностей.

При дослідженні причин несправностей всіх типів бензинових двигунів застосовуються інші типи простих діагностичних приладів. Наприклад, прилад для вимірювання розрідження, званий вакуумметром (рис. Б.13), або універсальний мановакуумметр, дозволяють вимірювати як тиск, так і розрідження.

Рисунок Б.13 – Вакуумметр для вимірювання розрідження в різних системах

У двигунах із дросельною заслінкою розрідження у впускному колекторі залежить від багатьох факторів. Аномальне розрідження зазвичай виникає при

порушенні згоряння палива і може вказати на наявність проблем у різних системах двигуна, в тому числі паливоподавання, сумішоутворення, газорозподілу (що пов'язано з несправністю або незадовільним станом пар клапанів та сідел), запалення, а також в механічній частині (внаслідок зносу деталей). Вакуумметр у цьому випадку не дозволяє локалізувати несправність, але вказує на її наявність чи відсутність у системі.

Крім вимірювання розрідження у впуску, вакуумметр використовується для контролю тиску в локальних точках інших систем: рециркуляції вихлопних газів, вентиляції картера. Також він може вимірювати невисокий надлишковий тиск, у тому числі тиск наддуву при дослідженні технічному стану та причин несправностей турбокомпресорів.

З корисних при пошуку причини несправності двигуна способів перевірок можна відзначити обробку підозрілих місць впускного колектора спеціальними спреями. Це робиться на двигуні з метою локалізації точок підсмоктування повітря за допомогою спреїв типу очищувача карбюратора або засоби для полегшення запуску двигуна. Засмоктування їх парів разом з повітрям у двигун викликає підвищення його оборотів, що і сигналізує про наявність місць негерметичності та підсмоктування повітря. Цей спосіб дешевий, хоча не завжди зручний у використанні. Альтернативні методи (з допомогою димогенераторів) в практиці пошуку причин несправностей мало зустрічаються.

Дуже функціональним приладом при проведенні різних видів несправностей електричних ланцюгів є мультиметр (рис.Б.14). Завдяки своїй універсальності цей прилад використовується як самостійний інструмент і як допоміжний інструмент електронної діагностики.

За допомогою мультиметра можна перевірити багато важливих параметрів бортової мережі, визначити обриви або замикання у проводці, перевірити роботу деяких датчиків та виконавчих механізмів, у тому числі в режимі руху.

Відомо, що для завдань діагностування який завжди підходять прості універсальні прилади. Незважаючи на зовнішню схожість, спеціалізовані автомобільні мультиметри мають низку відмінностей від аналогічних

універсальних приладів. Насамперед це наявність специфічних режимів: вимірювання частоти обертання колінчастого валу, тривалості, частоти та шпаруватості імпульсів (наприклад, тривалості упорскування палива).

Рисунок Б.14 – Автомобільний мультиметр – серйозний діагностичний прилад, проте його спеціалізовані функції у практиці пошуку причин несправності використовуються рідко

У деяких моделях використовуються спеціальні датчики для вимірювання температури, розрідження та тиску, а також струмів великої величини, наприклад, струм стартера в момент пуску двигуна та ін. Такі додаткові функції роблять прилад вузькоспеціалізованим та досить дорогим, обмежуючи його застосування окремими видами діагностики. Внаслідок цього для досліджень причин несправності таке обладнання практично не застосовується.

Існують інші прості прилади, які іноді знаходять застосування при обслуговуванні та ремонті двигунів. Однак їх використання в практиці досліджень причин несправностей двигунів зустрічається досить рідко і лише під час проведення спеціальних видів досліджень.

Якщо розглядати прилади даного типу, слід зазначити, що рідкість їх використання пов'язана з зазначеними вище відмінностями з метою та завданням діагностики та дослідження причин несправності двигунів. Цю різницю відбиває табл. Б.1 де зібрані всі описані вище типи приладів.

Таблиця Б.1 – Застосування простих діагностичних приладів та обладнання у дослідженні причин несправності двигунів

№ п/п	Тип приладу	Де застосовується	Як часто використовується
1	Компресометр	Вимір компресії	Часто
2	Компресограф	Те саме	Рідко
3	Тестер витоків із циліндра	Оцінка герметичності циліндрів	Рідко
4	Прилад для вимірювання тиску оливи	Перевірка системи мащення	Рідко
5	Прилад для вимірювання тиску палива	Перевірка паливної системи	Рідко
6	Тестер для перевірки герметичності системи охолодження	Перевірка системи охолодження	Рідко
7	Ендоскоп (відеоендоскоп, бороскоп)	Огляд циліндрів та прихованих порожнин	Часто
8	Відеоендоскоп	Те саме	Часто
9	Стетоскоп	Пошук джерела шуму	Дуже рідко
10	Мультиметр	Електричні параметри	Рідко
11	Термометр інфрачервоний	Температури поверхонь	Рідко
12	Вакуумний тестер (вакуумметр)	Вакуумування та перевірка розрідження у порожнин	Дуже рідко
13	Компресор електричний	Створення тиску	Дуже рідко

Б.3 Спеціальні технічні засоби, інструмент, прилади та обладнання для робіт з пошуку причин несправності

З цієї численної групи необхідно виділити кілька позицій, які часто застосовуються на практиці досліджень причин несправності двигунів. Це не лише прості засоби, а й складні та дорогі прилади. Багато хто з них входить до складу обладнання авторизованих дилерських центрів, цехів механічної обробки та дослідницьких лабораторій.

При дослідженні причин несправності двигуна у ряді випадків потрібні різні оптичні збільшувальні засоби. Серед них слід відзначити лупу та мікроскоп.

Збільшувальні лупи мають велику різноманітність видів та виконань, але найчастіше знаходять застосування 2 види недорогих луп – ручні та переглядові (складні). Інші види луп, у тому числі офісні, вимірювальні, біфокальні, зернові, вартові, текстильні, цифрові, з підсвічуванням тощо, застосовуються рідко.

Лупи діляться на 3 основних типи – малого збільшення (до 5), середнього (6-10) та великого (понад 10). Зазвичай, щоб розглянути дрібні сліди на деталях, застосовуються збільшувальні лупи середнього чи великого збільшення (останні називають також оптичними збільшувачами). Між збільшенням і розмірами є досить просте правило – що більше діаметр збільшувального скла, то менше збільшення. Наприклад, лупа з 20-кратним збільшенням матиме діаметр близько 12 мм, з 10-кратним – близько 18 мм, а 3-кратна лупа – 50-100 мм.

Мікроскопи (рис. Б.15) є ще одним ефективним засобом дослідження деяких процесів при виявленні причин несправностей двигунів – наприклад, для дослідження характеру зламу деталей, типу абразивного забруднення, зносу тощо.

а б в

Рисунок Б.15 – Деякі типи мікроскопів, які застосовуються для дослідження причин несправності двигунів: а – оптичний лабораторний; б – цифровий; в – з цифровим дисплеєм

Мікроскопи умовно діляться за призначенням – на шкільні (навчальні), лабораторні (медичні) та для прикладних робіт, за їх типом – біологічні, світлові (оптичні), цифрові (електронні) та стереоскопічні (інструментальні), за збільшенням – до 200х, 200х- 800х, 800х-1280х і більше 1200х, за типом насадки – бінокулярна, монокулярна та ін.

Для досліджень причин несправності важливо зафіксувати зображення з метою подальшого застосування його до звіту (висновків). Тому більшість випадків, коли виникає необхідність використовувати мікроскоп при дослідженні причин несправностей двигуна, показує, що середнього збільшення загалом достатньо для багатьох практичних завдань. У зв'язку з цим для дослідження пошкоджень у двигунах найбільш поширені лабораторні мікроскопи, зокрема цифрові, з можливістю підключення комп'ютера.

Ще дуже важливий прилад для різних видів досліджень у двигунах – це твердомір (рис. Б.16). Такий прилад зазвичай знаходить застосування в тих випадках, коли внаслідок ненормального зносу деталі є підозра на якусь невідповідність матеріалу та/або його хіміко-термічної обробки.

Твердоміри діляться на 2 основних типи – стаціонарні та переносні. Стаціонарні твердоміри – це дороге обладнання, переважно для спеціалізованих лабораторій, в той час, як деякі моделі переносних приладів доступні за ціною та забезпечують досить надійні експрес-результати вимірювання твердості матеріалів за основними шкалами твердості – Брінелля (HRB), Роквелла (HRC) та Віккерса (HV). Слід враховувати, що випадки, коли при дослідженні несправностей двигунів виникає потреба у вимірах даного типу, займають невелике місце в практиці (оскільки пов'язані з деякими досить рідкісними видами виробничих дефектів).

Порівняно рідко використовуються спеціалізовані установки для пошуку тріщин в деталях. Іноді вони знаходять застосування при дослідженні несправностей, пов'язаних з деякими виробничими дефектами, в тому числі ремонтними, а також з рядом експлуатаційних пошкоджень від перегріву двигуна, недостатньої подачі оливи та ін.

а **б** **в**

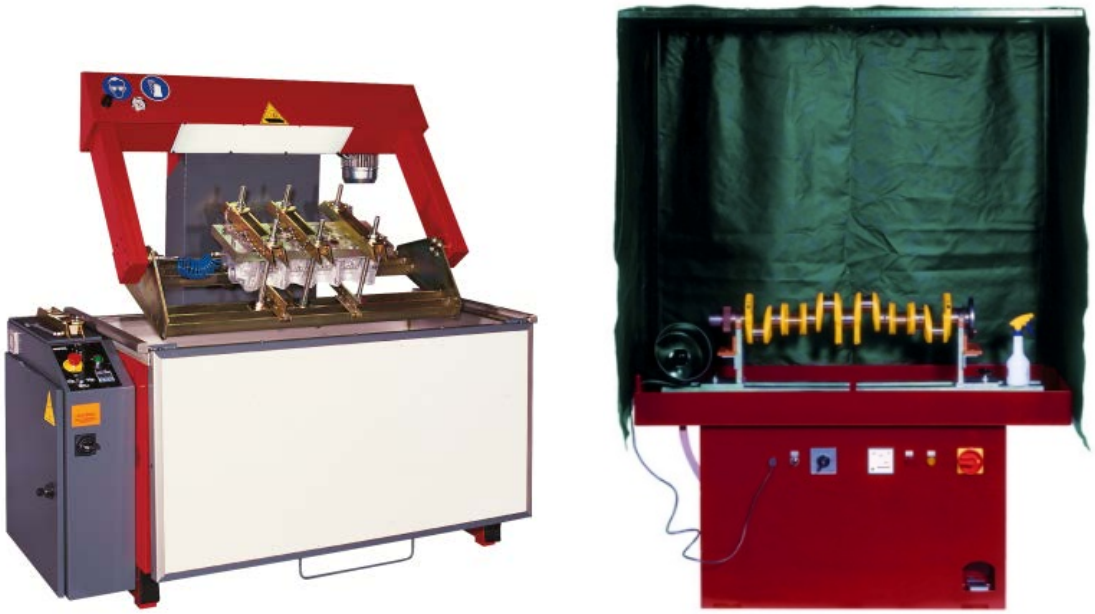
Рисунок Б.16 – Основні типи твердомірів: а – стаціонарний; б, в – переносні

До них, в першу чергу, відноситься установка для гідравлічних випробувань порожнистих деталей (опресувальна установка), у тому числі порожнин охолодження головок та блоків циліндрів (рис. Б.17 а).

Принцип дії цієї досить ефективної, але також і дорогої установки заснований на подачі у внутрішню порожнину деталі повітря під тиском. Далі деталь занурюється в нагріту воду для пошуку місця виходу бульбашок. Найбільш зручно у такий спосіб шукати тріщини в стінках камер згоряння головок циліндрів. Для цього до площини головки через гумові прокладки притискається товсте (20-30 мм) оглядове скло, через яке у воді видно бульбашки навіть від мікротріщин. Таким же способом можна перевіряти блоки циліндрів і теплообмінники, хоча не можна виключити застосування інших дешевих способів перевірки.

Для пошуку тріщин у магнітних деталях типу валів іноді (хоч досить рідко при реальних дослідженнях причин несправностей) знаходять застосування магнітні дефектоскопи (рис.Б.17б). Принцип дії цих пристроїв ґрунтується на прояві тріщин за допомогою спеціального магнітного порошку або рідини. Найбільшу наочність дає магнітно-люмінесцентний метод, коли на деталь наноситься флуоресцентна рідина з магнітними властивостями. Далі при

освітленні намагніченої деталі спеціальною ультрафіолетовою лампою проявляються тріщини. Деякі фірми-виробники обладнання для ремонту двигунів мають такі установки у своїй виробничій програмі. Іноді ними оснащуються спеціалізовані цехи з ремонту двигунів.



а б

Рисунок Б.17 – Обладнання для перевірки деталей на тріщини: а – установка для гідравлічних випробувань порожнистих деталей; б – магнітний дефектоскоп для пошуку тріщин у магнітних деталях

При дослідженні причин несправностей бензинових двигунах часто застосовують установки для перевірки форсунок (рис. Б.18). Використання цього обладнання особливо доцільно у випадках, коли є підозра на причинно-наслідковий зв'язок між ознаками несправності двигуна, його систем і станом паливних форсунок.

Обладнання даного типу випускається у стаціонарному та настільному виконаннях. Воно забезпечує перевірку герметичності та продуктивності форсунок за різними програмами, що задаються оператором, хоча на практиці використовується також й для очищення форсунок від відкладень. Даний тип обладнання належати до базового оснащення СТО, тому при необхідності

проведення перевірок, як правило, цілком достатньо скористатися установкою на місці проведення досліджень двигуна.

а б

Рисунок Б.18 – Установки для перевірки форсунок бензинових двигунів:
а – настільна; б – стаціонарна

Перевірити працездатність форсунок високого тиску сучасних бензинових двигунів із безпосереднім упорскуванням палива такі установки нездатні. Крім цього, знайти СТО, де є дороге спеціалізоване обладнання для перевірки бензинових форсунок високого тиску, надзвичайно важко, навіть практично неможливо. Це необхідно враховувати, коли при дослідженні двигунів з безпосереднім упорскуванням виникає потреба у перевірках такого роду.

Спеціальні установки для перевірки форсунок та насосів дизельних двигунів (рис.Б.19), навпаки, є досить поширеним видом обладнання. Навіть для сучасних систем упорскування типу Common Rail з їх надвисокими тисками, що досягають 160-200 МПа, велика кількість виробників випускає таке обладнання.

Це ефективний засіб діагностики технічного стану паливних систем дизелів. Поширені в минулому недорогі ручні насоси для перевірки форсунок тисками до 60 МПа нині втратили значення через надзвичайно високі робочі тиски сучасних паливних систем.

Сучасні стенди можуть перевіряти роботу форсунок, насосів високого тиску, вбудованих у їх конструкцію датчиків та інших елементів системи. Це досить складна і дорога техніка, яка зазвичай використовується тільки на спеціалізованих СТО. Однак без перевірки елементів та вузлів паливної апаратури причини деяких несправностей дизельних двигунів, спричинених неправильною роботою паливної апаратури, виявити складно.

а б

Рисунок Б.19 – Стенди для перевірки дизельної апаратури: а – форсунок; б – паливних насосів високого тиску (ПНВТ)

До зазначених вище приладів, установок та обладнання слід додати й інші універсальні та спеціальні позиції, які в окремих випадках застосовуються при окремих видах досліджень причин несправностей двигунів.

До універсальних можна віднести досить ефективні для деяких рідкісних видів перевірок осцилографи, а до спеціальних – не менш рідкісні в

дослідженнях причин несправностей газоаналізатори та димоміри, що належать до діагностичних приладів. Крім них, слід зазначити особливе місце, яке займають дослідження фізичних властивостей та хімічного складу матеріалів, палив, оливи тощо, у тому числі аналізатори спектра для визначення хімічного складу матеріалів. Однак обладнання для визначення таких властивостей матеріалів і робочих рідин має велику складність, високу вартість і вимагає спеціальної підготовки фахівців для роботи на ньому. Тому при дослідженні причин несправностей у двигунах таке обладнання використовується лише в рамках робіт на замовлення у спеціалізованих хімічних лабораторіях.

Б.4 Вимірювальний інструмент для дослідження пошкоджень

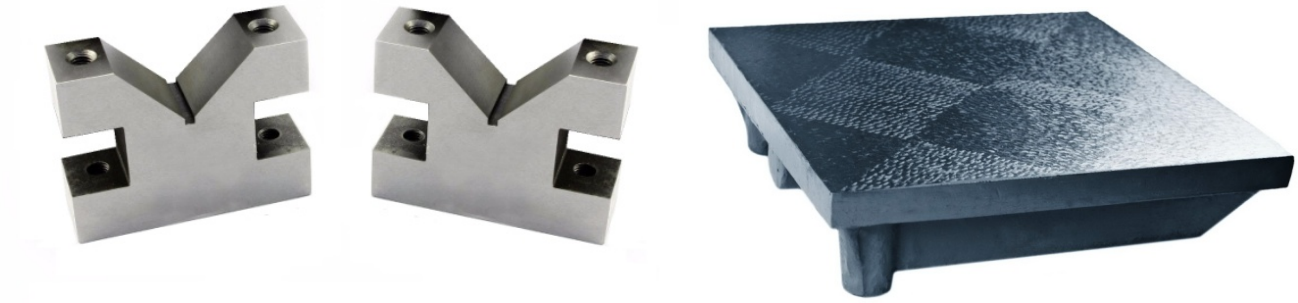
Вимірювальний інструмент в дослідженні пошкоджень дозволяє вирішити дві задачі – визначити розміри деталей та характер їх сполучення (зазор, натяг), а також оцінити знос шляхом визначення форми та розташування поверхонь. При цьому важливо визначити відхилення розмірів та форми деталей від заданих виробником, а за відсутності таких даних – від загальновідомого та описаного у відповідних джерелах [102] рівня.

Визначення відхилень форми та розташування поверхонь з достатньою для більшості практичних завдань точністю виконується за допомогою відповідного вимірювального інструменту. Наприклад, для биття поверхонь валів це індикаторна стійка (рис.Б.20) із призмами та перевірчою плитою (рис.Б.21).

Мікрометри є основними приладами мікрометрування деталей двигунів (рис.Б.22). Ці прилади мають ряд діапазонів вимірів 0-25 мм, 25-50 мм, 50-75 мм, 75-100 мм, 100-125 мм і т.д. У нутромірів діапазони дещо інші – наприклад, 6-10 мм, 10-18 мм, 18-50 мм, 50-100 мм (рис.Б.23).

а с

Рисунок Б.20 – Магнітні індикаторні стійки для перевірки биття та люфтів валів, які вкрай необхідні в ремонті, але в практиці дослідження причин пошкоджень залишаються досить рідкісною позицією: а – тип МС, б – тип ШМ, SMG



а б

Рисунок Б.21 – Набір для встановлення валів на перевірку деформації та биття (для ремонту двигунів цей набір є обов'язковий, але при дослідженні причин несправності двигунів застосовується досить рідко). Він складається з:
а – перевірчих призм П2; б – перевірчої плити

а б

Рисунок Б.22 – Мікрометри – один із головних інструментів в дослідженнях пошкоджень при вимірюванні деталей типу валів: а – МК25, б – МК100

а б

Рисунок Б.23 – Нутроміри складають пару з мікрометрами та служать для точного вимірювання розмірів отворів та величини зазорів, причому без цих порівняно недорогих приладів визначити технічний стан двигуна неможливо: а – НИ 18-50, б – НИ 50-100

а б

Рисунок Б.24 – Плоскопаралельні заходи довжини (плитки Йогансона) – надзвичайно точний, хоча дорогий інструмент, що дозволяє не тільки налаштовувати всі вимірювальні прилади, а й безпосередньо вимірювати деякі деталі, наприклад, ширину (висоту) канавки кільця на поршнях: а – набір №1, б – набір №3

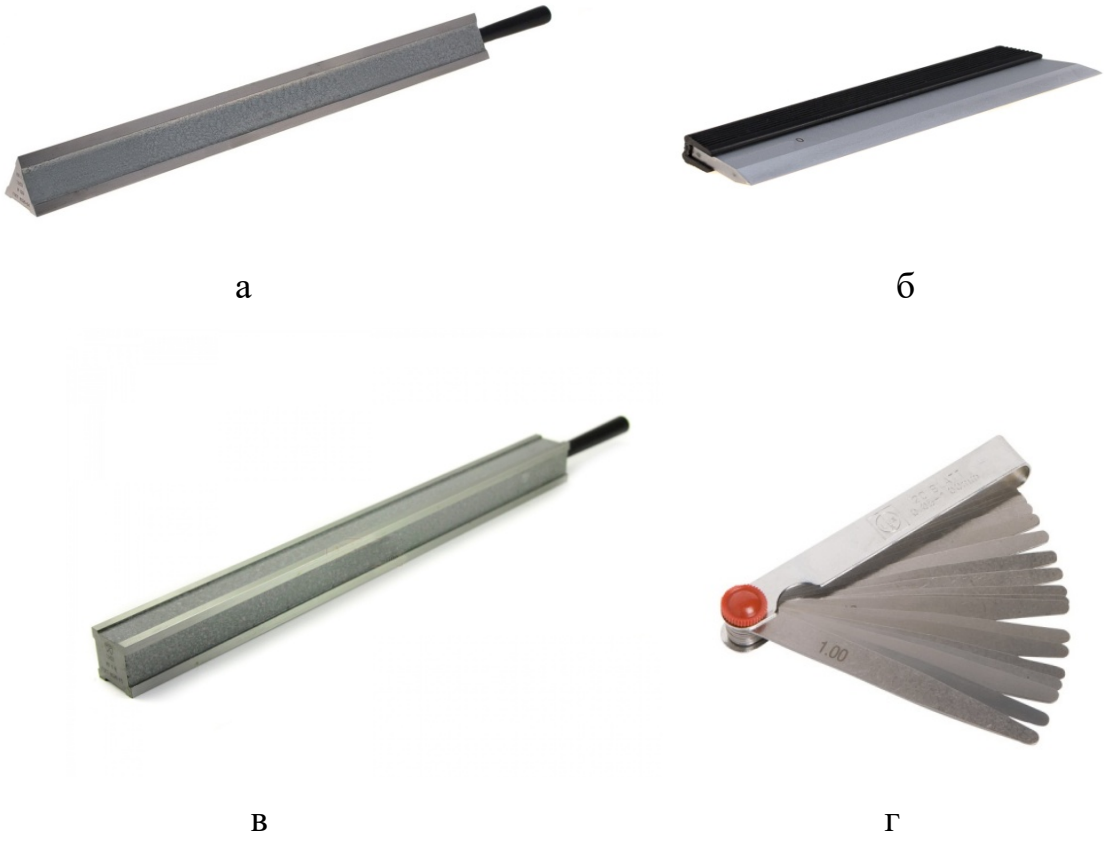
Поєднання зазначених приладів у просту вимірювальну систему типу «нутромір-мікрометр» дозволяє безпосередньо вимірювати зазор або натяг у з'єднанні деталей. Тобто можна отримувати не абсолютний, а відносний розмір, для якого вища точність кожного приладу не надто важлива. Вал за такого способу вимірюється мікрометром, попередньо налаштованим по плоскопаралельним заходам довжини (рис.б.24). При цьому нутромір налаштовується мікрометром на той же розмір, і далі з його допомогою вимірюється діаметр отвору щодо валу, тобто відносна величина зазору.

Вважають, що нутромір не можна налаштовувати по мікрометру – це можна робити тільки за спеціальним кільцем-калібром. Дійсно, калібр дозволяє виключити, головним чином, похибку вимірювання абсолютного розміру від зносу ніжки нутроміра (її контакт з циліндричною поверхнею кільця і плоскою поверхнею мікрометра дає кілька різних результатів). Але для відносних вимірів це не потрібно і не має значення. Більш того, як тільки починаються вимірювання абсолютних розмірів, відразу виключається відносний вимір зазору, і для мікрометра також знадобиться калібр. В результаті можна легко прийти до описаної вище помилки, що набагато перевищує всі можливі похибки налаштування нутроміра по мікрометру.

Одні з найпоширеніших засобів щодо технічного стану двигунів – лекальна лінійка і набір плоских щупів (рис.Б.25). Такий комплект використовується для перевірки та вимірювання деформації (відхилення від площинності) площин та робочих поверхонь головок та блоків циліндрів.

Лекальні лінійки, що застосовуються, можуть бути різної форми – плоскі, трикутні та 4-вугільні, бажано з довжиною не менше 400 мм (інакше виміряна деформація у довгих деталей буде завжди меншою за дійсну).

До плоских щупів особливих вимог не пред'являється, це дуже корисний інструмент для вимірювання багатьох плоских деталей та зазорів між ними.



а б

в г

Рисунок Б.25 – Засоби для вимірювання деформації площин: а – лекальна лінійка тип ЛТ; б – тип ЛД; в – тип ЛЧ; г – набір плоских щупів

Наприклад, замки поршневих кілець, зазори між кільцями та канавками на поршні, зазори в завзятих підшипниках та багато інших найбільш просто та зручно виміряти саме таким інструментом.

Те саме можна сказати також про набори радіусних шаблонів (рис.Б.26) – цей простий інструмент дуже корисний у разі втомного руйнування колінчастого валу після ремонту. Він дозволяє легко і швидко виміряти радіус галтелі між шийкою і щокою, а саме там зазвичай і лежить причина втомного руйнування.

При вимірюваннях деяких деталей двигунів у деяких випадках знаходять застосування і більш рідкісні прилади (рис.Б.27) – штангенглибиномір для вимірювання глибини та штангенрейсмас для висоти. Наприклад, перший зручно застосувати для вимірювань розташування різних слідів у циліндрі.

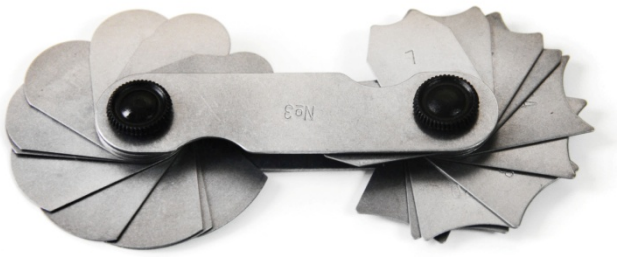
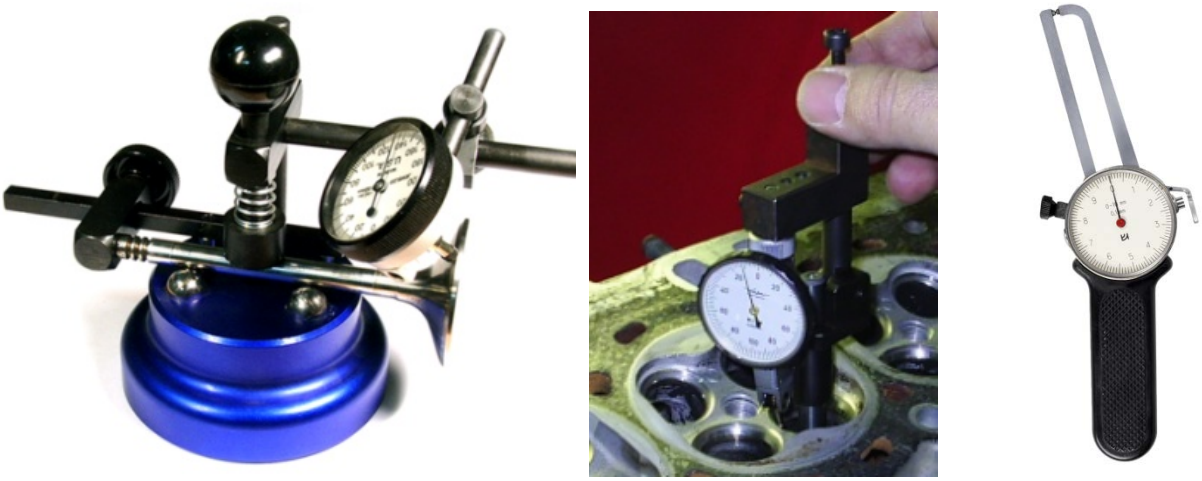


Рисунок Б.26 – Радіусомір (набір радіусних шаблонів) – дуже простий, але ефективний інструмент для вимірювання радіусів галтелів

а б в



г д е

Рисунок Б.27 – Спеціальні ремонтні прилади, які рідко використовуються в практиці дослідження пошкоджень: а – штангенрейсмас ШРЦ для точного вимірювання висоти деталей; б – штангенглибиномір ШГ для визначення глибини; в – індикаторний глибиномір ГІ; г – індикаторний прилад для контролю деформації клапанів VCG-M; д – прилад для контролю биття сідла щодо напрямної втулки Serdi 005067, е – індикаторний стінкомір С-10

Для деяких видів досліджень знаходять застосування і спеціальні прилади, як, наприклад, індикаторний глибиномір, який зручніше при контролі виступання клапанів в головках блоку циліндрів і поршнів над площиною блоку. У ремонтних майстернях зустрічаються також індикаторні прилади для вимірювання биття робочої фаски клапанів та сідел. Однак, слід зазначити, що ці прилади більш потрібні для ремонту деталей, ніж для дослідження їх технічного стану. Однак вони можуть бути корисними при дослідженні причин несправностей двигунів після ремонту.

Справді, у таких дослідженнях іноді потрібні ще рідкісні вимірювальні прилади. Наприклад, при дослідженні якості ремонту може знадобитися виміряти товщину стінок або їх різниця за окружністю циліндра (різностіность), для чого використовується індикаторний товщиномір (рис.Б.27). Крім того, для ряду спеціальних досліджень можуть застосовуватися прилади, що входять до комплекту верстатного обладнання, наприклад, індикаторні центрошукачі розточувальних та шліфувальних верстатів і т.д. Однак такі види досліджень є надзвичайно рідкісними.

Усі вимірювальні інструменти, що були використані в даній роботі, включаючи їх типи та заводські номери, наведені в розділі 6.1.

ДОДАТОК В – ТЕХНОЛОГІЯ КОНТРОЛЮ РОЗМІРІВ, ФОРМИ, ВЗАЄМНОГО ПОЛОЖЕННЯ ПОВЕРХОНЬ І МАТЕРІАЛУ ДЕТАЛЕЙ

Виконання розбирання двигуна під час проведення досліджень причин несправності двигуна зазвичай обмежується лише дослідженням зовнішнього вигляду деталей – розміри та форма деталей також можуть дати досить велику інформацію у тому, чому виникла та чи інша несправність. Внаслідок цього починати розбирання бажано лише у випадку, якщо є відповідний інструмент вимірювання розмірів деталей. Це не означає, що виміри будуть потрібні в будь-якому випадку (іноді для визначення причини несправності цілком достатньо бачити характер пошкоджень і руйнувань), але якщо вони будуть потрібні, то принаймні їх можна буде зробити.

Необхідно також зазначити, що потреба у вимірах найчастіше виникає щодо несправностей старих двигунів. Наприклад, особлива увага до розмірів потрібна у разі розбирання двигуна для пошуку несправності після ремонту. Тому навіть контроль на відповідність вкладишів шийкам колінвала (якого вони ремонтного розміру) і підшипників (за встановлених у них вкладишів) не є зайвим. Відомо чимало випадків, коли помилка, яка допущена під час збирання, виявлялася лише під час дослідження причини несправності після ремонту.

Характерно, що з нових (гарантійних) двигунів зазвичай проведення вимірів мало що дає і потрібно порівняно рідко. Це означає, що при дослідженні нових двигунів для встановлення причини, не виключено, можна обійтися без дорогого комплекту вимірювального інструменту. Водночас спроба проведення дослідження старого двигуна без інструмента, швидше за все, буде свідчити про недостатню підготовку до дослідження.

При виконанні вимірювань розібраного двигуна (або в процесі його розбирання) нема потреби дотримуватися суворого порядку виконання робіт. Однак важливо, щоб перевірялися сполучені деталі – наприклад, поршень-циліндр, циліндр-поршневе кільце і т.д. У певному сенсі контроль розмірів деталей при дослідженні розібраного несправного двигуна схожий на такий же

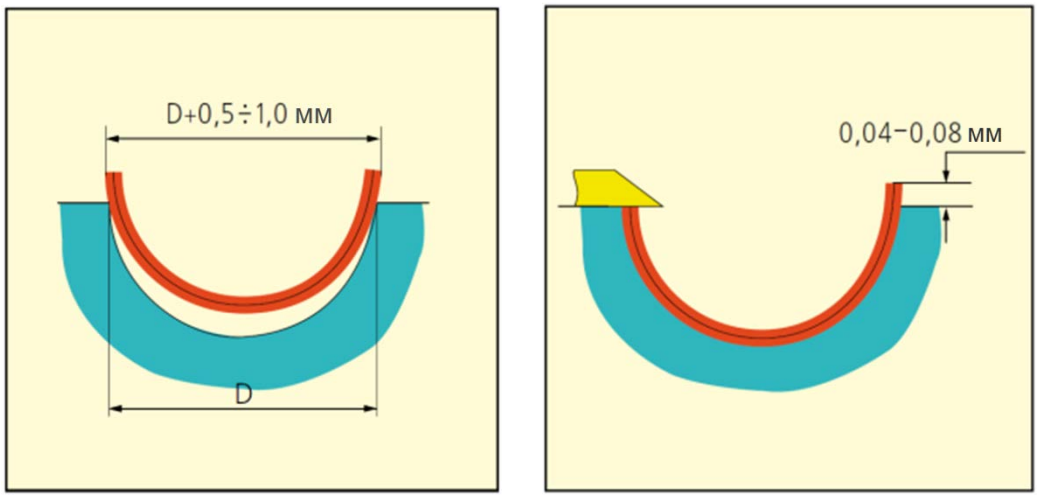
контроль при складанні двигуна під час ремонту, але дослідження пошкоджень має низку особливостей. Наприклад, при професійному складанні двигуна контроль має бути тотальний, за всіма розмірами та параметрами деталей. При дослідженні причин несправності має сенс контролювати ті розміри та параметри деталей, які можуть мати причинно-наслідковий зв'язок з ознаками несправності. Це деталі всередині двигуна (пошкоджені деталі) та зовні (коди несправності в блоці управління, дані щодо відхилень у роботі двигуна і т.д.).

Обсяг вимірів, тобто що і як міряти, необхідно визначати в кожному конкретному випадку, виходячи з ознак несправності. Нижче наведено загальний процес виробництва більшості вимірювань, які можуть знадобитися, однак це не означає, що всі вони повинні бути виконані при конкретному дослідженні.

В.1 Вкладиші підшипників колінчастого валу

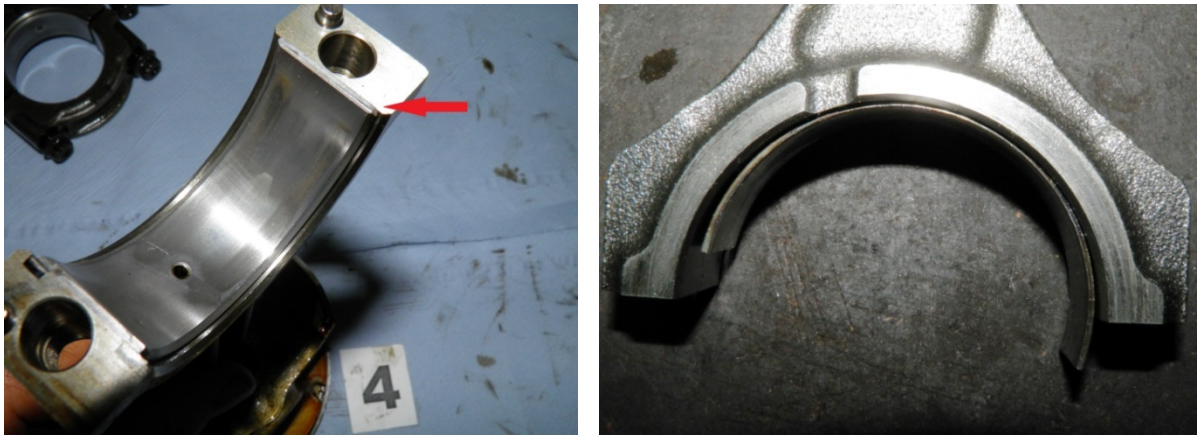
Посадка вкладиша в отворі підшипника є важливим параметром, що визначає працездатність колінвала та двигуна загалом. Тому посадка контролюється у всіх випадках, коли є підозра, що підшипники зазнали тих чи інших ушкоджень (рис. В.1). Основні вимоги: вкладиш повинен мати необхідне розпрямлення (різниця між розміром вкладиша по роз'єму та діаметром отвору підшипника) та виступання (різниця довжин вкладиша та півокружності отвору підшипника), а його зовнішня поверхня не повинна мати слідів провертання в отворі.

Розпрямлення говорить про щільне прилягання вкладиша до поверхні отвору, а виступання гарантує натяг вкладиша після затягування болтів кришки підшипника. Це дає щільний контакт вкладиша (в першу чергу тепловий) з отвором та правильну геометрію підшипника (рис.В.2).

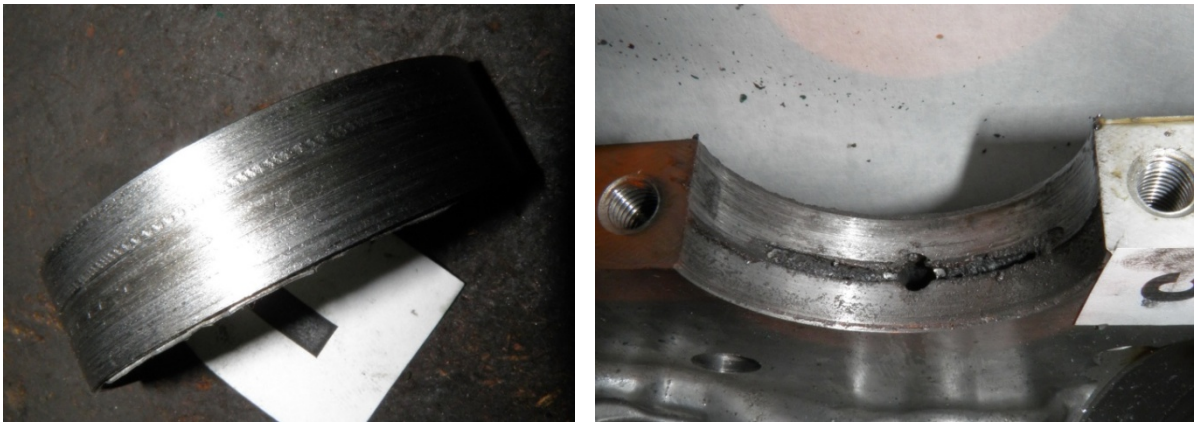


а б

Рисунок В.1 – Схема контролю вкладиша: а – розпрямлення; б – виступання



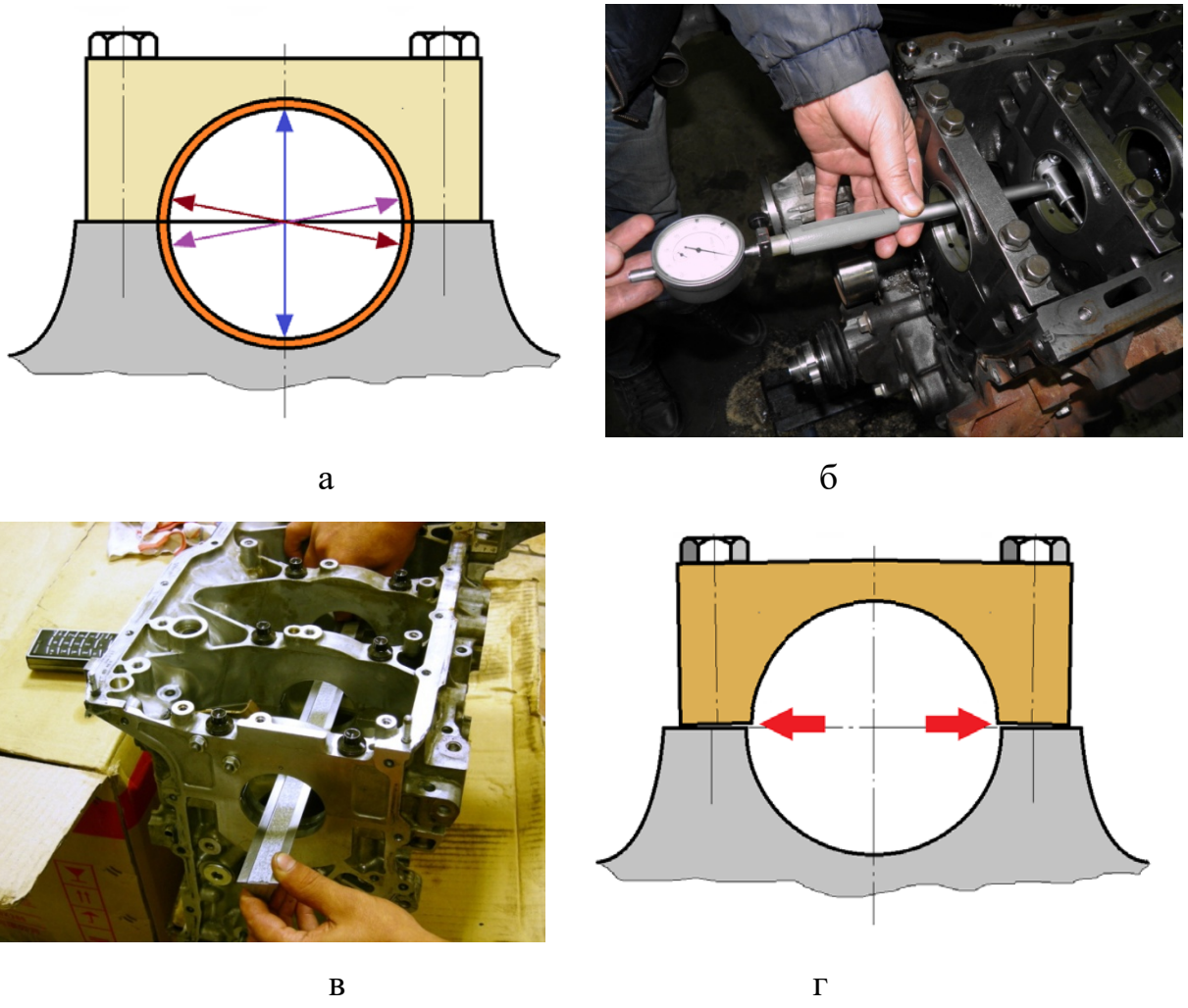
а б



в г

Рисунок В.2 – Особливості перевірки вкладиша: а - зазвичай розпрямлення (і виступання) вкладиша можна перевірити просто після його посадки в отворі; б – перегрітий вкладиш, деформований на менший радіус, видно неозброєним оком; в – як правило, такий вкладиш має сліди провертання в отворі підшипника; г – отвір пошкоджено до неможливості вимірів

Якщо отвори підшипників не мають слідів провертання вкладиша, то вони контролюються за допомогою нутроміра, для чого після затягування кришок робочим моментом вимірюються в 3-х площинах (рис.В.3) – два виміри (А та В) проводяться на кутовій відстані 10-20^0 від площини роз'єму, а третє (С) перпендикулярно їй.



а б в г

Рисунок В.3 – Контроль стану підшипників: а - вимірювання діаметра підшипника проводиться у 3-х площинах; б – використання нутроміру при вимірі; в – наближене визначення співвісності підшипників виконується за допомогою лекальної лінійки; г – при деформації кришки від перегріву отвір при вимірюванні виявляється еліпсним, витягнутим по вертикалі, з характерними "сходинками" на роз'ємі

Далі знаходиться середнє значення (А+В)/2 і порівнюється з величиною С. Різниця показує неокруглість отвору. Зазвичай допустима некруглість не більше ніж 0,015-0,025 мм, причому допускається деяке збільшення розміру тільки у роз'єму кришки підшипника – вимірювання А і В. Якщо ці розміри менші за С, то отвір, швидше за все, перегрітий і деформований.

Аналогічним чином контролюється отвір підшипника із встановленими вкладишами. Це вимірювання іноді використовується для точного визначення зазору між внутрішньою поверхнею отвору і шийкою валу (зазор повинен становити в середньому 0,03-0,07 мм).

На додаток до цього, у деяких випадках, коли пошкоджені корінні вкладиші, слід проконтролювати неспіввісність підшипників у блоці, величина якої не повинна перевищувати 0,02 мм для отворів сусідніх. Найпростіший, але досить грубий спосіб – за допомогою лекальної лінійки, покладеної на 3 сусідні опори. Точніші способи (наприклад, за допомогою вивіряння на спеціальному верстаті для розточування отворів підшипників) застосовуються рідко і пов'язані з великим часом і вартістю вимірювань.

Отвори підшипників колінчастого валу в блоці найчастіше ушкоджуються внаслідок нестачі змащення та наступного за ним перегріву. У таких випадках часто вкладиші провертаються в отворі та задирають його поверхню. Але, навіть якщо провертання не трапилося, ознаки деформації при перегріві вкладишів можна знайти – перегріті корінні кришки блоку, як правило, стискаються по площині роз'єму з блоком так, що отвір стає еліпсним з великою віссю еліпса у вертикальному напрямку (рис.В.3г), причому ця еліпсність досягає 0,1 мм і більше за норми не вище ніж 0,02 мм.

Деформація у вигляді "розтягування" отвору підшипника у вертикальному напрямку відбувається з одночасним стиском його в площині роз'єму. Це є головною ознакою експлуатаційного пошкодження при перегріві та дії навантаження. Водночас, "розтягування" отвору в перпендикулярному напрямку, тобто вздовж площини роз'єму, в експлуатації неможливе, оскільки немає сил, які могли б створити таку деформацію. Однак у дослідженнях збільшений розмір

отвору вздовж площини роз'єму кришок, проте, зустрічається. У разі він викликаний виробничими причинами, переважно, недостатньою затяжкою кришки перед остаточною обробкою отвори. При виявленні такого відхилення у дослідженні слід дотримуватись правил – будь-яке відхилення від регламентованих розмірів лише тоді стає причиною несправності, коли є відповідні ознаки. У разі, якщо пошкодження вкладишів і шийок колінчастого валу відсутні, деякі відхилення розмірів у бік збільшення в неробочій зоні підшипника, тобто поперек чинних навантажень (біля роз'єму кришки), можуть бути допустимі.

В.2 Колінчастий вал

Контроль колінчастого валу не менш важливий, ніж контроль підшипників. Обов'язкова операція щодо колінчастого валу – вимір геометрії самого валу і розмірів шийок (рис.В.4). Кожну шийку валу вимірюють мікрометром у кількох площинах, щоб визначити діаметр, знос та можливі відхилення від циліндричності (в середньому не більше 0,005 мм).

Потім вал встановлюється на призми та за допомогою індикатора перевіряється биття корінних шийок та допоміжних поверхонь (максимально допустиме биття для різних валів коливається від 0,02 мм до 0,08 мм). Якщо вал має значну деформацію, це може свідчити про його пошкодження. Причому найпоширеніша причина – це локальний перегрів будь-якого підшипника, що досить легко встановлюється за станом вкладишів та кольором поверхні шийки.

Ще один дуже важливий параметр – непаралельність шатунних та корінних шийок. Від цього залежить надійність та довговічність шатунних підшипників. Непаралельність шийок легко може бути створена під час ремонту шляхом неякісного шліфування валу на старому шліфувальному верстаті.

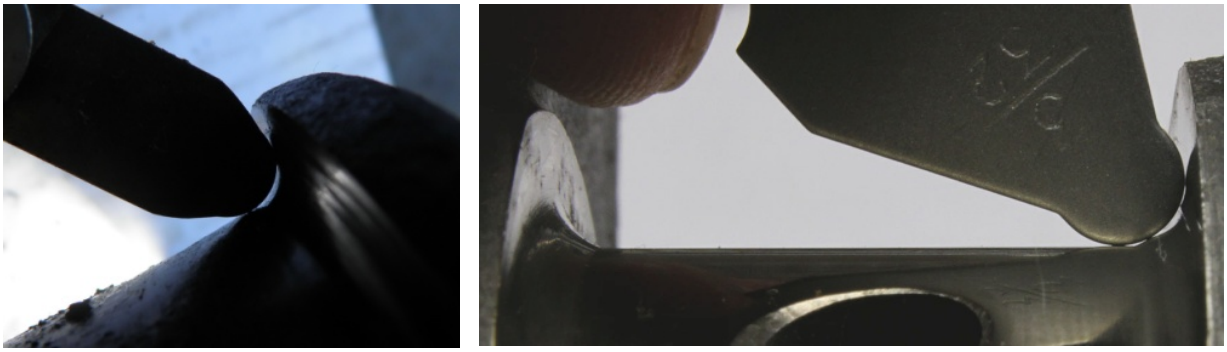
Іноді, коли причина виходу вкладишів підшипників колінчастого валу з ладу не очевидна, таке вимірювання міг би принести користь. Непаралельність шийок повинна задаватися технологією виробництва (ремонту) та

контролюватись безпосередньо при шліфуванні валу. В результаті цей параметр фактично не може бути проконтрольований, тому що виміряти непаралельність простими приладами практично неможливо.

а б

Рисунок В.4 – Контроль колінвалу, у тому числі: а – діаметра шийок мікрометром; б – биття шийок за допомогою призм та індикаторної стійки

Нарешті, завершальна перевірка стану, в тому числі якості ремонту колінвала – це вимірювання радіусів галтелей. Багато шліфувальників нехтують вимогами, які виробники пред'являють до галтелей. Як результат, відомо чимало випадків втомного руйнування валів із сильно «підрізаними» при шліфуванні галтелями.



а б

Рисунок В.5 – Вимірювання радіуса галтелі шийки колінвала шаблонами радіусомера допомогає знайти: а – невідповідність радіуса вимогам документації; б – неправильну форма галтелі після шліфування

Вимірювання радіуса проводиться за допомогою радіусомера "на просвіт", що дозволяє побачити відхилення від радіуса, заданого виробником (рис.В.5). Деякі виробники не дають у своїх ремонтних посібниках радіуса галтелей. Тоді можна приблизно приймати радіус за загальновідомими даними, наприклад, 1,5-2,0 мм для бензинових двигунів і 2,5-3,5 мм для дизелів, причому чим більше діаметр шийки, тим більше повинен бути радіус.

При неякісному шліфуванні галтелі можуть виявитися підрізаними так, що будуть розділені на 2 ділянки – "стару" і "нову" галтелі (фактично така "подвійна" галтель має "подвійний" радіус). Тоді у поєднанні галтелей виникає характерний ступінь, який є концентратором напружень. Надалі подібні дефекти можуть стати причиною втомного руйнування колінвала.

Крім малого або подвійного радіуса, руйнування валу по галтелі може викликати і груба поверхня галтелі. У загальному випадку галтель повинна мати таку ж шорсткість, як і поверхню шийки. Однак, навіть якщо виробник автомобіля дає у своєму керівництві вимоги до шліфування колінчастого валу, знайти конкретні цифри шорсткості та/або вимоги до поверхні галтелей навряд чи вдасться. У зв'язку з цим у ремонті часто не роблять операції полірування галтелей. В результаті ризик появи втомної тріщини після нетривалої експлуатації помітно зростає, що слід враховувати в дослідженні пошкоджень.

В.3 Блок циліндрів

Для перевірки стану циліндрів контролюються їх геометричні розміри. Це діаметр циліндра у трьох поясах (верхній, середній та нижній частині циліндрів), причому у двох напрямках – поздовжньому (вздовж осі колінвала) та поперечному. Вимірювання проводяться з допомогою нутроміра (рис.В.6). Для циліндра, що нормально працював раніше, всі зносі та деформації в нормальному робочому стані, включаючи будь-які відхилення форми, повинні укладатися в 0,02-0,05 мм в залежності від величини діаметра циліндра. Однак

для того, щоб зробити висновок про дійсний стан циліндрів, слід керуватися в першу чергу нормативно-технічною документацією виробника автомобіля.

Перераховані вище пошкодження та дефекти можна назвати явними – переважну більшість з них можна заміряти за допомогою приладів. Іноді відхилення можна побачити неозброєним оком або навіть просто помацати рукою (зазвичай це називають органолептичним методом). Однак у деяких випадках треба враховувати, що несправність двигуна могла виникнути й з пов'язаної з блоком циліндрів, але "неявної" причини, що має прихований характер.

Наприклад, особливі перевірки потрібні для блоків циліндрів з гільзами, якщо є підозра на неякісне встановлення таких гільз. Наприклад, верхня площина буртика гільз повинна виступати над площиною блоку на 0,05-0,1 мм для мокрих і 0 мм для сухих гільз.

Рисунок В.6 – Вимірювання діаметра циліндра нутроміром є однією з найголовніших операцій, що дозволяють отримати дані про стан двигуна

Крім того, опорні поверхні буртика на гільзі та виточення під буртик у блоці повинні бути плоскопаралельні. Фаска на краю виточки має бути більшою, ніж радіус переходу від буртика до циліндричної частини на гільзі. Аналогічно радіус закруглення виточки має бути меншим за фаску на краю буртика гільзи. В іншому випадку гільза при затягуванні болтів ГБЦ може тріснути.

Перевірки таких параметрів, очевидно, необхідно проводити лише у разі наявності явних ознак відхилень – наприклад, у разі виявлення тріщин чи руйнації гільзи. Для цього будуть потрібні не лише спеціальні вимірювальні прилади, зокрема індикаторний глибиномір, а й спеціальна література з технології гільзування блоків.

Однією з причин різних несправностей може бути деформація самого блоку, коли викривляються як циліндри, а й інші робочі поверхні блоку. Після лиття на стадії виготовлення блоку (або, наприклад, після зварювання дефектної ділянки блоку в ремонті) у ньому завжди залишаються внутрішні напруження. Згодом це призводить до деформацій, уникнути яких допомагає натуральне та/або штучне старіння – нагрівання та витримка блоку в печі за певної температури. Тільки після цього блок можна механічно обробляти – фрезерувати площини, розточувати циліндри та підшипники колінчастого валу. Але виключити деформацію в експлуатації технологічними засобами на стадії виробництва важко. Справді, під час роботи двигуна блок нагрівається нерівномірно, навантажується змінними силами, і навіть відчуває численні цикли нагрівання-охолодження. Як наслідок, блок циліндрів поступово жолобиться вже на автомобілі, тобто продовжується так зване натуральне старіння.

У результаті деформуються площини, включаючи площину під головку, циліндри, порушується співвісність корінних опор колінчастого валу. Викривленням опор більше страждають алюмінієві блоки циліндрів рядних багатоциліндрових двигунів з числом циліндрів 5-6. Коротші блоки циліндрів теж можуть деформуватися, особливо V-подібні. Це можливо, якщо при ремонті

багатоциліндровий блок з великим натягом встановлені позаштатні "сухі" гільзи, що розтягують його у верхній частині.

Стан блоку може бути оцінений приблизно по поздовжній деформації його верхньої площини, проте має значення і локальна деформація на площині, включаючи поперечну, в тому числі від перегріву. Такий контроль із достатньою для практики точністю здійснюється за допомогою лекальної лінійки та набору щупів (рис.В.7).

Деяку величину деформації площини (в межах 0,05-0,07 мм) можна вважати допустимою (оскільки прокладка головки блоку має деяку податливість і пластичність). Але неспіввісність підшипників може призвести до помітного зниження ресурсу і навіть до виходу з ладу підшипників або колінчастого валу вже за кілька тисяч кілометрів. Тому при проведенні дослідження пошкоджень у двигуні необхідно враховувати, що між деформацією та пошкодженнями має бути причинно-наслідковий зв'язок.

Рисунок В.7 – Вимірювання деформації верхньої площини блоку циліндрів за допомогою лекальної лінійки та набору щупів

Однак, якщо вкладиші підшипників і шийки колінвала не пошкоджені, будь-які вимірювання співвісності опор колінвала в блоці циліндрів безглузді. Врозуміло, при пошуку причини несправності також безглуздо вимірювати деформацію площини, якщо прокладка ГБЦ була герметична.

В.4 Поршень та шатун

При дослідженні техничного стану двигуна нерідко потрібно правильно виміряти розмір спідниці поршня, щоб визначити робочий зазор поршня в циліндрі. Для цього зазвичай використовують мікрометр із ціною поділу 0,010 мм (рис.В.8). Використання для дослідження несправних двигунів складніших і точніших приладів, зазвичай, технічно не виправдано та економічно недоцільно.

Знайти розмір переважної більшості поршнів двигунів можна у відповідній нормативно-технічній документації. Тому завдання дослідника – перевірити, наскільки результати вимірів відповідають нормативам. Старі поршні потрібно перевіряти уважно – розкид розмірів в одному двигуні може виявитися дуже значним, особливо за наявності пошкоджень.

Рисунок В.8 – Стандартна операція вимірювання розміру поршня мікрометром

Розмір поршня по спідниці заведено вимірювати приблизно на висоті нижньої крайки отвору під поршневий палець (виключення дуже нечисленні, і лише деякі двигуни азійського виробництва вимагають інших методів контролю). Різниця між діаметром циліндра та цим розміром поршня становить шуканий зазор. Практика показала, що для більшості автомобільних двигунів у робочому стані зазор зазвичай коливається не більше 0,03-0,08 мм. При збільшенні вище 0,10-0,12 мм зазор стає неприпустимим через появу стукання

поршня в циліндрі (стукіт поршня викликається ударом вогневого пояса по циліндру при перекладці в мертвих точках, тому полірована до металу ділянка на вогневому поясі над спідницею завжди є ознакою стукоту).

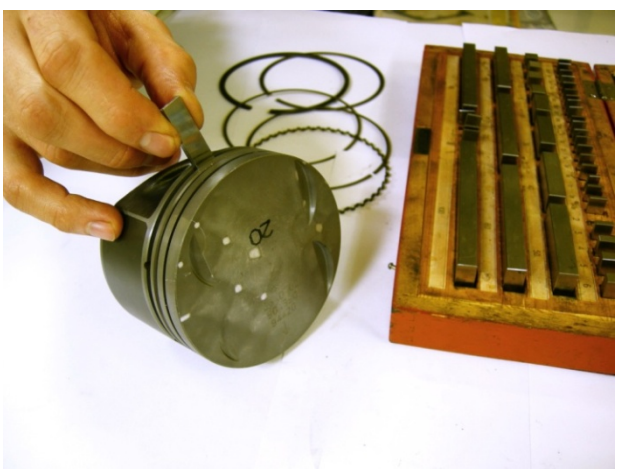
Крім цього, перевірці піддається бічна поверхня поршня, канавки під кільця та отвір під палець – на відсутність видимих пошкоджень (зносу, задирак, тріщин), а іноді також з метою отримання точних даних про розміри та зазори.

Найбільш точний спосіб визначення розміру канавки – за допомогою плиток Йогансона (плоскопаралельних мір довжини). З цією метою для канавки підбираються плитки такої товщини, щоб вони щільно заходили в канавку (рис.В.9). Але слід зазначити, що цей спосіб застосовується лише для плоских кілець і канавок – трапецієподібні канавки таким чином виміряти не можна. Менш точний спосіб вимірювання – за допомогою набору щупів, проте він цілком припустимий, якщо знос канавки великий.

Крім того, іноді потрібно перевірити посадку пальця в поршні (рис.В.10) та шатуні. Зазвичай в отворі бобишек поршня зазор пальця не повинен перевищувати 0,02 мм. Посадка у шатуні залежить від конструкції. У «плавучих» пальців зазор зазвичай лежить у межах 0,01-0,02 мм, а фіксованих пальців старих двигунів натяг становить у середньому 0,02-0,03 мм.

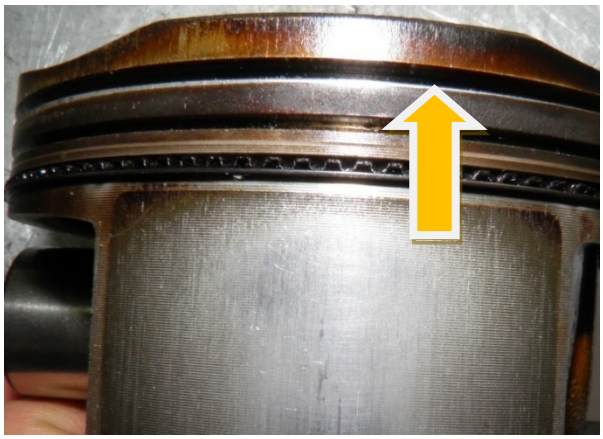
Шатун також заведено перевіряти на відсутність деформації стрижня, якщо є відповідні ознаки (наприклад, підозра на гідроудар). Осі отворів головок шатуна повинні бути паралельні, допустима непаралельність осей шатуна становить не більше 0,02-0,05 мм на вимірювальній базі 100 мм. Найкраще використовувати для цього спеціальний вимірювальний пристрій для шатунів, проте таке обладнання дороге і не завжди доступне при дослідженнях пошкоджень.

Інші відомі способи перевірки (на повірочній плиті, лекальною лінійкою, за допомогою пальців, що вставляються в отвори головок відразу кількох шатунів та інш.) не забезпечують необхідної точності, проте можуть дати загальну якісну картину.



а

б



в

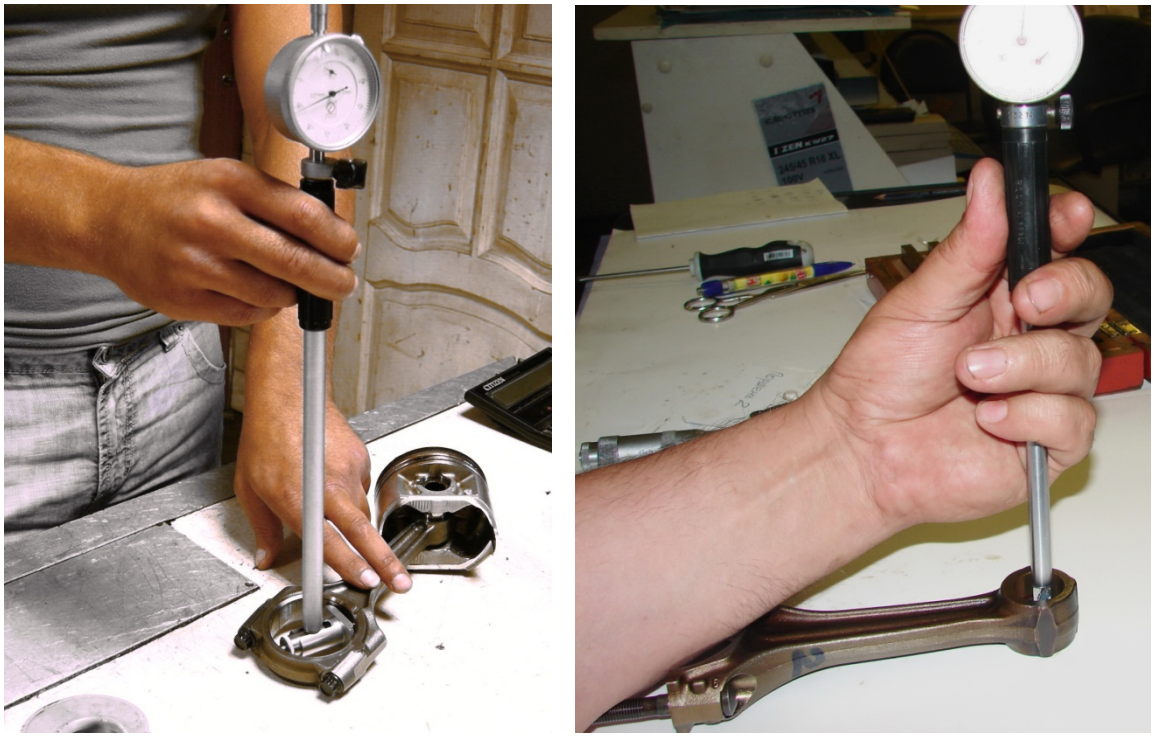
Рисунок В.9 – Контроль канавок поршню під кільця: а – вимірювання висоти канавки за допомогою плиток Йогансона; б – теж, наборім щупів; в – про велике зношування канавки навіть без вимірів говорить її блискуча нижня крайка

а

б

Рисунок В.10 – Контроль з'єднання поршня з пальцем з метою перевірки робочого зазору, наприклад, при підозрі на стукіт пальця: а – вимірювання пальця мікрометром; б – вимірювання отвору під палець у поршні нутроміром

У деяких випадках потрібна перевірка отворів головок шатунів, для чого використовується нутромір (рис. В.11). Вимірювання отвору кривошипної головки шатуна виконуються після затягування болтів кришки робочим моментом (береться з відповідної технічної документації).



а б

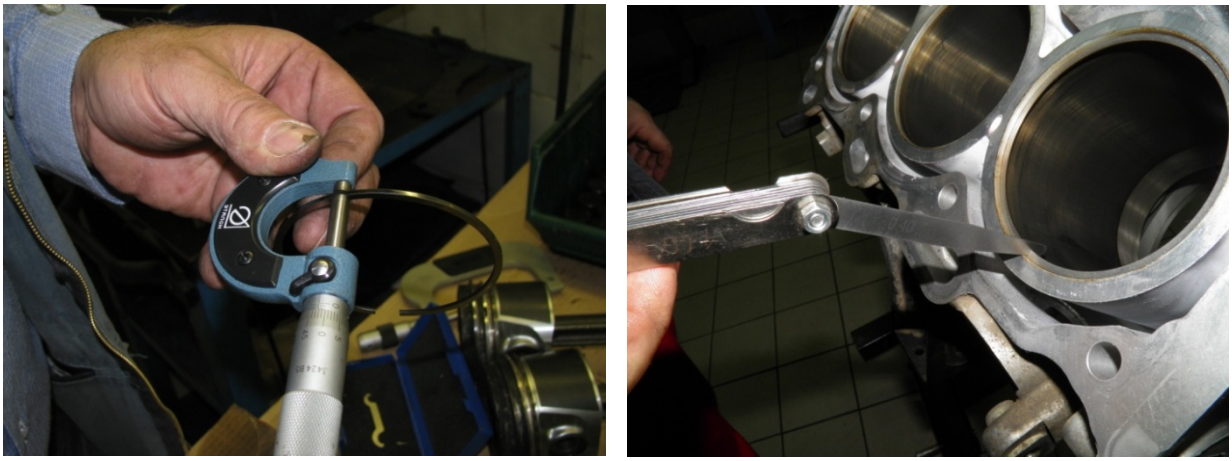
Рисунок В.11 – Вимірювання головок шатуна нутроміром: а – діаметра кривошипної головки; б – діаметра поршневої головки

Загальне правило в цих вимірах таке ж, як і для всіх інших в дослідженнях пошкоджень: немає сенсу вимірювати справні деталі, на яких немає ознак пошкоджень і які явно не пов'язані з несправністю двигуна.

В.5 Поршневі кільця

Зазвичай ознакою зношування циліндро-поршневої групи є великий зазор поршневого кільця в канавці поршня. Зазор між торцями кільця та канавки можна визначити різними способами, але досить просто встановити кільце в

канавку та скористатися набором щупів. Однак, якщо канавка виміряна плитками, як зазначено вище, вимірявши висоту (товщину) кільця мікрометром (рис.В.12), легко розрахувати торцевий зазор. Він повинен становити в середньому 0,05-0,1 мм (метод не застосовується до трапецієподібних кілець дизелів).



а б

Рисунок В.12 – Вимірювання параметрів поршневих кілець: а – висоти за допомогою мікрометра; б – зазору в замку за допомогою набору щупів

Якщо зазор у канавці поршня виявляється понад 0,12 мм, це означає, що кільце або канавка поршня мають неприпустимі відхилення розмірів. Зазвичай такий знос видно навіть неозброєним оком на нижньому торці кільця і на площині канавки (у тому числі буде видно зношену нижню крайку канавки, що видно по характерному блиску, як показано на рис.В.9в).

На відміну від поширеного і далекого від практики погляду про більш важливу роль розміру замка кілець, саме зазор у канавці й визначає, головним чином, властивості ущільнювачів кілець. Вони не будуть порушені при нормальному зазорі в канавці, навіть якщо кільце буде збільшений зазор в замку. Однак і зазор у замку також важливий – його треба перевіряти, щоб оцінити стан кілець, особливо середніх. Для цього кільця по черзі встановлюють в очищену від нагару верхню частину циліндра (рис.В.12), де зазор у замку заміряють за допомогою набору щупів. У нормального справного двигуна він повинен

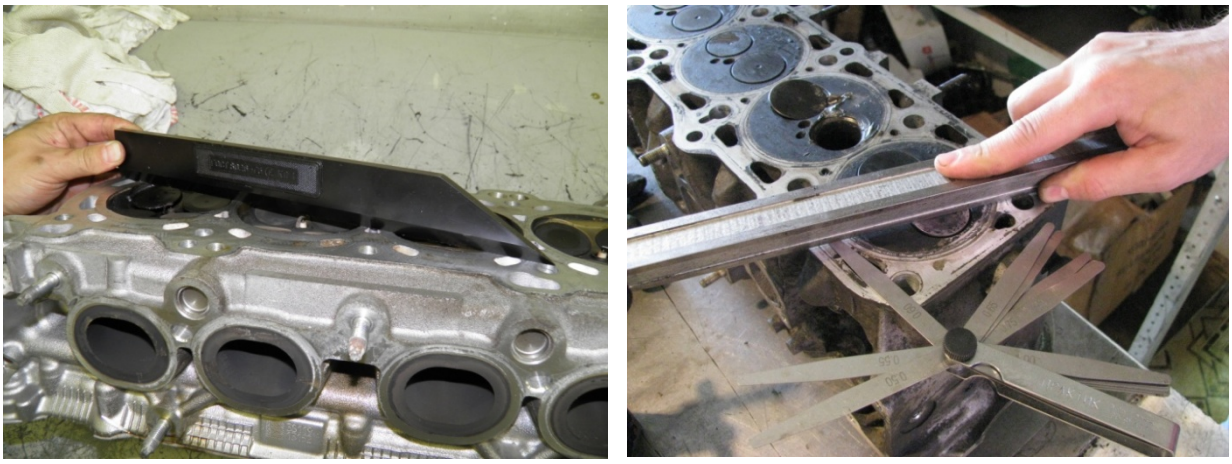
становити в середньому 0,5-0,8 мм, а зазор від 1,0 мм і більше говорить про зношування кілець.

В.6 Головка циліндра

При відхиленнях у роботі систем мащення та, особливо, охолодження, а також при порушенні умов експлуатації та техобслуговування в головці циліндрів виникають різні пошкодження. Вони не тільки порушують нормальну роботу двигуна, а й здатні взагалі призвести до виходу його з ладу. Найбільш часто на практиці зустрічаються деформації робочих поверхонь внаслідок перегріву, знос напрямних втулок і сідел клапанів, вигоряння ділянок поверхонь у камер згоряння, тріщини, механічні пошкодження камер згоряння через руйнування поршнів, шатунів, клапанів, сідел та багато інших.

При проведенні дослідження пошкоджень особливу увагу потрібно приділити площині головки. Деформація площини вимірюється за допомогою лекальної лінійки та набору щупів (рис.В.13) загальноприйнятим способом – лінійка укладається на площину діагонально і підбирається щуп, який щільно проходить у зазор між лінійкою та площиною головки (або злегка защемляється лінійкою).

Якщо деформація площини виявлена, слід перевірити опори підшипників розподільних валів на пошкодження та зношування. Річ у тому, що при значних деформаціях площини внаслідок перегріву виникає також деформація осі підшипників розподільних валів. Загальне правило, перевірене практикою, таке – деформація осі підшипників приблизно у 2 рази менша від деформації площини (її можна приблизно перевірити лекальною лінійкою). Якщо деформації осі перевищує зазор у підшипниках, тобто вона більше ніж 0,05-0,07 мм, може бути порушена робота підшипників розподільного валу. Тому деформація площини в 0,10-0,15 мм є межею, за якою вже слідує неприпустима деформація осі підшипників, можливо, як наслідок сильного перегріву двигуна.



а б

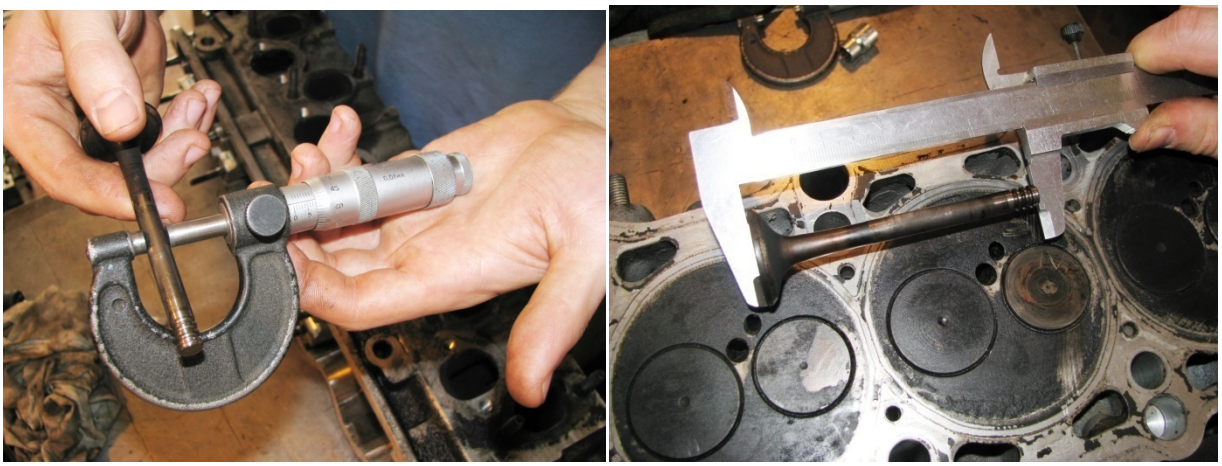
Рисунок В.13 – Контроль деформації площини головки блоку циліндрів: а – попередня перевірка "на просвіт"; б – вимірювання за допомогою лекальної лінійки та набору щупів

Перевірка напрямних втулок клапанів зводиться до визначення зазору в отворі втулки зі стрижнем клапана. Оскільки діаметри деталей досить малі, це викликає труднощі при вимірах. У загальному випадку зазор вказує стан клапанного механізму і визначається трьома основними методами.

1. Метод прямого виміру за допомогою калібрів – вимірюється внутрішній діаметр отвору напрямної втулки, далі будь-яким з відомих способів вимірюється діаметр стрижня, потім визначається зазор як різниця між ними.

Цей спосіб передбачає наявність набору каліброваних стрижнів-калібрів, що мають точно шліфовану циліндричну поверхню, і мікрометра для вимірювання стрижня клапана. Перевагою даного методу є простота та точність визначення діаметра отвору. Однак при суттєвому відхиленні отвору від правильної циліндричної форми виміру можуть бути неточними. Крім того, потрібна велика кількість дорогих калібрів.

2. Метод прямого вимірювання зазору за допомогою нутроміра та мікрометра – внутрішній діаметр отвору прямо вимірюється нутроміром, далі зовнішній діаметр стрижня вимірюється мікрометром (рис.В.14а), після чого розраховується різниця між ними.



а б

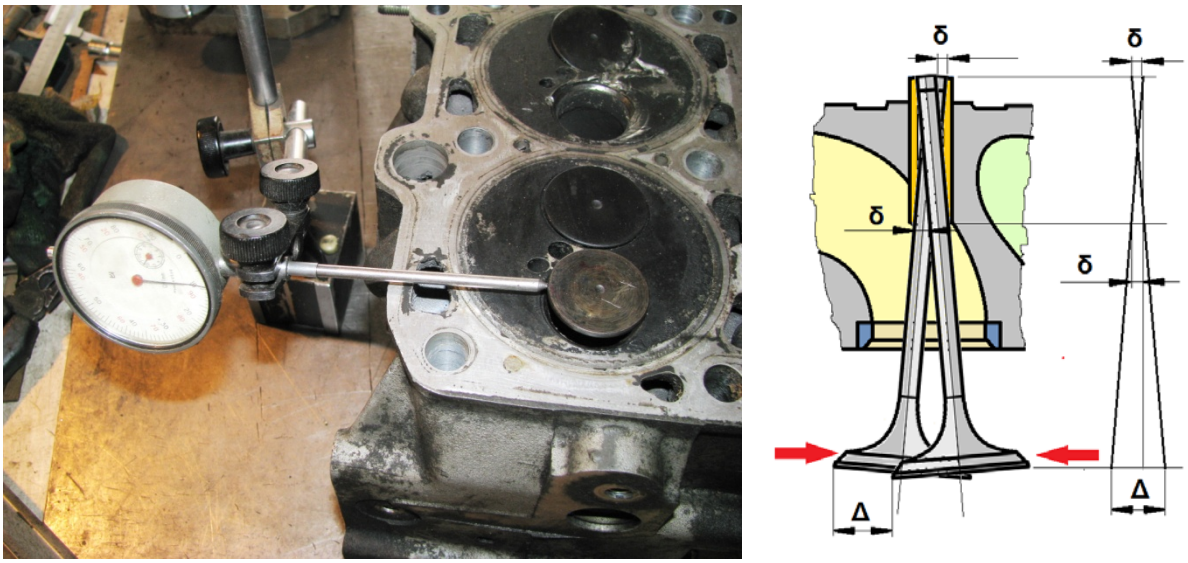
Рисунок В.14 – Найпростіші операції при контролі технічного стану головки циліндрів: а – вимірювання діаметра стрижня клапана мікрометром; б – вимірювання довжини клапана штангенциркулем

Перевагою методу є безпосереднє вимірювання розмірів деталей, тобто потенційно даний метод дає високу точність. Однак малі розміри отвору вимагають спеціальних нутромірів, а результати вимірювань – спеціального аналізу з метою уникнути методичної помилки при вимірюванні зазору, особливо на краях втулки.

Дійсно, зазор у нижнього краю напрямної втулки не має фізичного сенсу, оскільки в холодному стані ця частина втулки не є робочою (неможливо перекосити холодний стрижень у втулки, щоб він торкався цієї частини втулки). Внаслідок зазначеної особливості при проведенні прямих вимірювань діаметра отвору втулки необхідно виключити такі вимірювання поблизу нижньої крайки. Орієнтовно неробоча зона біля нижньої крайки втулки становить 3-5 мм – залежно від геометрії деталей та ступеня їхнього зносу.

Дана особливість методу повинна обов'язково враховуватися при виконанні прямих вимірювань, інакше у нижнього краю втулки завжди виходитиме недостовірний (помилковий) і заздалегідь завищений зазор стрижня у стулці. Однак цю помилку можна виключити, якщо вимірювати не проміжок, а люфт клапана у втулки.

3. Непрямий метод вимірювання зазору за величиною люфту клапана у втулки – клапан встановлюється стрижнем у втулку так, щоб головка була на певній відстані від сідла. Далі за допомогою індикатора вимірюється люфт головки шляхом хитання клапана до упору у бік і від індикатора, після чого зазор стрижня у втулки розраховується за спеціальною формулою (рис.В.15).



а б

Рисунок В.15 – Контроль з’єднання клапану з напрамною втулкою:
а – вимірювання люфту клапана у напрямній втулки за допомогою індикаторної стійки; б – схема, що ілюструє принцип визначення зазору за величиною люфту

Це найбільш доступний метод, він дає досить точні результати при правильному вимірі та розумінні сенсу методу. Для розрахунку зазору використовується відома формула:

$$\delta = \Delta / (1 + 2L / l), \qquad \text{(В.1)}$$

де δ – зазор між стрижнем і втулком, Δ – люфт (вільне переміщення) головки клапана, L – відстань від нижньої крайки напрямної втулки до місця вимірювання люфту на головці, l – довжина напрямної втулки.

Формула (В.1) враховує вплив перекосу стрижня у втулки (рис.В.15б) і дає очевидний результат – що далі місце виміру люфту стрижня від краю втулки, і чим коротше втулка, тим більше виміряний люфт при незмінному зазорі.

Вказана особливість цього методу, таким чином, полягає в наступному. При вимірі люфту на головці клапана необхідно точно знати довжини клапана, втулки, а також відстань від нижньої крайки втулки до головки – інакше визначити зазор клапана у втулки за величиною люфту головки неможливо.

Інший важливою особливістю методу є суттєва та принципова відмінність між термінами «зазор» та «люфт». Зазор є фактично різницею в діаметрах отвору у втулки та стрижня клапана, у той час, як люфт є вільний хід стрижня в тому місці, де цей люфт вимірюється. Наприклад, при виступанні головки над крайкою втулки вдвічі більшою, ніж довжина втулки, люфт головки, згідно з наведеною вище формулою, буде в кілька (3-5) разів більший ніж зазор стрижня у втулки. Рівність люфту та зазору можлива тільки в одному випадку – при вимірі люфту стрижня безпосередньо прямо на крайці втулки, що в загальному випадку неможливо.

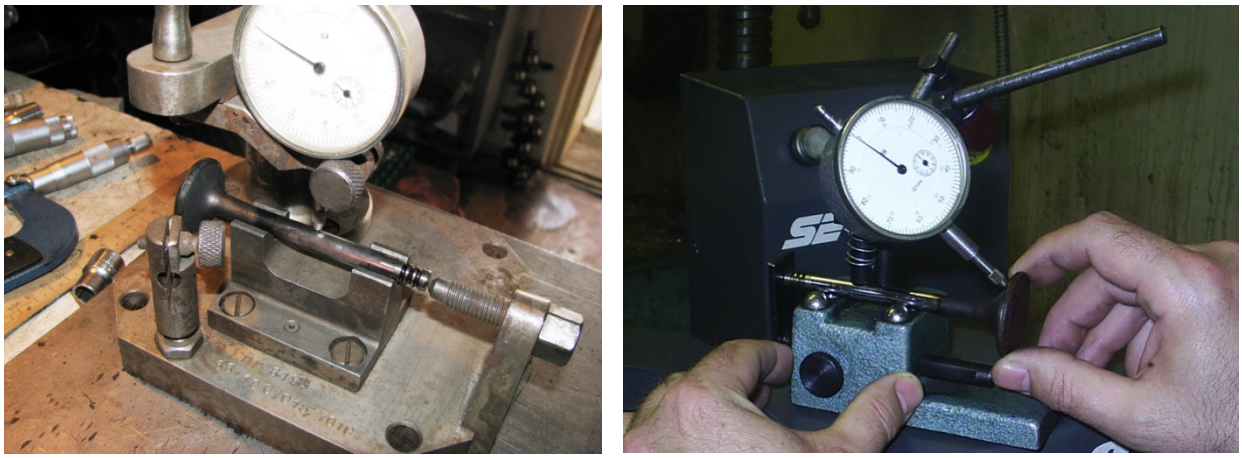
Ці особливості повинні обов'язково враховуватись при проведенні вимірювань зазору клапана у втулки та при аналізі отриманих даних. В іншому випадку дуже легко отримати свідомо помилкові результати.

В.7 Клапани

У клапанів зазвичай перевіряється розмір (знос) стрижня, фаски та торця.

Діаметр стрижня перевіряється у трьох перерізах по висоті, знос не повинен перевищувати 0,01-0,02 мм (зазвичай він максимальний у нижній частині стрижня), інакше клапан вважається надмірно зношеним. При деяких видах несправностей важливо перевірити головку клапана на тріщини, а стрижень – на наявність вибоїн та дефектів у верхній частині (подібні дефекти часто з'являються в результаті так званого ударного розбирання при ремонті).

Для перевірки деформації стрижня служать спеціальні вимірювальні пристрої, які є призми з індикатором (рис.В.16). З їх допомогою легко визначити биття фаски щодо стрижня клапана. Якщо биття перевищує 0,03-0,05 мм, клапан вважається надмірно деформованим. Тоді, можливо, він міг бути причиною зниженої компресії та/або пропусків займання в даному циліндрі.

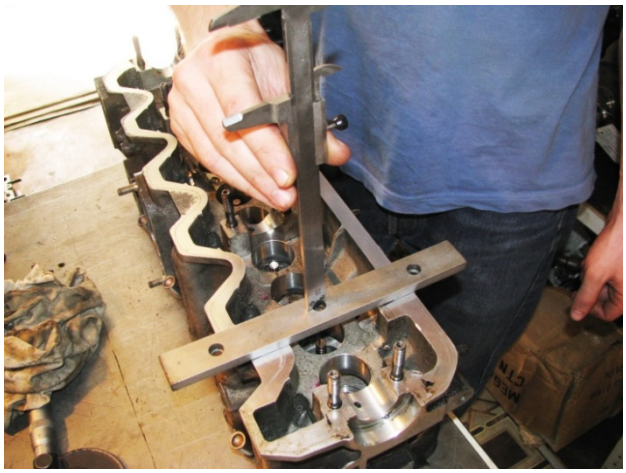


а б

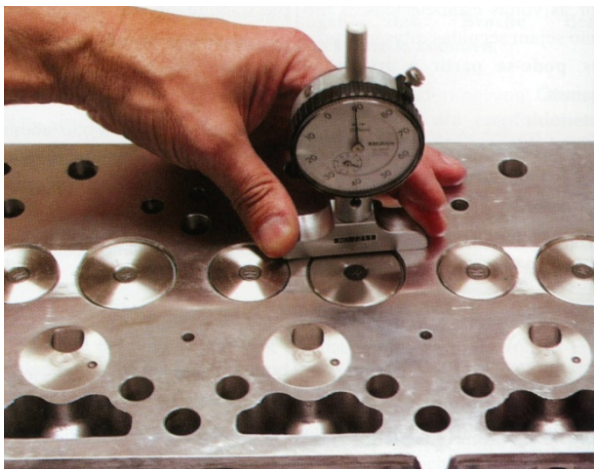
Рисунок В.16 – Контроль клапанів: а – вимірювання деформації стрижня клапана; б – контроль биття робочої фаски

Для двигунів з гідроштовхачами особливе значення має зношування фаски клапана. При великому зносі фаски клапана та сідла відбувається «потопання» клапана, фактично – догляд його стрижня вгору щодо головки блоку. Це може спричинити порушення роботи гідроштовхачів – їх плунжери матимуть надто малий хід у втулках, через що клапани здатні «зависнути» у відкритому положенні під час роботи двигуна.

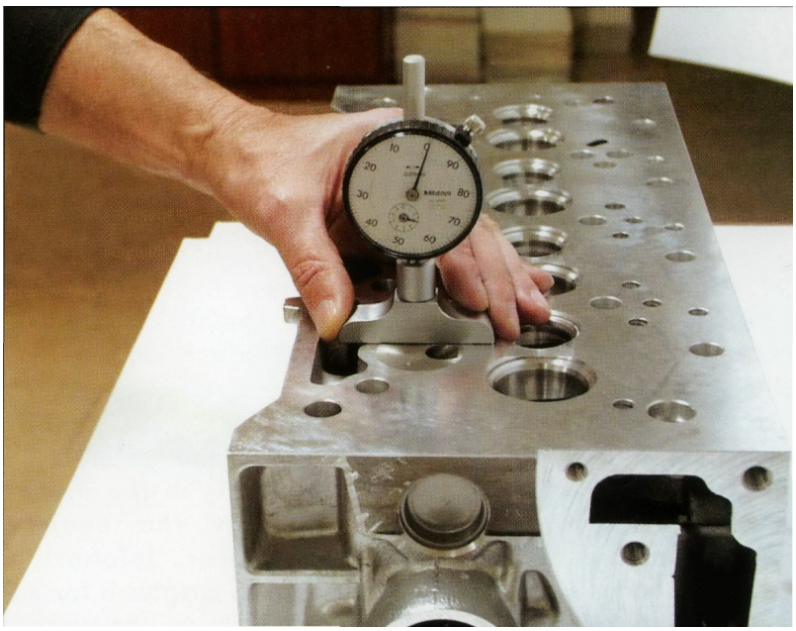
За наявності даних виробника про положення клапанів щодо площин головки блоку вимірюється також виступ стрижнів – за допомогою штангенглибиноміра (іноді підходить і простий штангенциркуль) та/або індикаторного глибиноміра (рис.В.16).



а



б



в

Рисунок В.16 – Вимірювання виступу клапана: а – за допомогою штангенциркуля і пластини, б – індикаторним глибиноміром, в – такий же спосіб застосовується для вимірювання виступу форкамер

Індикаторним глибиноміром зручно також перевірити виступ деяких елементів головок – наприклад, кришок форкамер, щоб порівняти їх з паспортними даними. Зрозуміло, що всі подібні перевірки мають сенс робити лише у випадку, якщо знайдено відповідні ознаки пошкодження деталей.

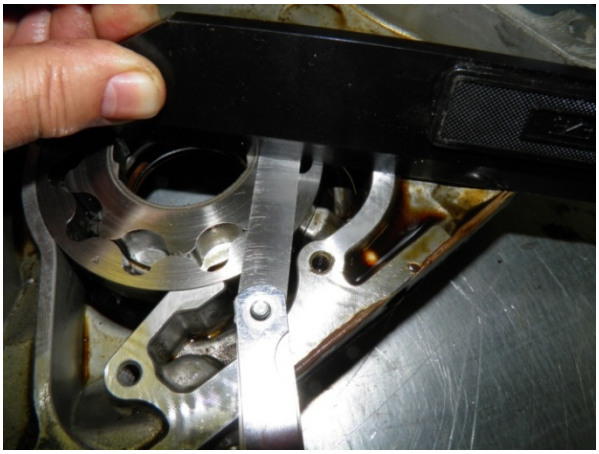
В.8 Інші вузли та деталі

Серед таких вузлів та деталей у 1-шу чергу слід відзначити оливний насос. Він підлягає перевірці при підозрі на велике зношування деталей та/або за наявності ознак недостатньої подачі оливи до підшипників. Однак, на відміну від більшості інших вузлів двигуна, перевірка насоса дуже проста, і для неї, як показує практика, цілком достатньо лише одного єдиного вимірювального інструменту – набору щупів, разом з лекальною лінійкою (рис.В.17).

Перевіряються лише 3 параметри – торцевий зазор шестерень у корпусі, радіальний зазор зовнішньої шестерні у корпусі та зазор у зачепленні. Жодних складнощів зробити таку перевірку немає – виконання всіх операцій, вказаних на фото (рис.В.17), дозволяє точно визначити стан оливного насоса. Зазвичай у нормальних робочих насосах ці параметри лежать у межах 0,05-0,10 мм. Тому загальний принцип трактування результатів вимірювань простий – зазори ніде не повинні бути більшими за 0,12-0,15 мм. В іншому випадку насос міг бути причиною недостатньої подачі оливи (якщо такі ознаки виявлено).

Іноді, хоча досить рідко, потрібна перевірка зазору між плунжером редукційного клапана оливного насоса і корпусом. Це виконується звичайними для таких перевірок вимірювальними інструментами – мікрометром та нутроміром (рис.В.17).

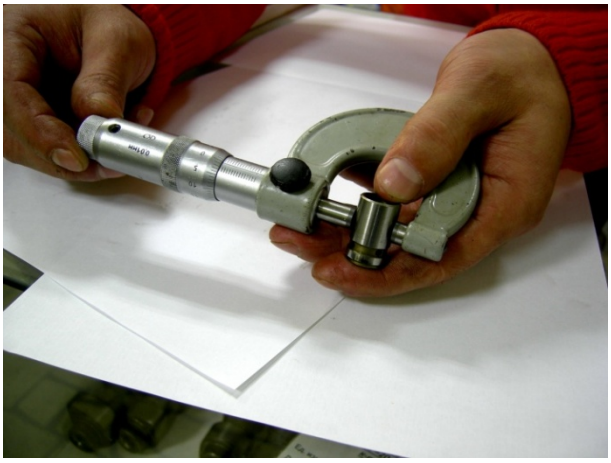
Перевірки інших деталей досить очевидні та проводяться за наявності відповідних ознак причинно-наслідкового зв'язку стану деталей з виявленими несправностями або їх версіями. Усі перевірки, у тому числі описані вище, зведені в таблицю (табл.В.1), з якої можна бачити загальний обсяг робіт із вимірювань при виконанні дослідження пошкоджень у двигуні.



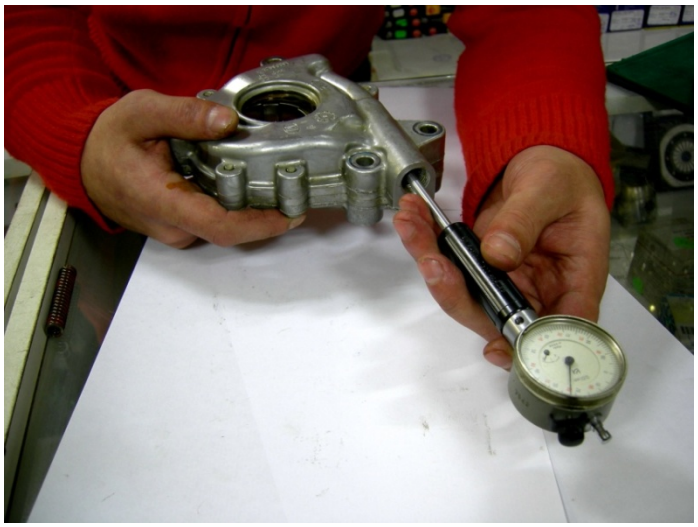
а

б

в



г



д

Рисунок В.17 – Вимірювання зазорів в маслонасосі: а – торцевий зазор шестерень за допомогою лекальної лінійки та набору щупів, б – радіальний зазор між шестернею та корпусом (у центрі), в – зазор у зачепленні шестерень, г – вимірювання діаметра плунжера мікрометром, д – вимірювання отвору для плунжера в корпусі нутроміром

Таблиця В.1-1 – Загальний список вузлів, деталей та їх поверхонь, що потребують контролю при дослідженні причин несправності двигуна

Деталь	Що контролюється
Колінчастий вал	- діаметри (знос) шийок; - взаємне биття корінних шийок; - биття допоміжних поверхонь щодо корінних шийок; - стан (знос) завзятих поверхонь
Блок циліндрів	- діаметри (знос) ліжок; - співвісність ліжок; - діаметри (знос) циліндрів; - стан поверхні циліндрів (ризики, подряпини та інші дефекти); - верхня площина; - тріщини на різних поверхнях
Шатуни	- діаметр (знос, деформація) отвору нижньої головки; - діаметр отвору верхньої головки; - деформація стрижня
Поршні	- розмір спідниці (знос); - висоти канавок поршневих кілець; - діаметр (знос) отвори поршневого пальця; - тріщини та інші пошкодження
Поршневі кільця та пальці	- знос зовнішньої поверхні (ширина замку у верхній частині циліндра); - знос торцевих поверхонь (висота кілець)
Голівка блока	- площина (деформація); - діаметри (знос) отворів підшипників розподільного валу; - співвісність отворів підшипників; - діаметри (знос) отворів напрямних втулок клапанів; - тріщини на поверхнях камер згоряння, між сідлами клапанів та інших поверхнях (герметичність порожнини охолодження)
Розподільний механізм	- діаметри опорних шийок розподільчого валу; - взаємне биття опорних шийок та кулачків; - знос кулачків; - знос штовхачів; - діаметри (знос) отворів коромисел; - діаметр (знос) осі коромисел; - виступ клапанів над базовими площинами; - діаметр (знос) стрижнів клапанів; - зношування фасок клапанів
Привід розподільного валу	- знос ланцюга (ременя) ГРМ; - стан підшипників роликів; - стан (знос) зубів зірочок (шківів, шестерень); - стан наполегливих поверхонь шківів, шестерень; - стан кожуха ременя; - стан натягувача ланцюга (ременя) та заспокійників ланцюга

Таблиця В.1-2 – Загальний список вузлів, деталей та їх поверхонь, що потребують контролю при дослідженні причин несправності двигуна (продовження)

Деталь	Що контролюється
Привід розподільного валу	- знос ланцюга (ременя) ГРМ; - стан підшипників роликів; - стан (знос) зубів зірочок (шківів, шестерень); - стан наполегливих поверхонь шківів, шестерень; - стан кожуха ременя; - стан натягувача ланцюга (ременя) та заспокійників ланцюга
Система мащення	- знос шестерень та корпусу оливного насоса; - стан редукційного клапана; - стан маслоприймача; - стан оливних форсунок охолодження поршнів
Система охолодження	- легкість обертання та люфт валика насоса; - сліди підтікання рідини через дренажні отвори на корпусі насоса
Інші деталі та вузли	- діаметри (знос) опорних шийок допоміжних валів; - діаметри (знос) отворів підшипників допоміжних валів; - тріщини у піддоні картера; - знос деталей зчеплення; - стан опор двигуна; - тріщини у випускному колекторі, - стан каталізатора

В.9 Методи дослідження матеріалу деталей

При складних причинах несправностей причинно-наслідкові зв'язки незрозумілі, а наявні ознаки дають відразу кілька можливих причин несправності. Якщо однією з причин розглядається невідповідний матеріал деталі, допомогу у правильному визначенні причини несправності можуть надати металографічні дослідження. Загалом до таких досліджень можна віднести визначення хімічного складу, фізичних властивостей та мікроструктури матеріалу деталі.

Таким дослідженням завжди передує зовнішній огляд деталі, що дозволяє виявити аномальне змінення у матеріалі деталі. Це можуть бути, у тому числі

тріщини, руйнування або сильне зношування робочих поверхонь, що є ознаками якихось відхилень у матеріалі деталі.

Тріщини не завжди вдається розпізнати візуально, іноді про наявність свідчать непрямі ознаки. Для пошуку таких прихованих тріщин існує досить багато методів (табл. В.2), проте вдаватися до серйозних досліджень такого роду у практичних випадках досліджень причин пошкоджень доводиться рідко.

Проте, з розглянутих вище методів пошуку тріщин у дослідженнях щодо причини несправності двигунів застосовуються лише два. Це гідравлічні випробування (опресування) порожнини охолодження головок і блоків циліндрів та магнітна (магнітно-люмінесцентна) дефектоскопія колінчастих валів.

Якщо перший застосовується, переважно, для немагнітних корпусних деталей з алюмінієвих сплавів, то другий досить ефективний для сталевих і чавунних деталей. При підозрі на тріщини магнітною дефектоскопією можна перевірити колінчастий вал – необхідність такої перевірки іноді виникає після встановлення ремонтного або нового валу, що постачається в запчастини. Але наочніший є магнітно-люмінесцентний метод, що дозволяє проявити тріщини в ультрафіолетовому світлі (рис.В.18б).

Виходячи з практики, основними показаннями на проведення серйозних досліджень матеріалу деталі, крім тріщин, можуть бути руйнування деталі, її надмірно сильна деформація, сильне зношування, що супроводжується задираками, та інші серйозні пошкодження. При цьому металографічні дослідження мають сенс проводити лише у випадку, якщо для цього справді є серйозна підстава. Такою підставою є необхідність підтвердити передбачувану причину, ознаки якої вже виявлено на деталях. Разом з тим металографічні дослідження, як правило, не дають можливості встановити причину несправності двигуна в цілому, а локалізуються на причині руйнування або пошкодження окремої деталі та елементів, пов'язаних з нею.

Таблиця В.2 – Методи визначення тріщин у деталях двигунів.

№ п/п	Метод	Застосування	Достовір-ність результатів	Трудоміст-кість	Вартість обладнан-ня
1	Кольорова дефектоскопія (фарб)	Деталі з будь-яких матеріалів, що мають чисту гладку поверхню.	висока	висока	Середня чи низька
2	Ультразвукова дефектоскопія	Деталі з будь-яких матеріалів переважно простої форми.	висока	висока	висока
3	Магнітна дефектоскопія	Деталі із магнітних матеріалів.	висока	середня	висока
4	Магнітно-люмінісцентна дефектоскопія	Те саме.	висока	середня	висока
5	Рентгеноскопії	Деталі з будь-яких матеріалів.	висока	висока	дуже висока
6	Гідравлічного чи пневматичного випробування	Деталі з будь-яких матеріалів, що мають внутрішні порожнини.	середня	середня	середня чи висока
7	Проникаючої рідини	Деталі з будь-яких матеріалів, переважно простої форми із внутрішньою порожниною.	низька	низька	низька
8	Попередня обробка	Деталі з металів із низькою пластичністю (чавун, сталь).	низька	низька	низька

а б

Рисунок В.18 – Приклади тріщин: а – тріщина в галтелі шийки колінвала, виявлена методом магнітної дефектоскопії, б – множинні тріщини робочої поверхні шийки, виявлені в ультрафіолетовому світлі з допомогою магнітно-люмінесцентного методу

Ця особливість застосування металографічних досліджень щодо причини несправності ДВЗ робить необхідність їх використання досить рідкісним явищем. Це зумовлено тим, що причини навіть серйозних руйнувань у двигунах можуть бути встановлені точно та без дослідження властивостей матеріалу. Виняток становлять лише явні виробничі дефекти, у яких двигун при складанні потрапляє свідомо неякісно виготовлена деталь. Але такі дефекти досить рідкісні, оскільки частку виробничих дефектів, зокрема, з вини матеріалу деталі, при масовому виробництві припадає значно менша частина, ніж помилки при складанні чи ремонті.

Однак, при підозрі на проблеми з матеріалом деталі дослідженню зазвичай піддаються поверхнева твердість, хімічний склад та мікроструктура зламу. В окремих випадках робиться шліф визначення структури самого металу. Інші серйозні дослідження, наприклад, визначення меж плинності, тимчасової та/або втомної міцності матеріалу деталей, у дослідженнях причин несправностей ДВЗ практично не застосовуються внаслідок їх високої вартості та малої інформативності.

Розглянемо коротко основні параметри матеріалу, які можуть бути досліджені при підозрі на недостатню міцність та/або зносостійкість.

Твердість є важливим параметром, що характеризує міцність і зносостійкість деталей з різних матеріалів. Розрізняють твердість основного металу та поверхневу твердість. Перша корелює з показниками міцності (що вище твердість, тим вища межа тимчасової міцності). Друга важлива для металу, що піддається спеціальне хіміко-термічної обробки (цементація, азотування, загартування ТВЧ) з метою забезпечення високої зносостійкості поверхні.

Виходячи з цього, у разі руйнування деталі перевірка твердості матеріалу може дати орієнтовне уявлення про його міцність. Але найповніше дані може бути отримані, якщо також виконаний хімічний аналіз і за довідковими даними підібрано найближчий аналог матеріалу з відомими властивостями.

Встановити хімічний склад деталі допомагає спектральний аналіз та відповідне обладнання, що працює на його основі [128]. Це дозволяє визначити основні хімічні елементи, включаючи легувальні. За допомогою відповідних довідкових даних це дозволяє визначити марку матеріалу. Однак за відсутності заводської конструкторської документації (її зазвичай немає) фактично можна визначити за відповідними довідниками тільки марку якогось аналога матеріалу.

Нарешті, характерні особливості поверхні зламу деталі дозволяють встановити, чи було руйнування миттєвим і крихким (від перевищення межі тимчасової міцності) або втомним і розтягнутим у часі, протягом якого розвивалася втомна тріщина. Не даючись у всі деталі подібних досліджень, необхідно відзначити, що головними ознаками втомного руйнування є наявність на поверхні зламу характерних ліній "відпочинку" і зони крихкого зламу, а також поширення тріщини через тіло зерен металу (це робить поверхню порівняно гладкою). У той час як крихкий злам характеризується порівняно рівномірною матовою структурою, коли руйнація проходила по межах зерен металу.

Основні труднощі в дослідженнях матеріалу деталі полягають, проте, не так у самих дослідженнях, а в тому, який причинно-наслідковий зв'язок мають ті чи інші відхилення в матеріалі деталі з несправністю двигуна. І тут найбільш важливими є не тільки конкретні цифри твердості або складу матеріалу при

дослідженні, а ще й параметри матеріалу деталі, які задані виробником у його технологічному процесі та технічних умовах. Іншими словами, отримані дані вимагають коректного порівняння із заданими, тобто з еталоном.

Однак саме тут укладено головні труднощі. Практика показує, що отримати доступ до виробничої документації виробника практично неможливо – усі виробники старанно захищають свої технології. У результаті, навіть якщо проведені найдокладніші, найретельніші та найдорожчі металографічні дослідження, порівнювати їх результати з конкретними даними виробника або важко, або практично неможливо – немає еталона для порівняння.

Але насправді навіть без докладного розгляду всіх отриманих даних виникає закономірне питання про стан інших аналогічних деталей. Якщо вони такі самі, як і зруйнована, то руйнація саме цієї деталі, швидше за все, викликана не матеріалом. Або, навпаки, якщо тільки ця деталь має відхилення в матеріалі, то не виключено, що саме вона і стала причиною руйнування, і справді причина у виробничому шлюбі.

Таким чином, коли немає жодних даних щодо матеріалу конкретної деталі від виробника, коректним виявляється лише порівняння матеріалу з однотипними деталями даного двигуна. Фактично тільки таке порівняння дає відповідь на питання, чи було насправді якесь відхилення у матеріалі, і якщо так, то як воно пов'язане з несправністю.

Отже, єдиним методом застосування даних щодо якості матеріалу пошкодженої деталі, що має якийсь сенс, шляхом проведення металографічних досліджень на практиці є порівняння з матеріалом сусідньої аналогічної деталі в тому ж двигуні, прийнятої за еталон. Звідси також випливає, що порівняння буде некоректним, якщо зразок задавати за старими підручниками. Більшість із них оперує застарілими даними, які були написані на прикладі зовсім інших типів ДВЗ, а розглянуті в них матеріали, можливо, давно не використовуються у сучасних двигунах.

Щобільше, знайдений втомний характер руйнування однієї деталі ще нічого не говорить про причину несправності двигуна. Навіть якщо зрозуміло,

що причиною руйнування була втома, неможливо за характером руйнування встановити, звідки вона виникла. Відомо, що втома у переважній більшості випадків не з'являється сама по собі, її викликає поява у двигуні позаштатних навантажень задовго до руйнування. Але знайти їх буває важко – потрібно на підставі великого обсягу документів скласти докладну історію автомобіля та вивчити результати діагностики із замороженими даними щодо збережених кодів несправностей. Потім ці дані необхідно проаналізувати, щоб виявити позаштатні навантаження, і лише потім пов'язати час їхньої дії з руйнуванням.

Все це говорить про те, що шукати причину несправності двигуна за допомогою металографії в більшості випадків так само марно, як і за допомогою дослідження складу палива та моторної оливи. З металографічних досліджень іноді випливає тільки те, що, наприклад, матеріал болта двигуна, випущеного нещодавно, не відповідає матеріалу аналогічного болта двигуна, випущеного за 70 років до цього, якій зазначено у підручнику. А оскільки більше ніякої інформації виявити не вдається, під час пошуку причини треба діяти навпаки. Тобто спочатку треба висунути версії причини несправності, потім перевірити їх на відповідність знайденим ознакам, і тільки після цього, за необхідності, підтвердити можливу причину металографічними дослідженнями.

Правильний порядок важливий, бо металографічні дослідження не завжди робляться обґрунтовано. Наприклад, у практиці відомі випадки, коли такі дослідження проводять навіть тоді, коли свідомо зрозуміло, що результат ні про що не скаже і не допоможе виявити причину несправності.

Іншою особливістю металографічних досліджень є те, що в загальному випадку вони вимагають не тільки застосування спеціальних приладів та дорогого обладнання, а й високої кваліфікації персоналу. Тобто важливо не лише знайти, а й правильно описати та кваліфікувати знайдені ознаки.

Усі зазначені особливості застосування металографічних методів повинні правильно враховуватись у практиці досліджень причин пошкоджень двигунів.

ДОДАТОК Г – МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІВ НА ОСНОВІ ДАНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРИЧИН ПОШКОДЖЕНЬ У ДВИГУНАХ

Г.1 Визначення температурного стану поршня та розрахунок температурних напруг та деформацій

При моделюванні позаштатних навантажень, що діють на деталі [79], у тому числі при порушенні умов експлуатації, необхідно враховувати температурні деформації внаслідок нерівномірного поля температур. Теплові процеси вважаються стаціонарними за часом, проте нерівномірне поле температур створює у матеріалі поршня напруги. Це може призводити до експлуатації до пошкоджень, у тому числі до появи тріщин термовтоми. Тоді необхідно знайти розподіл температури по перерізах поршня і зв'язати її з напруженнями.

Завдання цього виду передбачає, що поршень має різні поверхні, якими відбувається його нагрівання та охолодження. Очевидно, йдеться про задачу термопружності [57], яка може бути вирішена у програмному середовищі ANSYS [131-132] у два етапи (рис.Г.1). На першому етапі виконується стаціонарний тепловий аналіз та визначення поля температур (Steady-State Thermal). Результати першого етапу використовуються як початкові умови для другого етапу, де виконується аналіз міцності поршня (Static Structural). Для цього необхідно зв'язати два ці етапи між собою (рис.Г.1). При цьому властивості матеріалу, геометрична модель та скінченноелементна сітка використовуються спільно для двох етапів.

При постановці граничних умов першого етапу моделювання (рис.Г.2а) приблизно враховується характер теплообміну [387]. Зокрема, конвективний теплообмін із зовнішнього боку поршня включає підведення тепла до днища від газів, відведення тепла від канавок кілець та спідниці (рис.Г.2б).

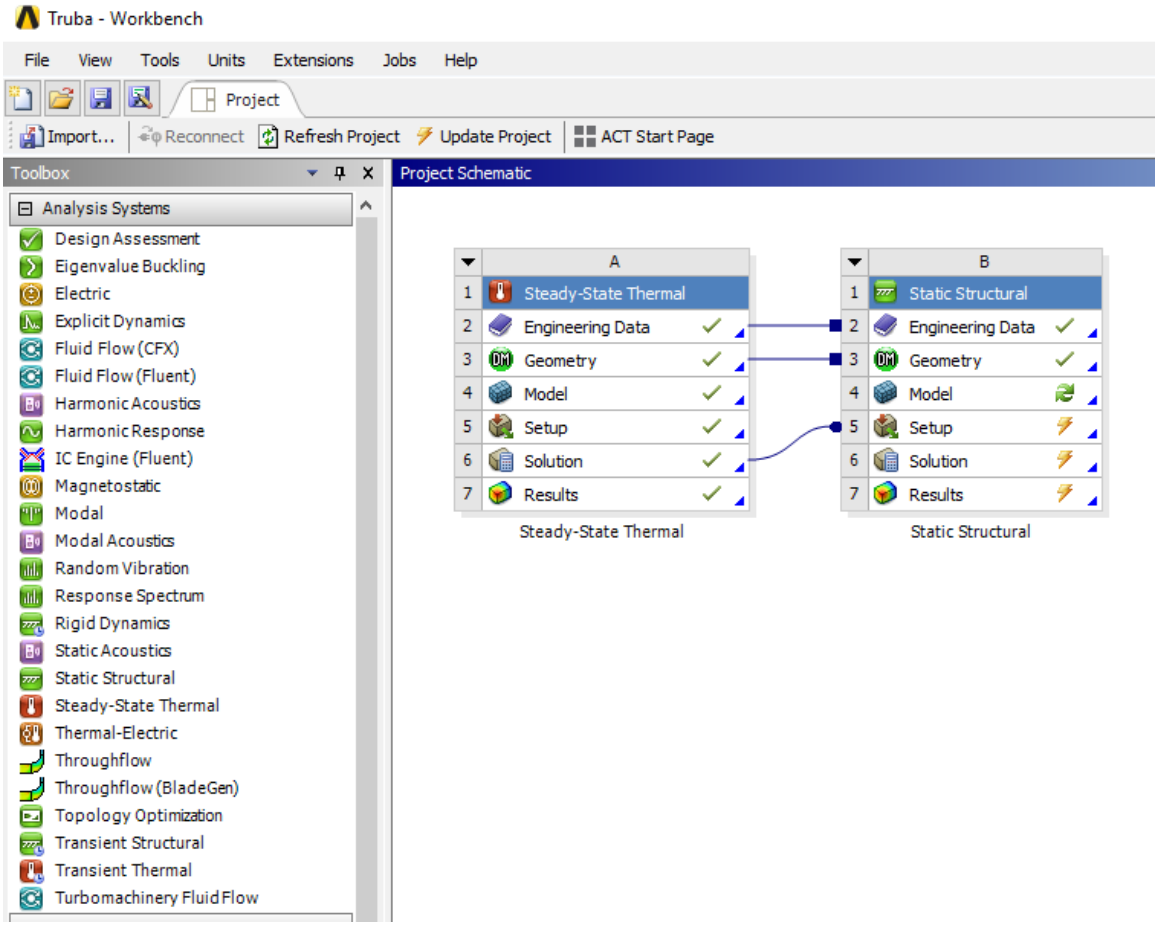
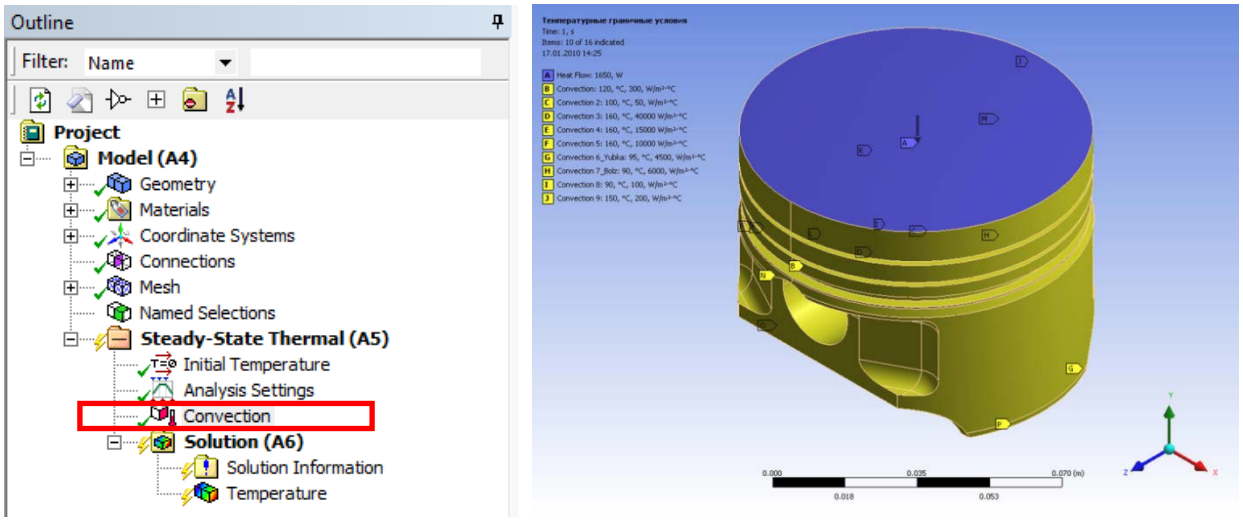


Рисунок Г.1 – Дерево проекту для задачі термопружності поршня



а б

Рисунок Г.2 – Завдання граничних умов у програмному середовищі Steady-State Thermal: а – у програмі; б – схема, яка ілюструє тепловий потік у днище поршня та відведення тепла локальною конвекцією на бічній поверхні

За умовчанням програма використовує початкові значення температури поршня 20^0C. У результаті розрахунку отримано розігрів та температурний стан поршня при виході на режим стаціонарного теплообміну.

На рис.Г.3 показані результати розрахунку поля температури поршня. Отримані дані дозволяють виконати другий етап моделювання – аналіз напружено деформованого стану поршня.

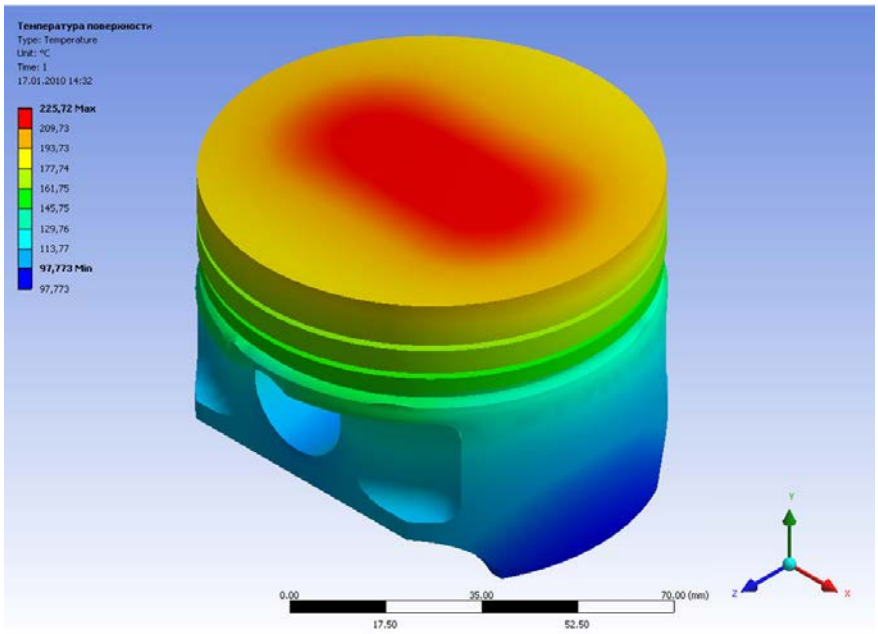
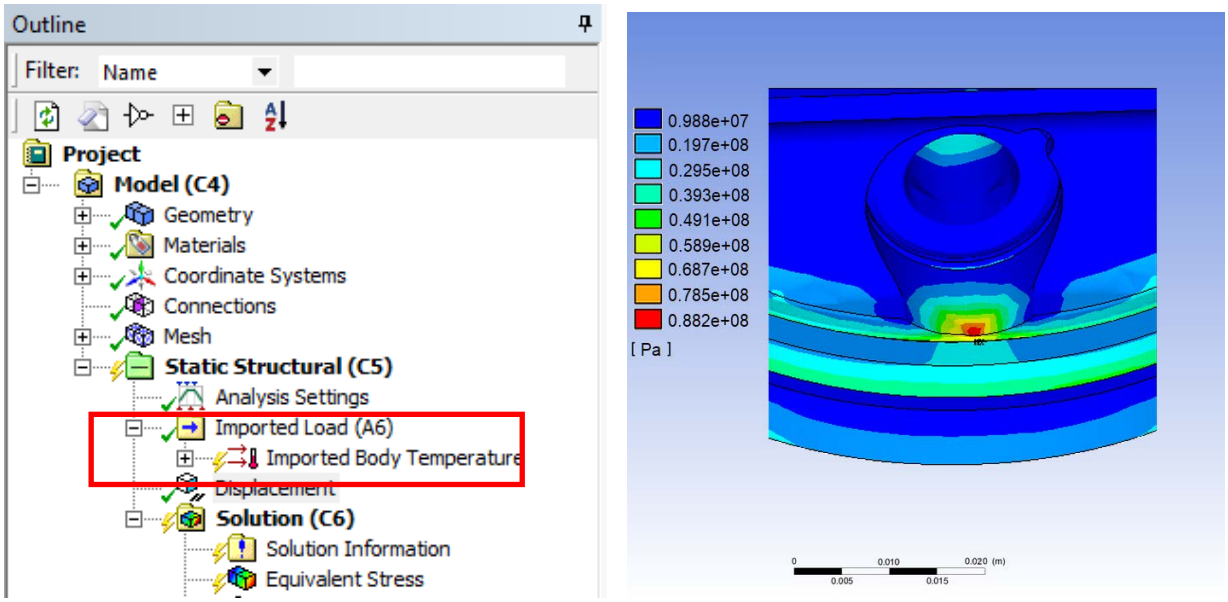


Рисунок Г.3 – Температурне поле поршня, отримане за умови граничних умов теплообміну

Розрахунок температурного напруження виконується в програмному середовищі Static Structural (рис.Г.4а). Для цього задаються граничні умови (було вибрано нерухоме закріплення поршня по його осі), а як навантаження використовується поле температур, отримане на першому етапі моделювання (рис.Г.4а). Один із результатів розрахунку показаний на рис.Г.4б у вигляді фрагмента виду поршня з боку отвору під палець.

За результатами розрахунку температурних напружень і деформацій було встановлено, що у деяких зразків поршнів з низькою компресійною висотою (що

є поширеною особливістю сучасних автомобільних двигунів) є критичний переріз – на полиці під канавкою маслознімного кільця (рис.Г.4б) безпосередньо над отвором під палець.



а б

Рисунок Г.4 – Завдання температур у програмному середовищі Static Structural: а – у програмі; б – результат розрахунку локальних напружень термопружності при термічному розширенні поршня (показана тонка полиця під канавкою маслознімного кільця)

Наявність тонкого перерізу полиці (товщина у цьому місці у зразка на рис.Г.4б становила 1,2 мм) зумовлено прагненням конструкторів до зменшення висоти поршня. Досвід експлуатації та ремонту великої кількості двигунів підтверджує отриманий результат – відомі не тільки випадки утворення тріщин у цьому перерізі, але й приклади заходів щодо їх виключення (у деяких двигунах поршні мають виріз полиці у цьому місці). Крім того, отримані при моделюванні поля температур можуть бути використані при створенні складних моделей поршнів, що враховують інші навантаження, які виникають при порушенні умов експлуатації. Це, наприклад, належати до перегріву двигуна, коли температурне розширення поршня обмежено циліндром. У таких умовах можлива поява

значних стискувальних напружень, що перевищують границю пружності, та залишкових деформацій стиснення.

Г.2 Розрахунок напружено-деформованого стану шатуна від навантажень стиснення, розтягування та вигину

В експлуатації двигунів з шатуном пов'язана велика кількість несправностей та відмов, спричинених нештатними режимами експлуатації. Тому для дослідження експлуатаційних пошкоджень деталей моделювання навантажень та напружено-деформованого стану шатуна не менш важливе, ніж поршня. При цьому для багатьох експлуатаційних задач пошуку причин несправностей доцільно спрощення у розрахунковій схемі навантаження шатуна аж до простих завдань розтягування-стиснення (рис.Г.5).

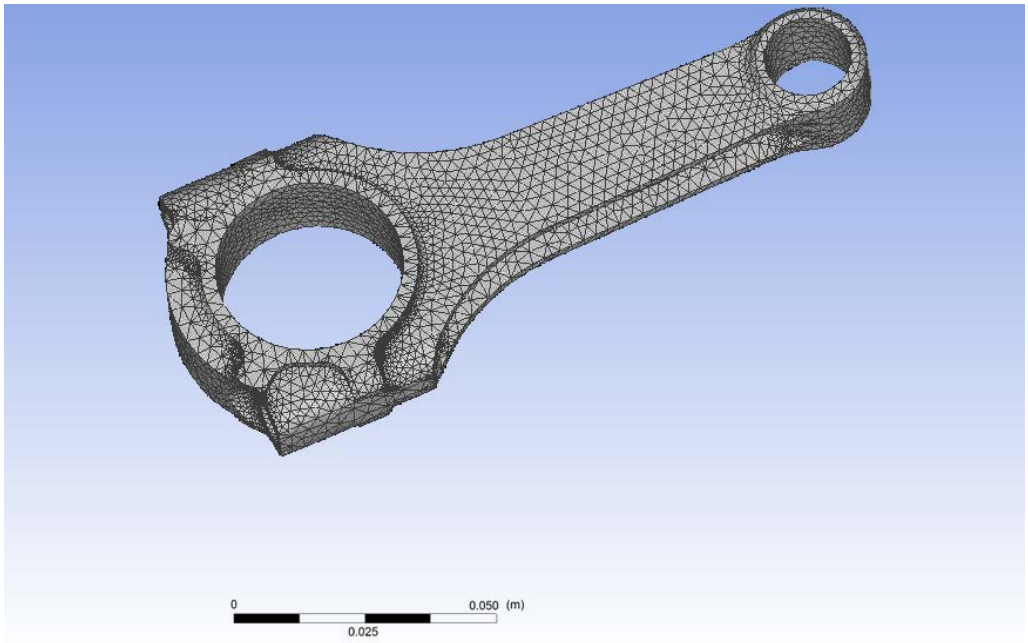


Рисунок Г.5 – Математична (сіточна) модель шатуна з кришкою

Моделювання шатуна виконується у програмному середовищі ANSYS Workbench за допомогою програмного модуля Static Structural, аналогічно тому, як це зроблено для поршня. При створенні математичної моделі шатуна (рис.Г.5) за кількістю елементів також можна вкластися в ліміт для обраної версії

програми (не більше 32.000). Однак для деяких завдань шатун та кришку зручніше розглядати окремо. Наприклад, для задач моделювання стиснення стрижня шатуна, а також для моделювання напружено-деформованого стану поршневого пальця чинні навантаження простіше моделювати на складанні шатуна з пальцем без кришки (рис.Г.6).

Завдання граничних умов може бути різним залежно від розв'язуваного завдання. Так, розтягування стрижня шатуна можна моделювати шляхом нерухомого закріплення площини роз'єму та створення зусилля на поршневу головку шатуна або на поршневий палець (який може бути заданий як недеформованій). Приклад розв'язання такого завдання подано на рис.Г.7.

Аналогічно можна моделювати стиск шатуна. На рис.Г.8 представлений один з варіантів, де було нерухомо закріплено отвір поршневої головки, а зусилля, що стискає, було створено на площині роз'єму кришки по осі шатуна з можливістю поперечного ковзання.

Моделювання навантажень на шатун допомагає виявити перерізи з підвищеною напругою при навантаженні деталі, що може мати практичне значення. Наприклад, при навантаженні стрижня шатуна стискувальним навантаженням перерізу з підвищеною напругою виявляються на зовнішніх краях ребер на переході від кривошипної головки до стрижня (рис.Г.8). Поблизу поршневої головки шатуна розтягувальні зусилля на стрижень викликають схожу картину – можна помітити ділянки ребер з підвищеними напруженнями на крайці ребер трохи нижче переходу від головки шатуна (рис. Г.9).

Окрема задача моделювання напружено-деформованого стану може бути вирішена також для стрижня шатуна. Доцільність розв'язання задачі продиктована можливим впливом умов експлуатації на деякі види пошкоджень деталей шатунно-поршневої групи та їх ознаки. Особливо це важливо, коли при дослідженні причин відмов виникають труднощі з поясненням ознак деяких пошкоджень, їх закономірностей та причинно-наслідкових зв'язків.

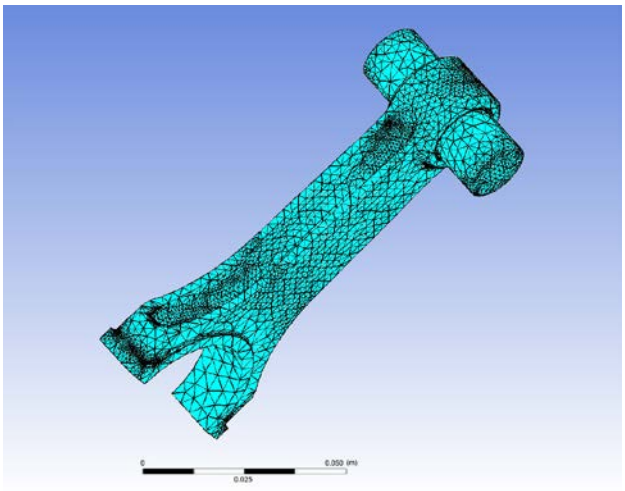


Рисунок Г.6. Математична модель складання шатуна з поршневим пальцем для моделювання стискувальних навантажень

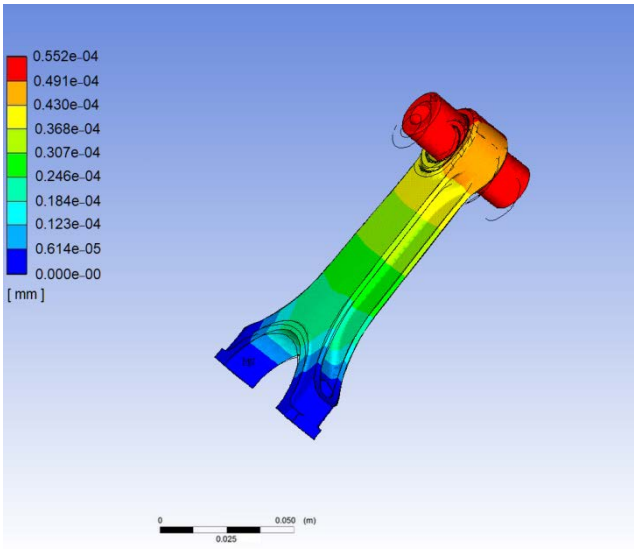


Рисунок Г.7 – Моделювання деформації шатуна при розтягуванні

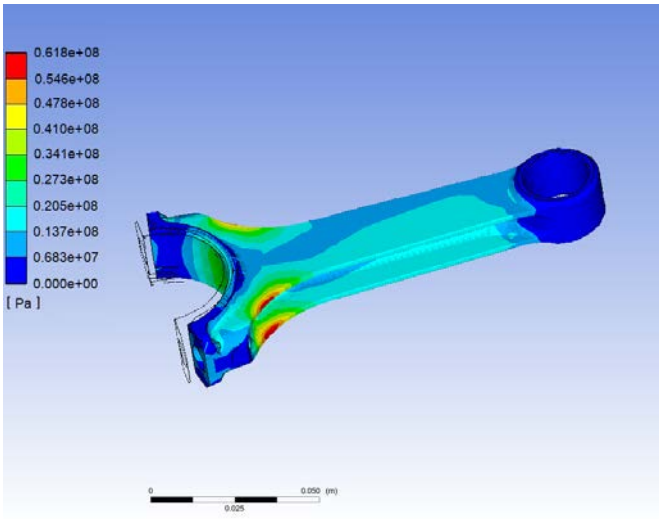


Рисунок Г.8 – Моделювання статичного стиснення вздовж стрижня шатуна

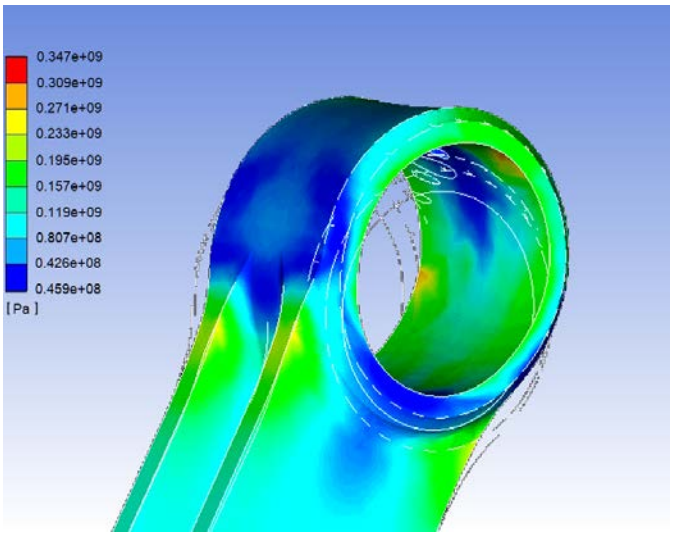


Рисунок Г.9 – Моделювання розтягування шатуна вказує на наявність критичних ділянок поблизу поршневої головки

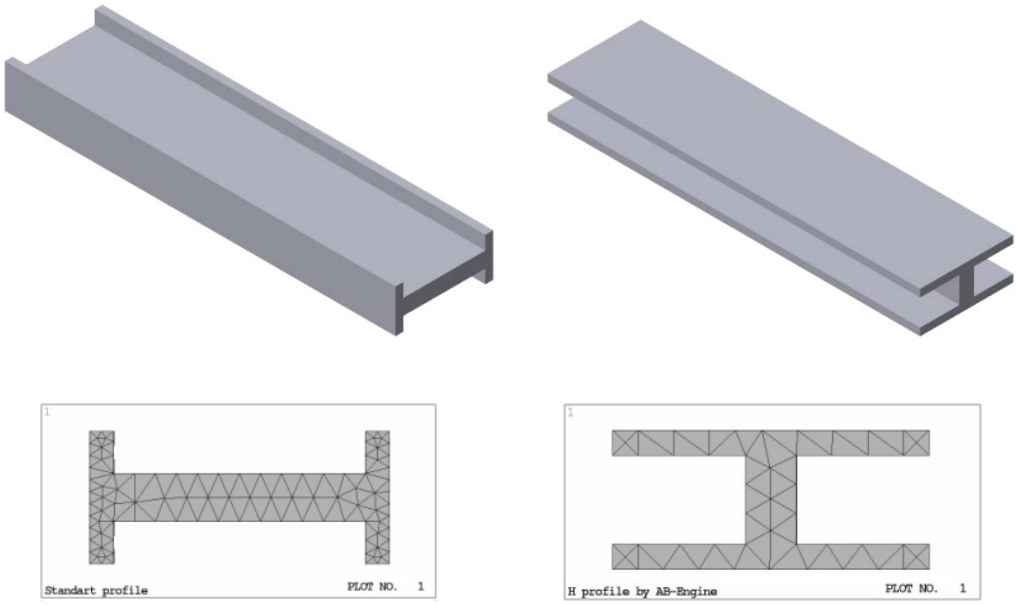
В експлуатації бензинових ДВЗ помічені сліди торкання у верхній частині вогневого пояса поршня над отвором під палець. Такі сліди зазвичай свідчать про можливу непаралельність осей головок шатуна внаслідок деформації його стрижня [79, 248]. Проте проведені вимірювання які завжди підтверджують таку деформацію. Щобільше, сліди торкання можуть мати двосторонній характер, що не відповідає ознаки деформації стрижня.

Для визначення причини явища даного типу було проведено моделювання навантаження стрижня шатуна, причому для різних видів конструкцій в однакових умовах з подальшим порівнянням їх жорсткості.

З цією метою було обрано дві типу балки, що імітують стрижень шатуна – традиційна двотаврова, що застосовується в конструкції шатунів більшості автомобільних двигунів, і Н-подібна, що іноді застосовується в конструкціях шатунів найбільш високооборотних двигунів (рис.Г.10). Приклади досліджень Н-подібних шатунів відомі [194], проте в них зазвичай розглядаються суто конкретні завдання без порівняння з шатуна традиційної конструкції.

Для зрівнювання умов площа поперечного перерізу балки була рівномірно розподілена за конструктивними елементами та в обох випадках склала однакову величину – 128 мм^2. Балки мали різний профіль з однаковими габаритними

розмірами – довжиною 100 мм шириною 25 мм та товщиною профілю 11 мм, з ребрами товщиною 2 мм та середньою частиною 4 мм. Заокруглень по ребрах для спрощення завдання навмисно не передбачалося (рис.Г.10).



а б

Рисунок Г.10 – Стрижні шатунів досліджуваного типу: а – традиційний; б – Н-подібний

Отримана скінченноелементна модель (рис.Г.10) складається з 12420 елементів стандартного профілю і 7790 елементів Н-подібного профілю [305], що відповідає обмеженням використовуваної версії програми ANSYS.

Розрахункова схема для моделювання була задана наступним чином: обидві балки на одному краю мали нерухоме загортання, а інший край залишався вільним, але до нього прикладалася однакова поперечна сила. Така сила була змодельована у вигляді розподіленого поперечного навантаження на невелику ділянку стрижня розміром 21х5 мм (рис.Г.11).

Далі було визначено напружено-деформований стан балок. Спочатку з допомогою розрахункового модуля Static Structural визначалася форма стрижня під впливом одиничної сили. Після цього отримані дані вводилися в програму і

визначалися шукані напруження та деформації для кількох значень сили, у тому числі для максимальної сили 1000 Н.

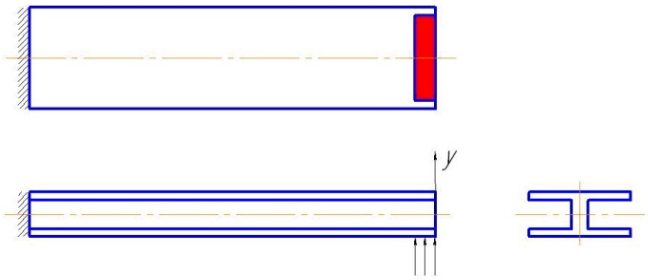


Рисунок Г.11 – Розрахункова схема стрижня шатуна під дією поперечного розподіленого навантаження

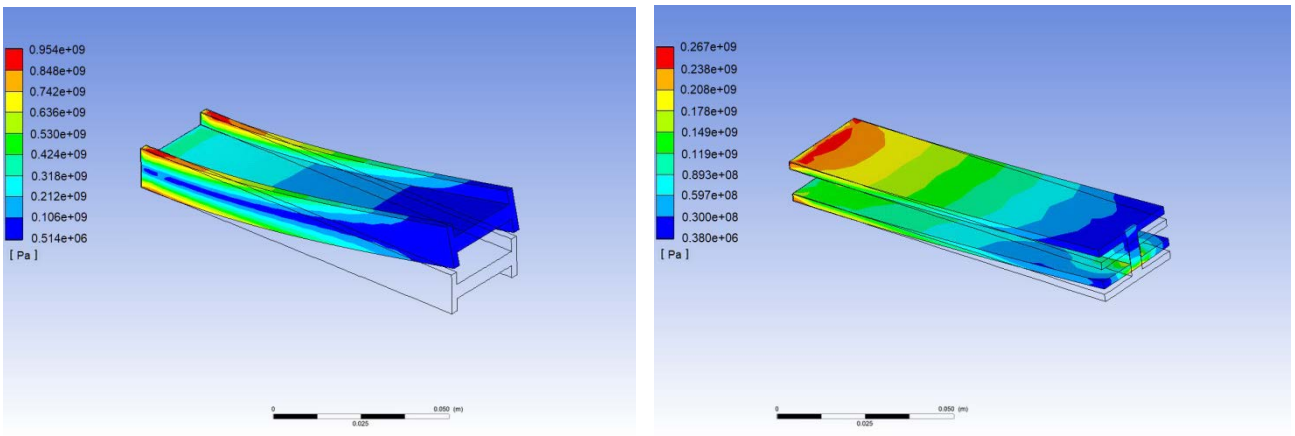
Результати розрахунку дозволяють бачити як стан деталі під навантаженням, а і її вихідне становище. Для наочності масштаб деформацій балок на графіках збільшено вп'ятеро (рис.Г.12).

У традиційного профілю максимальні поперечні деформації (осі у) під дією заданого максимального навантаження 1000 Н склали 2,69 мм. Водночас у Н-подібного профілю деформація виявилась в 3,5 раза менше – 0,763 мм.

Аналогічно при тому ж навантаженні максимальне напруження (біля закладення) в балці традиційного профілю в 3 рази вище і становлять 946 МПа замість 316 Па для Н-подібної балки (рис.Г.13).

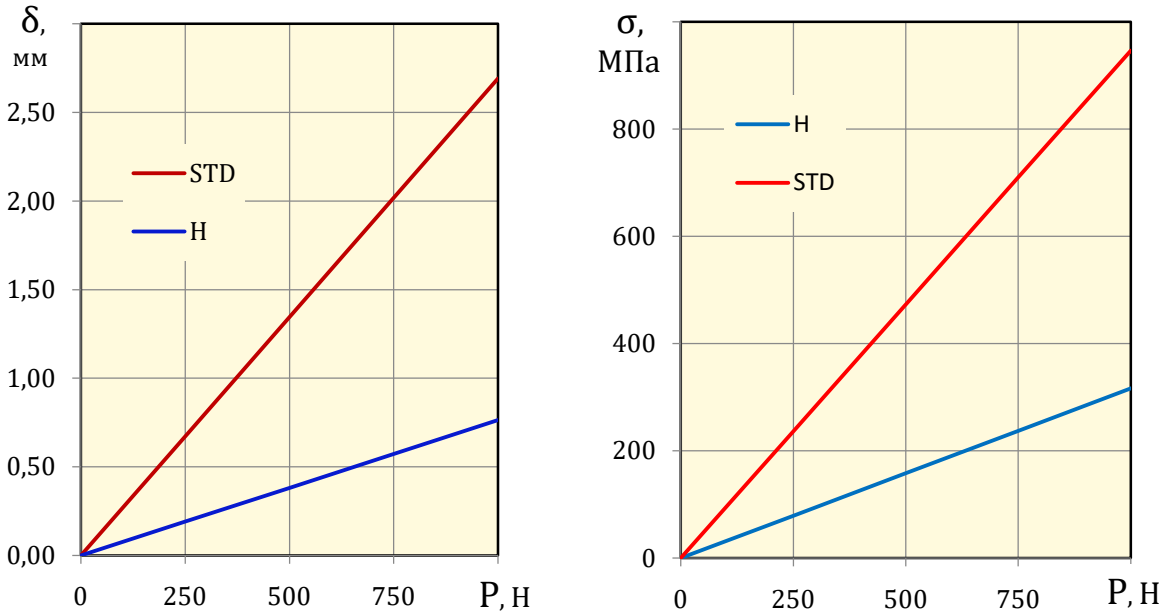
Таким чином, шатун з Н-подібним стрижнем забезпечує у 3,5 раза більшу поперечну жорсткість, ніж шатун зі стрижнем стандартного профілю при однаковій площі поперечного перерізу. Він навіть вимагає трохи менш міцного матеріалу при тій же масі. При цьому в поздовжньому (окружному) напрямку обидва типи шатунів по жорсткості, що визначається товщиною горизонтально розташованих елементів на рис.Г.10, мало відрізняються один від одного.

Для уточнення причин появи ознак поперечної деформації стрижня шатуна в експлуатації необхідно розглянути, на що впливає поперечна жорсткість стрижня.



а б

Рисунок Г.12 – Напруження по фон Мізесу та характер поперечної деформації: а – у стрижня традиційної конструкції; б – у Н-подібного стрижня при однаковому поперечному навантаженні 1000 Н



а б

Рисунок Г.13 – Зміна напружено-деформованого стану у стрижня шатунів з традиційним (STD) та Н-подібним профілем залежно від поперечного навантаження: а – деформації; б – напруження по фон Мізесу

Згідно з традиційними уявленнями [19, 226, 343, 382], ніяких поперечних навантажень на стрижень шатуна у двигуні не виникає, і впливом поперечної жорсткості шатуна на роботу шатунно-поршневої групи заведено нехтувати. Однак не всі положення класичної теорії можна автоматично поширити з робочих режимів на позаштатні, спричинені порушенням умов експлуатації. Тому для наближеної оцінки поперечної жорсткості шатуна можна розглянути спрощену схему системи "шатун-поршень" у вигляді балки, защемленої на стороні кривошипа та з вантажем (поршень з пальцем), прикладеним у центрі поршневої головки (рис.Г.14).

Відповідно до [13], нижча частота власних поперечних коливань системи може бути приблизно розрахована за формулою (1.57). Момент інерції I_y залежить, згідно з формулами (1.54), від геометричних характеристик стрижня. Це визначає залежність резонансної частоти обертання як від типу, а й від розмірів профілю стрижня, зокрема, від його відносної ширини *h/b*, рівним відношенню ширини *h* профілю до його товщини *b*.

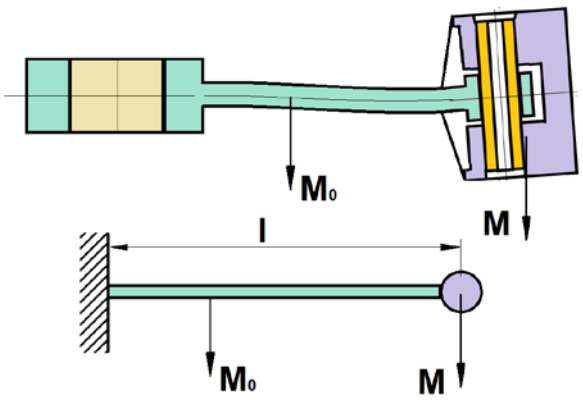


Рисунок Г.14 – Спрощена розрахункова схема для оцінки поперечної жорсткості шатунно-поршневої групи

Поперечні коливання системи призводять до порушення точного з'єднання поршня з циліндром, що може виявлятися у вигляді ознак двостороннього торкання днища поверхні циліндра в зоні над отвором під поршневий палець (рис.Г.15).

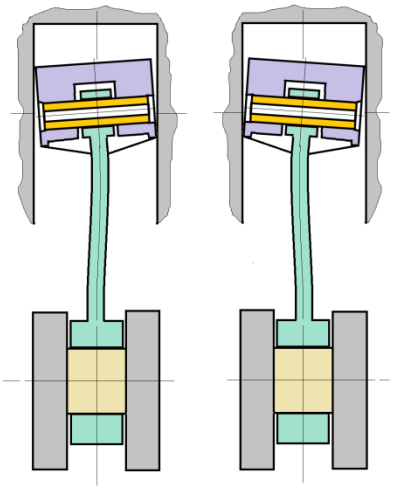


Рисунок Г.15 – Вид поперечних коливань системи "шатун-поршень" у циліндрі

Розрахунок показує [79, 103], що у шатунів автомобільних двигунів зі стандартним профілем стрижня нижча частота власних поперечних коливань, розрахована за формулою (1.57), виявляється в межах 7000-7500 хв$^{-1}$. Близькість частоти коливань до максимальної робочої частоти обертання показує, що може стати причиною резонансу і зростання механічних втрат (рис.Г.16).

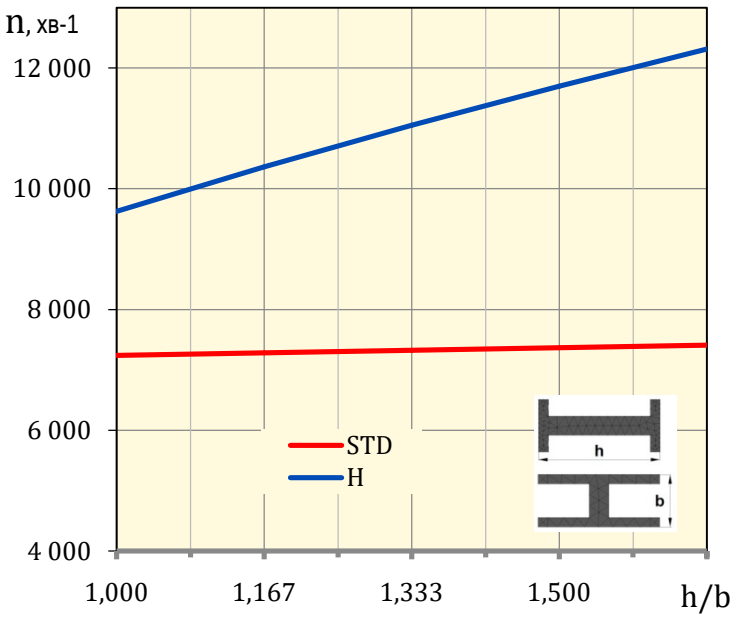


Рисунок Г.16 – Орієнтовна оцінка впливу типу та розміру стрижня шатуна на співвідношення частоти обертання з частотою власних поперечних коливань: Н-подібний профіль дозволяє перемістити резонанс на високі частоти, особливо шляхом збільшення його ширини

У той самий час, з розрахунку випливає, що перехід на Н-подібний стрижень шатуна одночасно підвищує частоту своїх коливань системи в 1,5-1,6 раза – до 11000-12000 хв$^{-1}$.

Звідси випливає, що згинальні поперечні коливання шатуна можуть бути причиною зростання механічних втрат та погіршення основних параметрів ДВЗ. Особливо це стосується сучасних малолітражних високооборотних двигунів. З іншого боку, результати моделювання показують, що наявність ознак поперечних коливань шатуна при дослідженні причин несправностей може свідчити роботу двигуна на надмірно високих частотах обертання і можливе порушення умов експлуатації.

Г.3 Визначення напружено-деформованого стану кришки шатуна

Відомо, що в експлуатації ДВЗ після ремонту виявляється значна кількість несправностей, одна з яких пов'язана з неправильною затяжкою шатунних болтів. Нерідко це призводить до руйнування шатуна та відмови двигуна. Як показує досвід, небезпечна не лише недостатня затяжка – не менш небезпечна і надмірна затяжка, оскільки вона може створити надмірні напруження і в самому болті, і в кришці шатуна, спровокувавши подальше втомне руйнування.

Для підтвердження цього, а також для подальшого використання результатів досліджень у практиці, було виконано моделювання навантаження кришки шатуна. Як і інші завдання моделювання експлуатаційних пошкоджень, це завдання також вирішувалося наближено, при цьому кришка розглядалася окремо від шатуна (мал.17), але моделювалася збірка кришки з валом (рис.Г.18).

При постановці граничних умов передбачалося ковзання кришки закріпленим валом. Крім того, задавалися питомі контактні навантаження (тиски) на площині роз'єму та на майданчиках головок болтів.

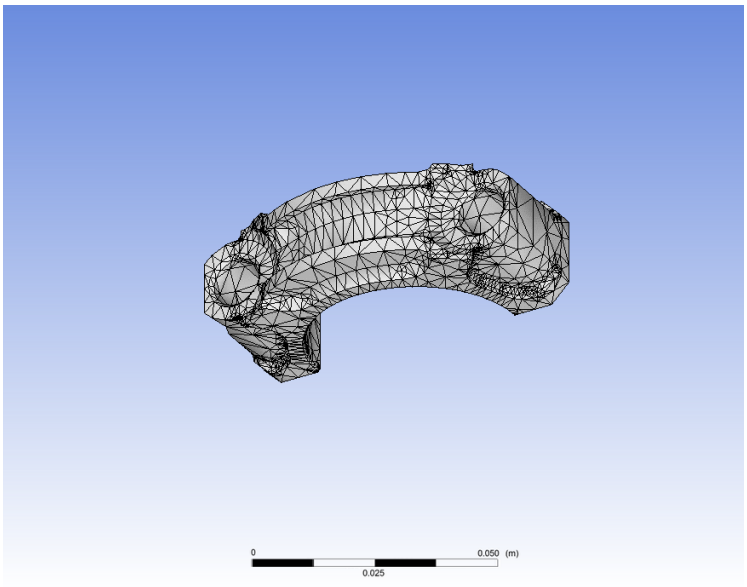


Рисунок Г.17 – Математична модель кришки шатуна

Різниця між тисками створює розтягувальне зусилля на кришці, що моделює навантаження в з'єднанні кришки з вкладишем підшипника і шийкою колінчастого валу (рис.Г.18). Це зусилля може бути розраховане за формулою (1.32).

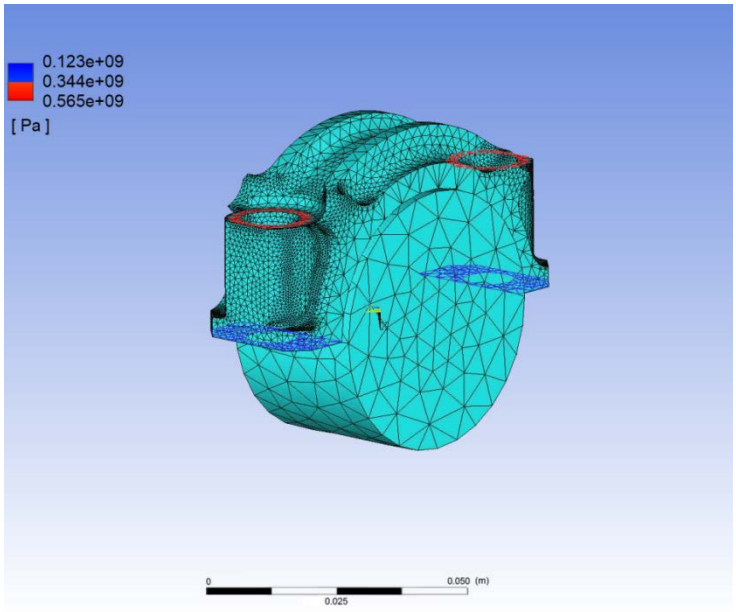


Рисунок Г.18 – Складання кришки шатуна з валом (показані контактні напруження на площині роз'єму та на майданчиках шатунних болтів)

За результатами моделювання [79] у межах проведеного дослідження виявлено найнебезпечніші перерізи (рис.Г.19). З'ясувалося, що критичні перерізи конструкції знаходяться в зоні переходів (галтелей) від опорної площини для головок болтів, де напруження набагато вищі, ніж на сусідніх ділянках і загалом у кришці.

Результати пояснюються в такий спосіб. З одного боку, перетяжка болтів у шатуні такої конструкції взагалі неприпустима. З іншого боку, за порушення умов експлуатації, коли виникає перевантаження кришки (наприклад, при перевищенні допустимих оборотів), кришка може бути джерелом руйнувань у двигуні. Це може бути важливим при дослідженні причин несправностей у двигунах.

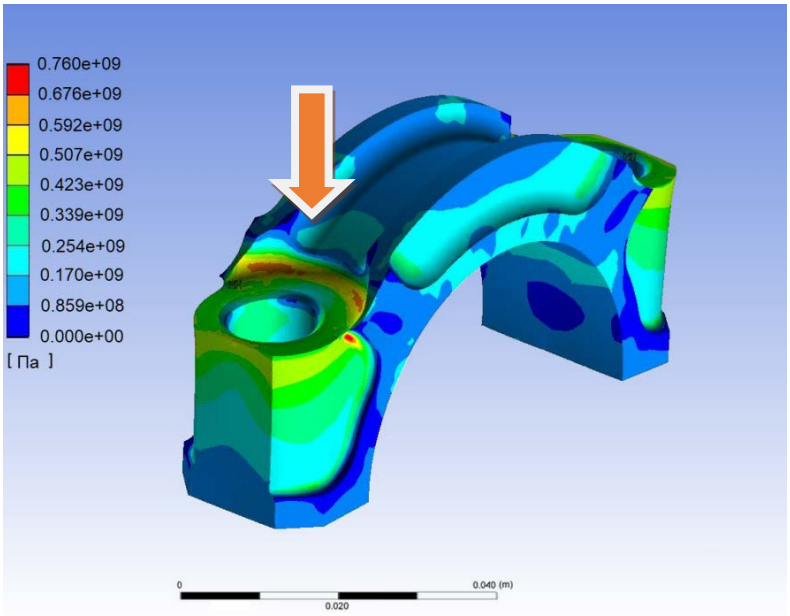


Рисунок Г.19 – Критичний переріз кришки шатуна, виявлений при моделюванні робочого навантаження

Крім того, використовувати такий шатун у модернізованому двигуні з повішеною потужністю, ніж у стандартного, теж небезпечно – кришка шатуна явно потребує доопрацювання (як мінімум збільшення радіуса галтелі). Причому цей результат моделювання цілком відповідає практиці, коли були відзначені випадки руйнування кришки шатуна за вказаними небезпечними перерізами за високого форсування двигунів. Отримані дані можна використовувати й при

дослідженнях причин відмови модифікацій двигунів, якщо ці модифікації передбачають підвищення потужності.

Г.4 Розрахунок напружено-деформованого стану поршневого пальця від згинальних навантажень

Розрахунок напружено-деформованого стану для складання з двох деталей – шатуна та поршневого пальця був виконаний при завданні у поєднанні поршня та поршневого пальця тиску у вигляді навантаження, розподіленого по довжині та колу. Граничні умови були визначені завданням розподіленого навантаження (рис.Г.20) згідно з формулами (5.18) та (5.19).

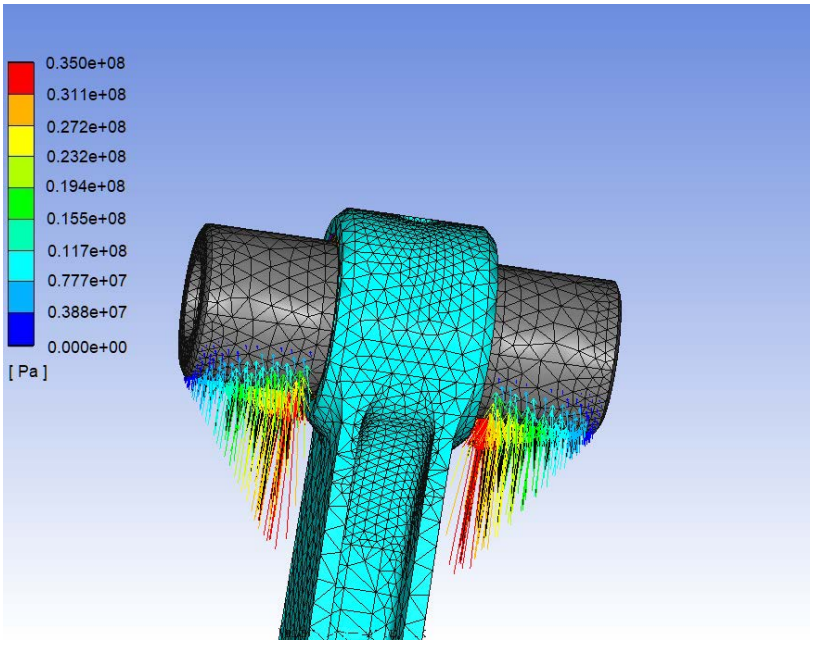
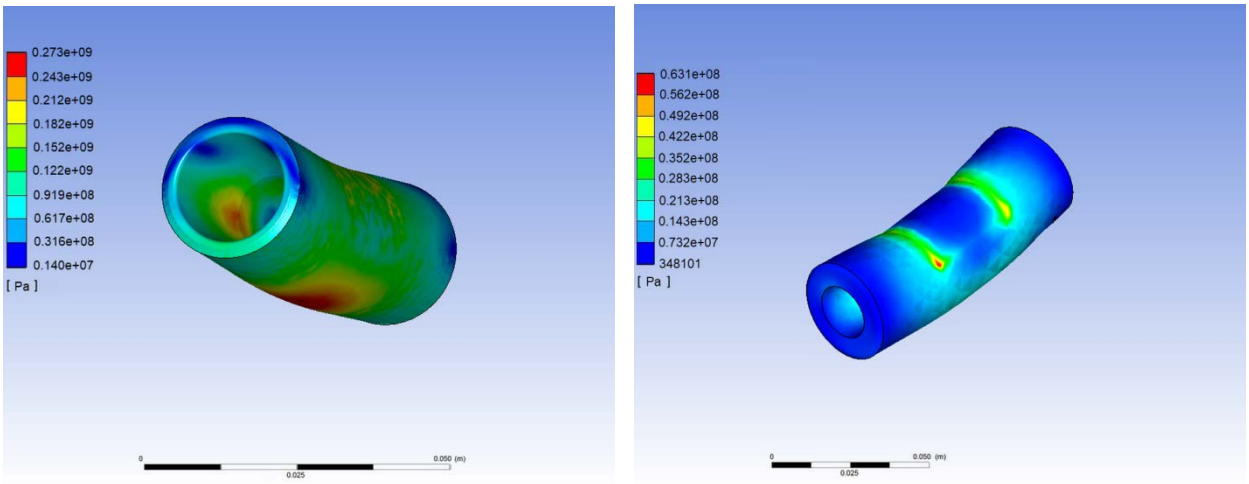


Рисунок Г.20 – Завдання розподіленого навантаження для з'єднання поршневого пальця з поршневою головкою шатуна

Оскільки руйнування поршневого пальця в експлуатації двигунів не є рідкістю, моделювання навантажень дозволяє виявити небезпечні перерізи як зовні, так і усередині пальця (рис.Г.21). Можна також визначити деформацію (овалізацію) пальця під навантаженням (рис.Г.22), у тому числі при порушенні умов експлуатації.



а б

Рисунок Г.21 – Критичні ділянки, що виявляються у поршневого пальця: а – на внутрішній поверхні в зоні переходу від циліндричної поверхні до конічної, б – на зовнішній поверхні у сполучення з крайками отвору поршневої головки шатуна

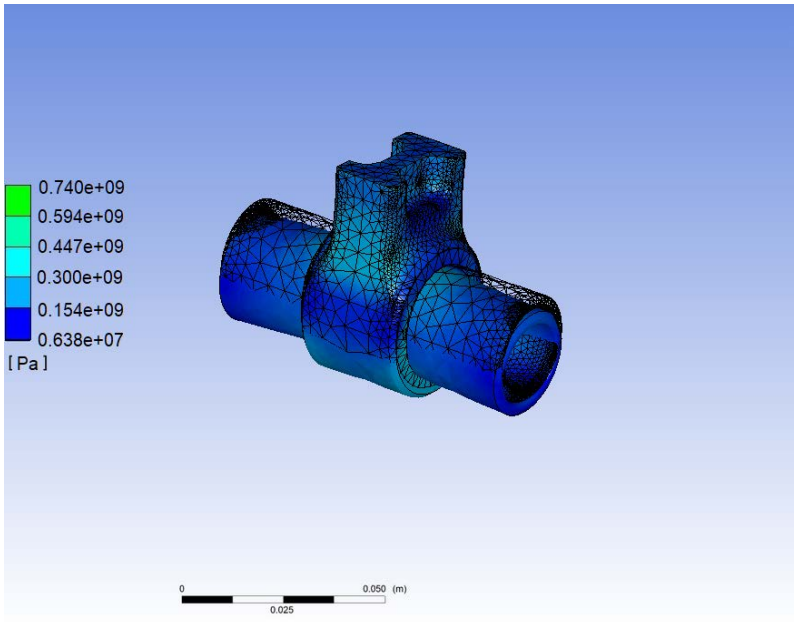


Рисунок Г.22 – Характер деформації (овалізація) пальця під прикладеним розподіленим навантаженням

Результати моделювання показали [79, 248], що всі досліджені деталі мали перерізи з локально підвищеними напруженнями. Такі ділянки були умовно

названі критичними. Саме в таких місцях слід очікувати виникнення тріщин утоми у разі, якщо навантаження на ці деталі були б підвищені в результаті перевищення штатних навантажень в експлуатації.

Під час проведення досліджень також отримано, що сам обчислювальний експеримент із розрахунку напружено-деформованого стану основних деталей шатунно-поршневої групи у вигляді моделей з числом елементів близько 30.000 на сучасному персональному комп'ютері займає не більше 1-2 хвилин. При цьому підготовка обчислювального експерименту за наявності готової тривимірної моделі потребує 15-20 хвилин, а обробка результатів розрахунку - ще 30-40 хвилин, залежно від складності поставленого завдання. Тобто, загальний час дослідження однієї деталі не перевищує однієї години роботи. Такий час є не лише допустимим для роботи, а й свідчить про можливість застосування комп'ютерного моделювання під час вирішення завдань щодо визначення причин несправностей двигунів.

Зрозуміло, що внаслідок прийнятих спрощень при постановці граничних умов поле напружень у досліджених деталях може в повному обсязі відповідати дійсності, що вказує на оцінювальний характер розрахунків. Однак, навіть попередні результати вже здатні дати інформацію про можливі причини несправностей і відмов двигуна, викликаних порушеннями умов експлуатації. При цьому результати, одержувані при визначенні напружено-деформованого стану деталей, можуть бути використані не тільки безпосередньо, але і як вихідні дані для подальших розрахунків з моделювання та виявлення причин пошкоджень деталей від нештатних навантажень.

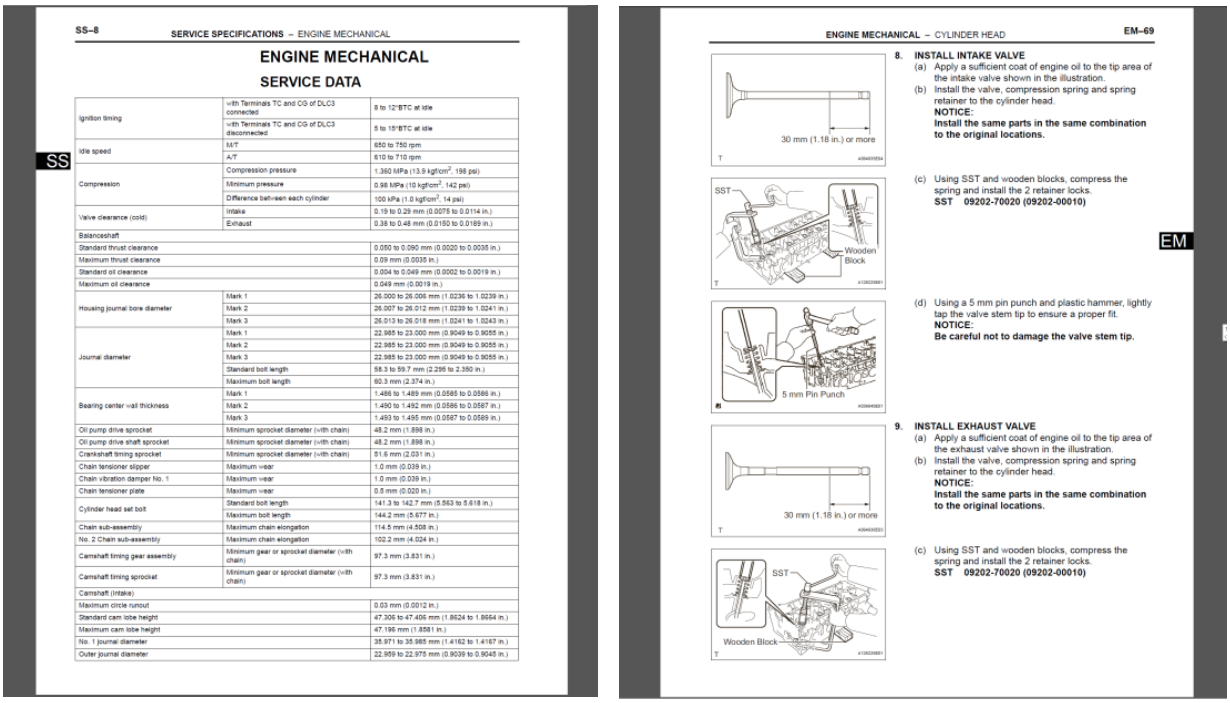
ДОДАТОК Д – ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ ДВИГУНА АВТОМОБІЛЯ

Д.1 Авторизована інформація

Авторизована інформація – це інформація безпосередньо від виробника автомобіля. Вона є його власністю та призначається для використання офіційними дилерами. Таку інформацію з повною підставою називають первинною або дилерською [7].

Дилерська інформація, очевидно, є вузькоспеціалізованою, тому що вона охоплює автомобілі лише однієї марки, а найчастіше – однієї моделі. Коли на ринок виходить нова модель або серія автомобілів, виробник одночасно поширює і технічну інформацію по цих автомобілях. Це необхідне забезпечення можливості їх обслуговування. Оскільки ніхто не має більш точних даних щодо автомобіля, ніж виробник цього автомобіля, авторизована технічна інформація є найбільш достовірною. З цієї причини така інформація становить максимальну цінність для автофахівців, у тому числі під час проведення досліджень несправного двигуна (рис.Д.1).

При проведенні досліджень технічного стану двигуна дилерська інформація про досліджуваний автомобіль зазвичай завжди доступна на запит до замовника дослідження, якщо замовник – офіційний дилер або суд. Однак при проведенні досліджень на замовлення власника автомобіля дилерська інформація, як власність виробника та дилера, може виявитися недоступною з юридичних підстав та/або через надмірно високу вартість та складність. Крім того, бази даних різних виробників мають різну організаційну структуру, і гарне освоєння відразу кількох по-різному побудованих програм вимагає від користувача професійних навичок не лише у знанні систем автомобіля, а й у роботі з комп'ютером.



SS–8 SERVICE SPECIFICATIONS – ENGINE MECHANICAL

ENGINE MECHANICAL

SERVICE DATA

SS

Ignition timing	with Terminals TC and CG of DLC3 connected	8 to 12°BTC at idle
	with Terminals TC and CG of DLC3 disconnected	5 to 15°BTC at idle
Idle speed	M/T	650 to 750 rpm
	A/T	610 to 710 rpm
Compression	Compression pressure	1,360 kPa (13.9 kgf/cm², 198 psi)
	Minimum pressure	0.98 MPa (10 kgf/cm², 142 psi)
	Difference between each cylinder	100 kPa (1.0 kgf/cm², 14 psi)
Valve clearance (cold)	Intake	0.19 to 0.29 mm (0.0075 to 0.0114 in.)
	Exhaust	0.38 to 0.48 mm (0.0150 to 0.0189 in.)
Balanceshaft		
Standard thrust clearance		0.050 to 0.090 mm (0.0020 to 0.0035 in.)
Maximum thrust clearance		0.09 mm (0.0035 in.)
Standard oil clearance		0.004 to 0.049 mm (0.0002 to 0.0019 in.)
Maximum oil clearance		0.049 mm (0.0019 in.)
Housing journal bore diameter	Mark 1	26.000 to 26.006 mm (1.0236 to 1.0239 in.)
	Mark 2	26.007 to 26.012 mm (1.0239 to 1.0241 in.)
	Mark 3	26.013 to 26.018 mm (1.0241 to 1.0243 in.)
Journal diameter	Mark 1	22.985 to 23.000 mm (0.9049 to 0.9055 in.)
	Mark 2	22.985 to 23.000 mm (0.9049 to 0.9055 in.)
	Mark 3	22.985 to 23.000 mm (0.9049 to 0.9055 in.)
	Standard bolt length	58.3 to 59.7 mm (2.295 to 2.350 in.)
	Maximum bolt length	60.3 mm (2.374 in.)
Bearing center wall thickness	Mark 1	1.486 to 1.489 mm (0.0585 to 0.0586 in.)
	Mark 2	1.490 to 1.492 mm (0.0586 to 0.0587 in.)
	Mark 3	1.493 to 1.495 mm (0.0587 to 0.0589 in.)
Oil pump drive sprocket	Minimum sprocket diameter (with chain)	48.2 mm (1.898 in.)
Oil pump drive shaft sprocket	Minimum sprocket diameter (with chain)	48.2 mm (1.898 in.)
Crankshaft timing sprocket	Minimum sprocket diameter (with chain)	51.6 mm (2.031 in.)
Chain tensioner slipper	Maximum wear	1.0 mm (0.039 in.)
Chain vibration damper No. 1	Maximum wear	1.0 mm (0.039 in.)
Chain tensioner plate	Maximum wear	0.5 mm (0.020 in.)
Cylinder head set bolt	Standard bolt length	141.3 to 142.7 mm (5.563 to 5.618 in.)
	Maximum bolt length	144.2 mm (5.677 in.)
Chain sub-assembly	Maximum chain elongation	114.5 mm (4.508 in.)
No. 2 Chain sub-assembly	Maximum chain elongation	102.2 mm (4.024 in.)
Camshaft timing gear assembly	Minimum gear or sprocket diameter (with chain)	97.3 mm (3.831 in.)
Camshaft timing sprocket	Minimum gear or sprocket diameter (with chain)	97.3 mm (3.831 in.)
Camshaft (Intake)		
Maximum circle runout		0.03 mm (0.0012 in.)
Standard cam lobe height		47.306 to 47.406 mm (1.8624 to 1.8664 in.)
Maximum cam lobe height		47.196 mm (1.8581 in.)
No. 1 journal diameter		35.971 to 35.985 mm (1.4162 to 1.4167 in.)
Outer journal diameter		22.959 to 22.975 mm (0.9039 to 0.9045 in.)

ENGINE MECHANICAL – CYLINDER HEAD EM–69

EM

30 mm (1.18 in.) or more

8. INSTALL INTAKE VALVE
(a) Apply a sufficient coat of engine oil to the tip area of the intake valve shown in the illustration.
(b) Install the valve, compression spring and spring retainer to the cylinder head.
NOTICE:
Install the same parts in the same combination to the original locations.

SST

Wooden Block

(c) Using SST and wooden blocks, compress the spring and install the 2 retainer locks.
SST 09202-70020 (09202-00010)

5 mm Pin Punch

(d) Using a 5 mm pin punch and plastic hammer, lightly tap the valve stem tip to ensure a proper fit.
NOTICE:
Be careful not to damage the valve stem tip.

30 mm (1.18 in.) or more

9. INSTALL EXHAUST VALVE
(a) Apply a sufficient coat of engine oil to the tip area of the exhaust valve shown in the illustration.
(b) Install the valve, compression spring and spring retainer to the cylinder head.
NOTICE:
Install the same parts in the same combination to the original locations.

SST

Wooden Block

(c) Using SST and wooden blocks, compress the spring and install the 2 retainer locks.
SST 09202-70020 (09202-00010)

Рисунок Д.1 – Приклад дилерської довідкової вузькоспеціалізованої інформації з досліджуваного двигуна як основи отримання великої кількості точних даних про об'єкт дослідження. При дослідженні причин несправності двигунів це, в першу чергу, розміри та параметри вузлів та деталей, коди помилок електронних систем керування, а також методи їх перевірки

Ці особливості первинної інформації зазвичай призводять до того, що при дослідженні причин несправностей двигунів автомобілів різних виробників альтернативи використанню універсальних неавторизованих джерел та баз даних може не бути.

Ще один підвид довідкової інформації від виробників, яка має особливу важливість при проведенні досліджень несправного двигуна – це посібник (інструкція) з експлуатації досліджуваного автомобіля. Назвати це джерело інформації дилерським можна умовно, оскільки керівництво прикладається до автомобіля і призначене безпосередньо його власнику, а чи не дилеру. Однак це не менш офіційна інформація, ніж, наприклад, дилерські посібники з обслуговування та ремонту, оскільки її випускає сам виробник автомобіля. Сюди відносяться і додатки до неї – наприклад, гарантійна та сервісна книжка.

З таких інструкцій випливає маса необхідних для дослідження причин несправностей двигуна даних, особливо, якщо йдеться про можливе порушення умов експлуатації. Це заправні місткості, регламент ТО та заміни оливи та рідин, їх дозволені марки, витрати рідин, умови експлуатації автомобіля, порядок дії водія у разі виникнення несправностей тощо. У багатьох випадках без таких даних встановити або навпаки виключити деякі причинно-наслідкові зв'язки, наприклад, виникнення несправності з діями водія, не вдається.

Деякі імпортери (представництва виробників) роблять посібники з експлуатації доступними, їх можна легко знайти та завантажити з відповідного Інтернет-сайту, проте для окремих автомобілів знайти посібник з експлуатації, за відсутності його у власника, важко. При цьому слід враховувати, що виробник може змінювати посібник з експлуатації, і зовсім необов'язково, що посібник, випущений у різні з досліджуваним автомобілем роки, відповідає даному автомобілю.

Для автомобілів низки локальних ринків є важливі особливості. Наприклад, посібник з експлуатації для будь-якого автомобіля, що імпортується в США, зазвичай розташовується на відповідному Інтернет-сайті марки (що, очевидно, пов'язане з обов'язком виробників імпортованих у США автомобілів відкрито розміщувати інформацію). Однак та ж модель у той же рік випуску, але для іншого ринку, може мати керівництво з деякими важливими відмінностями, що стосуються, зокрема, марок палива, періодичності перевірок, графіків ТО з термінами зміни оливи та фільтрів та ін. У окремих випадках відмінності різко знижують цінність посібників, випущених для автомобілів інших ринків, в конкретних дослідженнях.

Ще одне джерело авторизованої інформації також часто розташоване на Інтернет-сайтах деяких імпортерів – це каталоги запасних частин, що знаходяться на локальних складах. Ця інформація є виключно важливою, якщо при дослідженні поставлено завдання, окрім пошуку причини несправності, вказати способи ремонту та його вартість.

Д.2 Неавторизована інформація

Джерела неавторизованої довідкової технічної інформації – це книги від різних фірм та видавництв, які займаються обробкою та публікацією даних, придбаних у виробників або здобутих іншим шляхом. Таким чином, неавторизована інформація є вторинною інформацією. Вона має різну якість, яка залежить, як мінімум, від двох факторів: від того, наскільки повні дані вдалося видобути видавцеві у виробника, і наскільки вдало вдалося їх переробити.

Згадані показники очікувано вищі у відомих фірм, які давно працюють на ринку технічної інформації. Вони напрацювали гарні зв'язки з автовиробниками та мають достатні матеріальні ресурси для періодичного поповнення та оновлення інформації. Перероблення первинної інформації може полягати у її перекладі, грамотному відборі найбільш корисних відомостей, приведенні по-різному оформлених даних до єдиної форми, зручної для користувача, доповнення фотоматеріалами тощо. Досвід та практика роботи показує, що якісні джерела неавторизованої інформації у переважній більшості випадків дозволяють розв'язувати це проблеми.

На відміну від авторизованої, неавторизована інформація може бути як вузькоспеціалізованою (стосуватися однієї марки, моделі автомобіля або розглядати особливості однієї з його систем), так і універсальною.

Вузькоспеціалізована неавторизована інформація – це досить популярні серед власників автомобілів книги з обслуговування та ремонту конкретних моделей автомобілів, що випускаються багатьма різними видавництвами. Універсальна інформація, навпаки, містить різнобічні відомості про технічний пристрій великої кількості автомобілів – у цьому випадку можна говорити про довідково-інформаційну базу даних. Вона характеризується широтою охоплення за моделями та глибиною представленого матеріалу. У минулому всі ці джерела випускалися у вигляді друкованої продукції, але з розвитком комп'ютерної техніки більшість масивів технічної інформації почали поширюватися на електронних носіях.

З величезної кількості універсальної літератури, що випускається, при дослідженні причин несправностей двигунів найбільший інтерес представляють книги та збірники по автомобілях, двигунах та їх системах європейського видавництва Autodata. У них наводяться опис систем, компонентів, їх розташування, процедури перевірки та ремонту, електросхеми, конфігурації роз'ємів, коди несправностей з розшифровками. Є також алгоритми пошуку несправностей, норми часу та інша корисна технічна інформація щодо європейських та азійських автомобілів. Уся ця інформація зведена в єдину інформаційну базу даних компанії – Autodata Online.

Також слід відзначити велику кількість книг, випущених видавництвом фірми Bosch і присвячених системам та агрегатам подачі палива бензинових та дизельних двигунів. Важливим для оцінки вартості ремонтних робіт з двигунів є також інформація Autodata за нормами часу для сервісних та кузовних робіт. Однак слід мати на увазі, що, як і багато інших неавторизованих джерел, ці бази даних мають обмеження за роками виробництва автомобілів. Тому інформацію щодо нових автомобілів у них не завжди можна знайти.

Для досліджень причин несправностей двигунів практичний інтерес також є універсальними довідковими книгами самої фірми Bosch. Це довідники з бензинових та дизельних двигунів, а також каталоги несправностей насосів високого тиску різних типів та форсунок, з дуже докладним описом процесів, систем та параметрів. З універсальних баз даних можна відзначити довідково-інформаційну базу ESI[tronic] фірми Bosch для автомобілів європейського ринку. У ній представлені найповніші дані щодо автомобілів, на які Bosch постачає запчастини та агрегати. ESI[tronic] містить спеціальний діагностичний розділ та велику інформацію щодо дизельних агрегатів – регулювальні дані, конструкція, інструмент (що визначає її використання і як програмне забезпечення фірмового діагностичного сканера Bosch KTS). У той самий час слід зазначити, що це база є цінним джерелом даних для діагностики, але менш потрібна при дослідженні причин несправностей двигунів.

Справді, різниця між завданнями діагностики та дослідження причин несправностей найбільше проявляється саме у використанні інформаційних баз даних. Наприклад, деякі бази даних, добре відомі та популярні серед діагностів, знаходять обмежене застосування для завдань дослідження причин несправностей двигунів. Це, зокрема, значною мірою відноситься до широко відомої технічної інформації видавництв Mitchell та AllData, що випускаються у вигляді збірок компакт-дисків.

З іншого боку, всю глобальну мережу Інтернет нині умовно слід вважати величезною базою даних. Причина полягає в тому, що велику кількість інформації про автомобілі та двигуни зараз можна знайти в Інтернеті. Причому на деякі автомобілі там іноді вдається знаходити навіть дилерські посібники з ремонту.

Крім цього, деякі бази даних, зокрема каталоги запчастин зі схемами та деталізаціями вузлів, прив'язані до багатьох Інтернет-магазинів з продажу запчастин. Це дозволяє не лише досить легко знайти оригінальний номер деталі та її ціну на незалежному ринку, але також допомагає зрозуміти конструкцію двигуна та скласти список деталей для оцінки вартості ремонту (рис.Д.2).

Однак подібні неавторизовані бази мають недоліки з погляду досліджень причин несправностей, що обмежує їх застосування. У них є далеко не всі моделі автомобілів, тобто охоплення деяких моделей обмежено вторинним ринком з віком автомобілів від 4-5 років і старше. Другий недолік певною мірою пов'язаний з першим – ціни на деталі дані лише у незалежних постачальників, тоді як у разі дослідження несправності, що виникла у гарантійний термін, ремонт проводиться за дилерськими цінами, що помітно перевищує рівень незалежного ринку. Внаслідок чого розрахунок витрат на ремонт гарантійного автомобіля за цими базами даних виконати неможливо.

Ще одне із допоміжних довідкових джерел інформації – каталоги продукції виробників компонентів для двигунів. Відомі виробники випускають велику кількість компонентів та наводять у каталогах їх параметри, у тому числі точні розміри.

Рисунок Д.2 – Типовий приклад деталювання двигуна з неавторизованої бази даних, доступної в Інтернет-магазинах запасних частин

Ця інформація може бути використана для перевірки стану деталей у досліджуваному двигуні. Зараз усі такі каталоги мають онлайн-версії, але за потреби завантажуються з Інтернет-сайтів виробників. Характерно, що з деяких досліджень даний вид інформації може мати ключове значення, тоді як із діагностики жодної потреби у каталогах виробників компонентів мало виникає.

Д.3 Нормативно-технічна документація

Ще одне джерело інформації – це нормативно-технічна документація, що включає стандарти та регламенти [29-30, 36, 100]. Цей вид інформації, з одного боку, можна віднести до довідкової інформації, поряд із авторизованою та неавторизованою. Проте стандарти та регламенти нерідко відіграють роль

директивних документів. Їхня роль в дослідженнях причин несправності стає великою в тих випадках, коли виробники у своїй документації не регламентують будь-які параметри, що вимагають порівняння. Це можливо, наприклад, коли треба порівняти властивості застосовуваного палива, оливи, параметри фільтрів, властивості матеріалів деталей та інші з деякими еталонними "нормальними" значеннями.

Нормуються і деякі методики, наприклад, випробувань вузлів та агрегатів [29, 34], відбору проб палива, оливи [37], властивості матеріалів [41, 233] та деякі інші, які можуть бути корисні при деяких видах досліджень. Практика також показує, що з досліджень причин несправностей двигунів такі джерела мають, зазвичай, допоміжне, а чи не основне значення. Однак у деяких випадках їх дані можуть вказати напрямок подальших досліджень і навіть надати ключову інформацію про причину несправності (наприклад, за сильних відмінностей від заданого регламентами та стандартами властивостей палива, твердості матеріалу деталі та інших параметрів).

Проте, перебільшення ролі цього виду технічної інформації, особливо якщо вона призначена для локальних ринків, при проведенні досліджень несправностей двигунів небажано, а іноді навіть неприпустимо. При виробництві двигунів виробники можуть керуватися іншими нормативними документами, що визначає роль стандартів та регламентів лише як допоміжну та доповнювальну до інших видів джерел.

Д.4 Спеціальна довідкова технічна інформація

Особливе місце в інформаційному забезпеченні досліджень причин несправності займають видання виробників компонентів для двигунів, присвячені експлуатаційним пошкодженням продукції, що випускається. За важливістю наданої інформації ці дані цілком заслуговують на виділення в окрему групу джерел технічної інформації, яку можна назвати спеціальними.

Це, зазвичай, відкриті джерела інформації, у яких міститься спеціальна інформація безпосередньо на дослідження причин несправностей двигунів. Характерно, що цей вид інформації надзвичайно важливий для дослідження несправностей, але мало або взагалі не потрібний при діагностиці двигунів. В цьому проявляється одна з головних відмінностей між дослідженням причин несправності двигунів та діагностикою.

Серед спеціальних джерел виділяється два головні виробники компонентів для двигунів і, відповідно, спеціальної інформації щодо цих компонентів. Однією з них є німецька фірма MSI Motor Service International (Kolbenschmidt). У базі даних цієї фірми величезна кількість матеріалів про пошкодження всіх деталей і вузлів двигунів, що випускаються фірмою – гільз циліндрів, поршнів, поршневих кілець і пальців, вкладишів підшипників, клапанів, напрямних втулок, фільтрів тощо. [164-165, 317-318, 339 401]. Інформація надається у вигляді своєрідних ілюстрованих фотографіями довідників (каталогів) несправностей окремих деталей або їх груп за основними ознаками несправностей. Але є й спеціальні книги загального характеру, наприклад, з витрат оливи. Окремою темою проходить ще одна група посібників – за технологіями правильного ремонту деталей двигунів. Вони дуже корисні для пошуку несправностей, пов'язаних з ремонтом. Фірма також випускає технічні бюлетені з окремих конкретних найважливіших видів пошкоджень і руйнувань деталей.

Не менш важливим джерелом аналогічної спеціальної довідкової інформації є німецька фірма-виробник компонентів для двигунів MAHLE. Її ілюстровані фотографіями довідники (каталоги) несправностей також охоплюють всі рухові вузли і деталі, що випускаються цією фірмою [178, 180, 183-184, 292, 338, 347]. До того ж ця інформація доповнює інформацію Kolbenschmidt, а деякі дані MAHLE можна вважати унікальними. Наприклад, це стосується книг з ушкоджень вкладишів, несправностей турбокомпресорів, досліджень напружено-деформованого стану та зносу різних деталей [347, 393, 399-400].

З корисних спеціальних джерел інформації цього виду слід також відзначити ілюстровані довідники несправностей поршнів англійської фірми AE, підшипників колінвала американської фірми Clevite [178-179] та ізраїльської KING Bearings [269], пошкоджень прокладок головок циліндрів німецької фірми Elring [161].

Аналогічні довідники несправностей випускають деякі автовиробники, наприклад, Ford [182] та VW. Існують спеціальні довідники несправностей окремих вузлів, двигунів та допоміжних агрегатів, що випускають їх виробники – наприклад, довідники несправностей підшипників насосів охолоджувальної рідини (SKF), маховиків та демпферів (LUK, SACHS, DANA).

Практика, тим щонайменше, показує, що хоч би широкими та докладними були публіковані спеціальні довідкові дані, у багатьох їх завжди вдається знайти потрібну інформацію. Це відбувається тому, що нерідко вона потрібна в іншій, необхідної досліднику формі, ніж це дає виробник компонентів (наприклад, у спеціальних каталогах-довідниках несправностей виробників практично неможливо знайти прикладів виробничих дефектів).

Саме тому, попри велику кількість готових баз даних та довідкової інформації, включаючи спеціальну, визначення причин несправностей, особливо пов'язаних з порушенням умов експлуатації, продовжує залишатися складною проблемою. Її рішення, окрім технічної інформації, пов'язане з вирішенням комплексу завдань, включаючи правильний та обґрунтований вибір методів дослідження та застосовуваного для цього обладнання разом із використанням спеціальної інформації.

Щоб зрозуміти технологію практичного використання спеціальних довідників, необхідно розглянути, які дані вони надають. По-перше, це ознаки пошкодження конкретної деталі (поршня, поршневих кілець, пальця, циліндра, клапана, вкладиша підшипника і т.д.) та докладний опис характеру пошкодження з додатком фотографій пошкоджень даного виду. Вони потрібні як зразок, щоб можна було порівняти з ним наявне пошкодження відповідної деталі досліджуваного двигуна (рис.Д.3).

Як правило, інші види довідкової технічної інформації, включаючи базову, авторизовану, універсальну тощо, а тим більше нормативно-технічну, подібних даних і в такому обсязі не надають.

Крім цього, в описі пошкодження дається загальна его оцінка – тобто. інформація про те, з чим пов'язано та/або яким процесом або його порушенням спричинено дане ушкодження. При цьому в довідниках завжди наводяться причини пошкоджень для кожного виду. Причому це не одна і не дві причини – загалом їх може бути десятки.

Якщо просто переглянути список причин несправностей двигуна, які наводяться для конкретного виду пошкодження деталі, вони можуть охоплювати різні види експлуатаційних пошкоджень. Наприклад, це можуть бути пошкодження від перевантаження та позаштатних режимів, заправки невідповідним паливом, експлуатаційного зносу, що супроводжується надходженням у циліндр оливи та нагароутворенням, різні експлуатаційні несправності в системі управління (хоча можна уявити і якісь виробничі причини несправностей в електричному та електронному обладнанні), а також пошкодження, спричинені самодіяльним доопрацюванням (тюнінгом) двигуна. Тобто, це цілий комплекс різних причин, які вимагають акуратного та грамотного послідовного аналізу на відповідність ознакам, що є у досліджуваному двигуні – з метою визначення (а фактично – вибору із запропонованих) справжньої причини несправності.

Важливість цього виду спеціальної інформації нині настільки висока, що стало практично неможливо зробити висновки про причину несправності двигуна без використання та цитування відповідних спеціальних довідників.

Фактично спеціальні довідники пропонують навіть спростити завдання визначення причини несправності до певної механічної дії. Наприклад, знаходиться схожий випадок, виписуються всі зазначені для нього причини й далі виконується їхній послідовний аналіз на відповідність конкретному двигуну.

Проте, використання цієї надзвичайно цінної інформації на практиці може бути утруднено, навіть якщо на деталях досліджуваного двигуна виявлено аналогічне, як у довіднику, пошкодження. Проблема в тому, що дослідити всі причини, зазначені в довіднику, на відповідність або невідповідність їх досліджуваного двигуна може виявитися досить трудомістким і витратним. Але якщо обмежити дослідження лише деякими причинами, воно свідомо стає неповним, а висновки – необґрунтованими та, як правило, помилковими.

Однак навіть якщо робити аналіз повністю, акуратно і правильно, не все виходить легко і просто, як це може бути написано в довіднику. Насправді несправність двигуна далеко не завжди або навіть рідко обмежується лише пошкодженням однієї деталі. Буває, що пошкоджені та сполучені деталі. Іноді масштаб руйнувань у двигуні настільки великий, що знайти початкові пошкодження, які призвели до таких руйнувань, і визначити, яка деталь їх спровокувала, практично неможливо. Тоді доводиться аналізувати комплекс причин за кожної деталі, яка могла брати участь у цьому процесі. Для цього потрібна логіка, щоб вибрати ту єдину причину, яка точно покладеться між усіма фактами та ознаками, пошкодженнями та руйнуваннями.

Тут можна виділити першу складність у практичному використанні спеціальних довідників: із двох сполучених деталей спеціальні довідники можуть давати інформацію про пошкодження тільки по одній із них. Наприклад, із шатунно-поршневої групи виключено шатун. Тобто практично немає жодного довідника, в якому можна було б прочитати причини різних пошкоджень шатунів. Тоді, якщо в досліджуваному двигуні відбулася руйнація і поршня, і шатуна, відповісти на питання про причину несправності за допомогою лише спеціальних довідників виробників деталей, буде, як мінімум, важко, а швидше за все, просто неможливо.

Друга складність більш серйозна – вона полягає у відсутності всієї інформації про причину. Тобто, зі спеціальних довідників з деяких видів ушкоджень не зовсім ясно, про що йдеться – про експлуатаційне пошкодження чи виробничий дефект. І якщо це дефект, то у якому виді виробництва він

з'явився – у первинному чи вторинному. Це має важливе значення, оскільки переважна більшість дефектів первинного виробництва взагалі відповідає дефектам ремонтного виробництва. А вони, як відомо, носять вельми специфічний "привнесений" у двигун характер.

Тобто, всупереч те, що при дослідженні причин несправностей двигунів потрібно точно знати, з чим пов'язана конкретна несправність – з виробництвом, експлуатацією чи ремонтом, такої інформації у спеціальному довіднику може не бути взагалі. Навпаки, та інформація, яка є, буде говорити про різні порушення процесів – горіння, охолодження, змащення, подання палива тощо. Але причина, чому виникли ці порушення, із чим вони пов'язані – це ще має з'ясувати фахівець.

Слід зазначити, що виробники компонентів іноді все ж таки натякають на виробничі дефекти. Наприклад, про руйнування перемичок поршнів між поршневими кільцями у спеціальних довідниках написано [183, 339]: "Причиною руйнування перемичок між канавками є не дефекти матеріалу, а надмірне навантаження на матеріал". Це означає, що виробник уже давно знає про проблему і заздалегідь попереджає – при руйнуванні перемичок на поршні розраховувати на те, що причина може бути пов'язана з виробничим дефектом матеріалу, не має сенсу. Тобто досліджувати матеріал у такому випадку марно, він у будь-якому випадку буде нормальною міцністю – треба досліджувати причини, що викликали додаткові навантаження на цей матеріал. І дає список причин, через які могло статися перевантаження.

Така інформація дійсно може бути важливою при проведенні досліджень причин несправності. Але найчастіше для багатьох видів пошкоджень жодних вказівок немає – більшість їх описані у спеціальних довідниках скоріше як наслідок експлуатаційних пошкоджень чи дефектів ремонтного, а чи не первинного виробництва. Про яке взагалі інформації вкрай мало. Що в цілому зрозуміло – спеціальні довідники пошкоджень деталей складають виробники продукції, і будь-яка згадка в них виробничого дефекту дозволить потім легко обґрунтувати такий дефект та пред'явити претензії до самого виробника.

Виходить, що незважаючи на всеосяжність і солідність, в спеціальних довідниках пошкоджень деталей, що випускаються їх виробниками, як правило, навмисно пропущені виробничі дефекти. У разі вже можна сказати, що з допомогою цього виду інформації не можна довести наявність у досліджуваному двигуні виробничого дефекту. Тобто, якщо в висновку дослідження є посилання лише на ці довідники, будь-який висновок про виробничий дефект можна легко спростувати, оскільки таких дефектів ці джерела не описують та інформації про них не містять.

Звідси слідує висновок – слід визнати, що спеціалізованих довідників із пошкоджень деталей у ряді випадків зовсім недостатньо для отримання повної картини причини несправності. Потрібні ще додаткові джерела, де описувалися б і виробничі дефекти деталей.

Деякі з таких джерел відносяться, скоріше, до базової інформації, але являють собою не класичні підручники, а спеціальні книги та статті з несправностей двигунів. Вони узагальнюють досвід дослідження їх причин у різних організаціях у всьому світі. Аналіз цих джерел показує, що для дослідження причин несправностей двигунів мало базової освіти та загальнотехнічної підготовки, потрібне також вивчення періодичних науково-технічних видань та відповідних монографій.

Таким чином, розробка та використання інформаційного забезпечення досліджень причин несправностей двигунів є комплексним завданням, в якому немає одного виду інформації, що повністю закриває всі питання правильного визначення причин несправностей. Навпаки, для вирішення цього завдання потрібні різні види технічної інформації – від авторизованої дилерської до неавторизованої ремонтної, універсальної, нормативно-технічної та спеціальної. І лише їх використання у комплексі з методами дослідження та необхідними для цього приладами дозволяє правильно знайти причину несправності.

Д.5 Ретроспективний аналіз історії автомобіля як метод інформаційного забезпечення досліджень причин несправності двигуна

З практики дослідження причин несправностей двигунів автомобілів відомо [90], що дефекти та/або пошкодження вузлів та агрегатів нерідко мають прихований період. Це призводить до появи перших очевидних ознак несправності не відразу, а через певний час, протягом якого пошкодження поступово розвивається. Такі несправності зустрічаються нерідко і зазвичай пов'язані з деяким початковою подією, під час якого відбувається початкове пошкодження вузла. Іншими словами, таке початкове пошкодження в експлуатації (це також може бути й відхилення в технології при виробництві) з часом роботи агрегату здатне викликати в ньому серйозні зміни. Вони зрештою і призведуть вже до несправностей, руйнувань і відмов, які мають вже явні ознаки. Відповідно, визначення моменту початкового експлуатаційного пошкодження (чи виникнення виробничого дефекту) часом носить ключове значення розуміння причини несправності.

Звідси випливає, що умови виникнення несправності, що є на момент проведення дослідження, безпосередньо або у вигляді ознак, можуть бути пов'язані з різними подіями в історії транспортного засобу. До таких подій, крім порушень технології виробництва, відноситься також виконання обслуговування та/або ремонту, при якому внаслідок помилок персоналу СТО у вузли та агрегати нерідко вноситься пошкодження (так званий дефект вторинного виробництва). Нерідко такою подією стають дорожньо-транспортні пригоди, за яких вузли та агрегати можуть отримати механічні пошкодження, або зміни погодних умов (наприклад, сильні дощі можуть спричинити утворення глибоких калюж та попадання води у впускну систему двигуна). А в деяких випадках критичний вплив на двигун виникає просто при зміні режимів експлуатації від міських (з малою середньою швидкістю руху) до далеких поїздок швидкісними трасами, рух бездоріжжям, у тому числі з буксуванням тощо.

З іншого боку, слід зазначити, що ретроспективний аналіз історії автомобіля не є новим. Така робота нерідко виконується при оформленні купівлі-продажу з метою запобігання прихованню достовірної інформації про автомобіль від покупця. Це стосується, головним чином, виявлення прихованих пошкоджень від участі автомобіля у різних ДТП, а також визначення реального технічного стану (наприклад, при шахрайстві з дійсним пробігом, походженням та ін.). Однак при дослідженні технічного стану з метою визначення причин несправності двигуна за претензіями до якості автомобіля даними історії зазвичай заведено нехтувати.

Д.5.1 Роль ретроспективного аналізу історії автомобіля в завданнях визначення причин несправностей двигуна

Зрозуміло, що пошкодження вузла або агрегату відбувається раніше, ніж об'єкт потрапляє на дослідження. Причому початкове пошкодження нерідко призводить до несправності, ознаки якої видно на момент дослідження. Але ознаки з'являються не відразу, а лише з плином часу, характерного для даного виду ушкодження (несправності). Тобто причина несправності, яка досліджується, фактично може перебувати в одній із минулих подій. Водночас ці події становлять історію автомобіля, якщо їх розташувати за хронологією дат та/або пробігу (часу напрацювання).

Іншими словами, необхідно визначити причинно-наслідкові зв'язки між технічним станом об'єкта, що досліджується, на момент закінчення його експлуатації (зрозуміло, що в загальному випадку цей стан може і не відповідати тому, що є на момент дослідження) і якоюсь подією початкового пошкодження, яке з часом могло призвести до стану на цей час дослідження. Це завдання відрізняє дослідження причин несправності від діагностики, де події історії мають другорядне значення і, зазвичай, не вимагають аналізу.

Основні характеристики початкового пошкодження – це час настання даної події, обставини пошкодження (чим і як завдано), режими роботи двигуна

та руху автомобіля в цей момент (іноді не менш важливі попередні та наступні події), умови експлуатації. Всі вони набувають особливого значення у випадках, коли розвиток несправності в експлуатації від початкового пошкодження відбувається повільно та має тривалий характер. Тоді в ланцюжок подій, багато з яких мають власні ознаки та періодично проявляються в історії, вклинюються відповідні події, що вказують на причину несправності. Це можуть бути скарги власника при зверненні на СТО, позначки в актах прийняття-передання автомобіля в ремонт, види виконаних за скаргами робіт та використані для цього запчастини та матеріали. Вся зазначена інформація має бути обов'язково зібрана та вивчена при дослідженні.

Згідно з практикою досліджень технічного стану автомобілів за претензіями до якості ремонту, при визначенні причини несправності в історії автомобіля важливі будь-які факти. Практика показує, що навіть дата випуску заводом-виробником та/або дата початку експлуатації (передачі власнику) можуть стати досить цінною інформацією для дослідження. А у складних випадках зіставлення дат та пробігів (напрацювання) з різними подіями в історії дозволяє виявити масу таких фактів, які іншими способами взагалі не виявляються.

Дійсно, ознак несправності та характерних особливостей пошкодження деталей, видимих на момент дослідження, може бути недостатньо для того, щоб встановити, чим вони були спричинені. Відповідно, різко підвищується ризик помилки при визначенні причини несправності, якщо така робота виконується без урахування історії автомобіля, начебто несправність виникла щойно.

За наявності великої кількості різноманітних подій в історії автомобіля, у тому числі ТО, ремонтів, діагностичних робіт, скарг власника і т.д., саме уявлення історії у вигляді подій, що послідовно відбулися в експлуатації, нерідко набуває ключового значення для визначення механізмів і причин несправності. Або воно як мінімум допомагає у виборі версій для подальшого дослідження. Кожна подія зазвичай має характеристику – наприклад, що конкретно відбулося, які дії та ким були виконані, які параметри або їх

відхилення були помічені тощо. Таке уявлення історії нерідко може дати ключову інформацію про причину несправності саме собою, лише шляхом аналізу сукупності та послідовності подій. Однак це неможливо отримати навіть детальним вивченням пошкоджених деталей і окремих подій без їх прив'язки один до одного.

Наприклад, за допомогою складання історії досить легко можуть бути виявлені такі дії, як скидання пробігу автомобіля. Спроба штучної зміни реальних подій в експлуатації автомобіля в хронологічному порядку за датою та пробігом зазвичай добре помітна, оскільки призводить до добре помітного збою в ланцюжку подій, що реєструються бортовою системою самодіагностики. Очевидно й протилежне – без аналізу історії автомобіля побачити невідповідність будь-яких подій, як і знайти його причину практично неможливо.

Окрім цього, історія допомагає знайти момент появи перших ознак несправності двигуна. Нерідко видно і подію, яка могла б призвести до пошкодження та його подальшого розвитку та появи явних ознак несправності. Наприклад, ознаки порушення змащення у підшипниках двигуна можуть свідчити про низький рівень оливи внаслідок невчасного контролю з боку власника ТЗ. Однак виявлення у попередніх подіях перегріву двигуна цілком може вказати на зовсім іншу причину пошкодження вкладишів. За наявності супутніх конструктивних факторів, таких як водомасляний теплообмінник у системі мащення, причиною відмови може бути неприпустиме падіння в'язкості моторної оливи від перегрітої охолоджувальної рідини. Аналогічно багато видів пошкоджень від застосування неякісного або невідповідного двигуну палива мають досить довгий характер розвитку, і їх вдається знайти тільки шляхом аналізу історії автомобіля [90].

Те саме слід сказати й про різні види гідроудару від попадання рідин в циліндр [89, 101, 108, 249]. Наслідки його (руйнування шатуна і вихід двигуна з ладу) проявляються зазвичай через кілька тисяч кілометрів пробігу після події гідроудару. Однак відомі випадки, коли причина руйнування після гідроудару

помилково приписувалася виробничим дефектам шатуна. І зрозуміло чому – варто лише виключити з розгляду всі події в історії, обмежити область дослідження лише тим, що є "тут і зараз" на момент проведення самого дослідження, як справжня причина несправності зникне з поля зору фахівця.

Д.5.2 Методика ретроспективного аналізу історії транспортного засобу

Для того, щоб отримати можливість використовувати історію автомобіля як інструмент інформаційного забезпечення досліджень причин несправності, недостатньо виписати в стовпчик все, що відомо про об'єкт, що досліджується. Тобто необхідно подати всі відомі дані у певному вигляді. Це робиться поетапно в наступному порядку [90]:

1. Попередній етап – аналіз усіх наявних документів та інформації про досліджуваний автомобіль, включаючи:

a) інформацію про первинне виробництво автомобіля (можливо за VIN за допомогою баз даних Інтернет-сайтів запасних частин),
b) документи про купівлю-продажу (наприклад, за даними договору купівлі-продажі, акта прийняття-передання, замовлення-наряду передпродажної підготовки тощо),
c) дані про ТО та ремонти (завжди зберігаються в базах даних офіційних дилерів та/або імпортерів),
d) інформацію про ДТП та отримані пошкодження (зберігається у базах даних страхових компаній, а про ремонт – в офіційних дилерів, якщо ремонт був виконаний на дилерській СТО).

Якщо всі вищезгадані документи та інформація вже є, можна приступати до подальших етапів, а саме:

2. Складання таблиці історії автомобіля, занесення всіх виявлених подій у таблицю (табл.Д.1).

Таблиця Д.1 – Формат таблиці історії транспортного засобу.

Вид ТО, ремонту, причина звернення	ДАТА	ПРОБІГ км	Пробіг від попередн. події	ДОКУМЕНТ	ПРИМІТКИ, виконані роботи
Випуск автомобіля	....	....	....	Дані VIN....	
Передпродажна підготовка	....	....	....	Замовлення-наряд №....	
Прийняття-передання автомобіля власнику	....	....	....	Дог. купівлі-продажі № .. Акт прийняття-передання...	
ТО-1	....	....	....	Замовлення-наряд №....	
....	....	....	.....	....	

3. Виділення характерних подій та відповідних їм ознак в історії, які можуть вказувати на початкове пошкодження двигуна, розвиток пошкодження або іншу характерну подію, що має значення для визначення причини несправності.

4. Аналіз історії за характерними подіями та ознаками.

Основна увага при виконанні аналізу приділяється можливим причинно-наслідковим зв'язкам виділених характерних подій в історії з несправністю, знайденою на момент проведення дослідження. Наявність таких зв'язків може свідчити про початкове пошкодження двигуна в минулому, яке в процесі розвитку в експлуатації призвело до несправності. І навпаки, без складання історії ТЗ ознаки несправності, навпаки, можуть вказувати на зовсім інші причини. Якщо знехтувати складанням таблиці історії, будь-яка інформація легко може ввести в оману і закономірно призвести до помилкового визначення причини несправності.

Таким чином, ретроспективний аналіз історії автомобіля є одним із можливих способів, що допомагають встановити механізми та визначити причину несправності двигуна. При цьому розроблена проста методика складання та аналізу таблиці історії дозволяє встановлювати причини несправностей, які важко чи неможливо виявити іншими методами.

Використання запропонованого методу на практиці показало його ефективність при вирішенні завдань, пов'язаних із дослідженням технічного стану транспортних засобів, у тому числі при розгляді спорів у зв'язку з претензіями до якості транспортного засобу або їх ремонту.

Приклади проведення ретроспективного аналізу в дослідженнях шляхом складання таблиць історії транспортного засобу наведено у Додатку Е.

ДОДАТОК Е – ВИСНОВКИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА ПРИЧИН НЕСПРАВНОСТІ ДВИГУНІВ АВТОМОБІЛІВ

Е.1 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна автомобіля TOYOTA HIGHLANDER (абразивне зношування)

ВИСНОВОК ЕКСПЕРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
технічного стану автотранспортного засобу

25.05.2020 № 02-А

ВСТУП

04.05.2020 до експерта Хрулєва О.Е. згідно договору № 01/03-А від 14.03.2018 надійшла заявка з проханням провести автотехнічне дослідження технічного стану автомобіля Toyota Highlander, 2012 випуску, VIN: JTEESXXXX02203153.

Разом з листом надано:

1. Копія сервісної книжки з відмітками про проходження ТО автомобіля Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXX02203153, надана власником автомобіля.
2. Копія замовлення-наряду № 16016588 від 06.09.2016 р ТОВ «Ролер Моторс», надана власником автомобіля.
3. Копія вимоги № 15964818 від 25.08.2016р. і акту №15964818 від 05.10.2016р. ТОВ «Ролер Моторс», надана власником автомобіля.
4. Копія замовлення-наряду №15601017 від 13.06.2016р. та акту прийому передачі виконаних робіт №15601017 від 30.08.2016р. ТОВ «Ролер Моторс» надано власником автомобіля.
5. Копія замовлення-наряду №15548159 від 02.06.2016р. та акту прийому передачі виконаних робіт №15548159 від 02.06.2016р. ТОВ «Ролер Моторс» надано власником автомобіля.
6. Копія акту виконаних робіт №25645 від 18.05.2016р. ТОВ «Автопром», надана власником автомобіля.
7. Копія акту виконаних робіт №17866 від 29.10.2015р. ТОВ «Автопром», надана ТОВ «Тойота Мотор».
8. Копія акту виконаних робіт №14373 від 24.07.2015р. ТОВ «Автопром», надана ТОВ «Тойота Мотор».
9. Копія акту виконаних робіт №12047 від 03.06.2015р. ТОВ «Автопром», надана ТОВ «Тойота Мотор».
10. Копія акту виконаних робіт №4882 від 08.04.2015р. ТОВ «Автопром», надана ТОВ «Тойота Мотор».
11. Копія акту виконаних робіт №4882 від 08.04.2015р. ТОВ «Автопром», надана ТОВ «Тойота Мотор».
12. Копія замовлення-наряду №ТЦ0277138 від 10.04.2014р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».
13. Копія замовлення-наряду №ІС00221161 від 11.02.2014р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».
14. Копія замовлення-наряду №ІС00208798 від 02.10.2013р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».

15. Копія замовлення-наряду №IC00202667 від 03.08.2013р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».
16. Копія замовлення-наряду №IC00195913 від 04.06.2013р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».
17. Копія замовлення-наряду №IC00185985 від 06.03.2013р. ТОВ «Авто-Сервіс», надана ТОВ «Тойота Мотор».
18. Сервісна інформація по автомобілю Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX02203153, роздруківка з інтернет-сайту ТОВ «Тойота Мотор», надана представником ТОВ «Ролер Моторс».
19. Керівництва по перевірці блоку циліндрів, надано представником ТОВ «Ролер Моторс».

На вирішення експертного дослідження поставлені питання:

1. *Чи існують якісь несправності в двигуні 2GR J599032 автомобіля Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX02203153, якщо є, то які конкретно?*
2. *Якщо несправності в двигуні є, то яка їхня причина?*
3. *Чи є несправності в двигуні автомобіля наслідком виробничого дефекту, робіт з технічного обслуговування (ремонту) автомобіля або / та інших дій, в тому числі, установки системи запобігання викраденню, тюнінгу і т.д., або результатом експлуатації автомобіля?*
4. *Чи могли дії власника і / або особи, яка керувала автомобілем, привести до таких несправностей?*
5. *Чи могли своєчасні дії власника, приписані керівництвом, запобігти поломку двигуна?*

Також в порядку експертної ініціативи, для більш повного дослідження причини несправності, експертом поставлено **додаткове питання №6**:

6. *Які заходи необхідно вжити для виключення повторення несправності даного виду в майбутньому?*

Проведення експертного дослідження доручено:

Хрулєв Олександр Едуардович – судовий експерт, спеціаліст у галузі конструкції, робочих процесів і несправностей двигунів внутрішнього згоряння, начальник Бюро моторної експертизи, що має право на проведення автотехнічних експертних досліджень (свідоцтво № 1923 від 20 лютого 2018 р. за спеціальністю «Дослідження технічного стану транспортних засобів»), освіта вища (Московський авіаційний інститут, факультет «Двигуни літальних апаратів», 1979р.), кандидат технічних наук (1985р.), старший науковий співробітник за спеціальністю «Теплові двигуни», автор книги «Ремонт двигунів закордонних автомобілів» та понад 150 статей з моторної тематики, стаж роботи зі спеціальності (теорія, конструкція, експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння) – 28 років, з них експертом – 10 років.

При проведенні експертного дослідження використовувалися наступні інформаційні джерела.

Законодавчі, нормативні акти і методики експертних досліджень:

1. Закон України "Про судову експертизу" (введено в дію з дня опублікування — 21 квітня 1994 року згідно з Постановою Верховної Ради України від 25.02.1994 № 4038a-XII, останні зміни внесено: Закон України від 24.12.2015 № 911-VIII).
2. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 08.10.1998 за № 53/5, зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства юстиції України від 27.07.2015 за № 1350/5).
3. Інструкція про особливості здійснення судово-експертної діяльності атестованими судовими експертами, що не працюють у державних спеціалізованих експертних установах (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 12.12.2011 № 3505/5).
4. ПРАВИЛА надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів. Наказ Міністерства транспорту України від 11.11.2002 за N 792.
5. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про захист прав споживачів". Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 1991, N 30, ст.379.
6. "Правила дорожнього руху". Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. за № 1306.
7. Державний Стандарт України ДСТУ 2860-94. "Надійність техніки. Терміни та визначення". Чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. К.: Держстандарт України, 1995. 92 с.

Науково-технічна та довідкова література.

Література по досліджуваного автомобілю і двигуну:

8. Toyota Highlander. English Repair Manual (05/2007-->) RM06K6. – TOYOTA MOTOR, "Информаційный портал технічной документації Тойота-TechDoc", www.toyota-tech.eu.
9. Toyota Highlander. Посібник для власника. TOYOTA MOTOR, Printed in Japan, Publication No. 03-1402-02C, 2011. 490с.
10. Посібник з гарантийного обслуговування автомобіля Тойота. TOYOTA MOTOR, Publication No. ТМДС 03004-07, 2009.
11. Мережа Інтернет. Інтернет-магазин EXIST.UA. www.exist.ua.

Література по конструкції і процесам в двигунах:

12. Посібник з ремонту двигуна 1GR (RM1005E). TOYOTA MOTOR, "Інформаційний портал технічної документації Toyota-TechDoc", www.toyota-tech.eu.
13. TOYOTA Land Cruiser/ Land Cruiser PRADO. Owner's Guide. TOYOTA MOTOR, Publication No.OM60F71R, Part No.01999-60F71, Japan, 2009. 852 p.
14. TOYOTA LAND CRUISER PRADO. Моделі із 2009 року випуску. Посібник з ремонту та технічного обслуговування. К.: Вид-во «Легіон», 2010. 616с.
15. Інтернет-магазин EXIST.UA. www.exist.ua.
16. Goodnight N. Automotive Engine Repair. CDX Master Automotive Technician Series / N. Goodnight, K. VanGelder. Burlington: Jones & Bartlett Learning, 2013. 694 p.
17. Taylor C.F. The internal combustion engine in theory and practice, Volume 2: Combustion, fuels, materials, design. Second Edition, Revised / C. F. Taylor. Cambridge, The MIT Press, 1999. 679 p.
18. Engine components and filters. Damage profiles, probable causes and prevention. Technical information MS3–1109. Farmington Hills: Mahle Aftermarket Inc., 2016. 76 p.

19. Piston Damage – Causes and Remedies. MAHLE GmbH, Stuttgart, Germany, 1999. 66p.
20. Greuter E. Engine Failure Analysis. Internal Combustion Engine Failures and Their Causes / E. Greuter, S. Zima. Warrendale: SAE International, 2012. 582 p.
21. Ludema K.C. Friction, wear, lubrication: A textbook in tribology / K.C. Ludema. Boca Raton: CRC Press, 1996. 261 p.
22. Lakshminarayanan P.A. Critical component wear in heavy duty engines / P. A. Lakshminarayanan, N. S. Nayak. John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd., 2013. 424 p.
23. Priest M. Automobile engine tribology-approaching the surface / M. Priest, C.M. Taylor // Wear, Elsevier. 2000. 241. P. 193-203.
24. Taylor C.F. Lubrication Regimes and the Internal Combustion Engine / C. F. Taylor // Engine Tribology. 1993. P. 75-87.
25. Павлишин В.І. Мінералогія. Частина 1 / В.І. Павлишин, С.О. Довгий. К.: КНТ, 2019. 536 с.
26. Gere J.M. Mechanics of Materials. 6th Edition / J.M. Gere. Belmont: Brooks/Cole – Thomson Learning, 2004. 940 p.
27. Yamagata, H. The science and technology of materials in automotive engines / H. Yamagata. Cambridge: Publishing Limited, 2005. 318 p.
28. Кіндрачук М.В. Трибологія / М.В.Кіндрачук, В.Ф.Лабунець, М.І.Пашечко, Є.В.Корбут. К.:, НАУ, 2009. 392 с.
29. Hutchings I. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 1st ed. / Hutchings I., Shipway P., ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann; 1992. 165 p.
30. Engine Bearings. Failure & Analysis Guide. Clevite 77, Form # CL77–3–402 1350. Ann Arbor: Dana Corporation, 2008. 32 p.
31. Mahle Clevite Inc. Turbocharger: Damage Profiles, Causes, and Prevention. Technical Information. Ann Arbor: MAHLE Clevite Inc., 2015. 16 p.
32. Engine Bearing failure analysis guide. A guide to analysis and correction of premature engine bearing failures. Form # CEB-1-1208. Ann Arbor: Mahle Clevite Inc. 2008. 26 p.
33. Engine bearings. Catalogue. Kolbenschmidt. Neuenstadt: MS Motorservice International GmbH, 2013. 1776 p.
34. Dempsey P. Troubleshooting and Repairing Diesel Engines. 4th Edition / P. Dempsey. New-York: McGraw-Hill Professional Pub., 2007. 390 p.
35. Damage diagnosis. Oil consumption and oil loss. Neckarsulm: MS Motorservice International GmbH, 2004. 24 p.
36. Основи судово-експертного дослідження технічного стану транспортних засобів (Судова автотехнічна експертиза. Частина III, Випуск I) / Упоряд. Г. В. Жилінський; під нав. ред. А. Б. Розумова. К.: НИИСЭ, 1987. 112 с.

При проведенні дослідження використовувалися наступні методи, вимірювальні та технічні засоби:

1) **Візуальний метод** – дослідження та оцінка якості об'єктів за допомогою органів зору;
2) **Вимірювальний метод** – шляхом вимірювання параметрів елементів двигуна спеціальними вимірювальними приладами, в тому числі шляхом вимірювання розмірів деталей спеціальними вимірювальними приладами:
   - нутромер НІ-50-100-0,01, зав.№G88406 з діапазоном вимірювання 50-100 мм, ціна ділення 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-196,
   - мікрометр МК100-1, зав.№8225 з діапазоном вимірювання 75-100 мм, ціна ділення 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-193,

- мікрометр МК25, зав.№4773В5 з діапазоном вимірювання 0-25 мм, ціна ділення 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-189,
- набір щупів Blue-Point FBM-320 USA, metric.

3) **Розрахунковий метод** (непрямий вимірювальний метод) – шляхом розрахунків різних параметрів на основі результатів вимірювань і інших даних,

4) **Експертний метод** (метод експертної оцінки) – сукупності операцій по вибору комплексу або окремих показників об'єкта, визначення їх дійсних значень і оцінкою експертом відповідності їх встановленим вимогам та / або технічної інформації.

Фотографування проводилося фотоапаратом SONY next-5t, заводський номер №4572537, в режимі макрозйомки.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні терміни та визначення які випростовуються в дослідницькій частині:

Несправність (несправний стан) – стан двигуна (агрегату), при якому його параметри не відповідають хоча б одній з вимог, зазначених в нормативно-технічної та / або конструкторської документації.

Зношування (знос) – процес зміни розмірів (різниця розмірів, стан) деталі в результаті відділення з її поверхні частинок матеріалу.

Природний знос – знос деталей при нормальній експлуатації двигуна (агрегату) внаслідок природних причин.

Катастрофічний знос – стан двигуна (агрегату) в фінальній стадії експлуатації, що характеризується великим зносом і зазорами в сполученнях деталей, при яких поява ударних навантажень в сполученнях призводить до поломок деталей і виходу агрегату з ладу.

Пошкодження – подія (стан), що характеризується порушенням справного стану двигуна (агрегату) в експлуатації при збереженні його працездатності.

Дефект – невідповідність двигуна (агрегату, вузла, деталі) встановленим вимогам. Застосовується для готової продукції промислового виробництва при контролі якості при її виготовленні і ремонті. Термін "дефект" не поширюється на подальше використання (експлуатацію) продукції.

Конструктивний дефект – дефект, викликаний порушенням встановлених норм проектування (конструювання) двигуна.

Виробничий дефект – дефект, викликаний порушенням встановленої технології виготовлення двигуна (агрегату).

Відмова (поломка) – порушення працездатності, вихід з ладу або поломка двигуна (агрегату) в процесі його роботи через неправильну експлуатацію, поганого обслуговування (ремонту) та / або конструктивно-виробничих дефектів.

Умовні позначення.

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння.

ЦПГ – циліндропоршневая група, що складається з поршня, поршневих кілець і циліндра.

ГРМ – газорозподільний механізм, включає розподільний вал, клапани, штовхачі, пружини і ін.

БЦ – блок циліндрів.

КВ – колінчастий вал.

РВ – розподільний вал.

КШМ – кривошипно-шатунний механізм

ГБЦ – головка блоку циліндрів.

НГШ – нижня (кривошипна) головка шатуна.

ВГШ – верхня (поршнева) головка шатуна.

ВМТ – верхня мертва точка, саме верхнє положення поршня в циліндрі.

НМТ – нижня мертва точка, саме нижнє положення поршня в циліндрі.

ТО – технічне обслуговування.

ТЗ – транспортний засіб.

ОД – офіційний дилер.

ОР – охолоджувальна рідина

АКБ – акумуляторна батарея.

OBD – бортова система самодіагностики.

DTC – діагностичний код несправності.

ECM – електронна система управління двигуном, електронний контрольно-діагностичний модуль (блок керування).

MIL – контрольна лампа несправності.

Опис двигуна як об'єкту дослідження, представленого на дослідження.

На автомобілі Toyota Highlander, 2012 випуску, VIN: JTEESXXXX02203153 встановлений бензиновий атмосферний V-подібний 6-циліндровий двигун моделі 2GR. Автомобіль оснащений АКПП.

Сімейство двигунів GR від Toyota – один з найпопулярніших типів силових агрегатів, які встановлюються як на позашляховики і преміальні автомобілі материнського бренду, так і на флагманські автомобілі під маркою Lexus. Одним з популярних агрегатів сімейства є двигун моделі 2GR, випуск якого розпочато в 2005 році.

Двигун має алюмінієвий блок циліндрів з розвалом 600, з залитими гільзами зі спеціального чавуну, з приводом розподільного механізму DOHC в кожній головці блоку циліндрів зубчастої ланцюгом. Для збільшення жорсткості блоку була розроблена особлива сорочка охолодження, що запобігає перегріву блоку і розподіляє температуру рівномірно по всьому циліндру. Шатуни двигуна виробляються з кованої сталі. Технічні особливості конструкції – зміна фаз газорозподілу (Dual VVT-i) на впускних і випускних розподільних валах, що змінює фази відкриття і закриття як впускних, так і випускних клапанів.

Привід клапанів здійснюється роликовими важелями (рокерами), що знижує тертя в механізмі. Головки блоку двигуна мають сегментированную конструкцію, в якій корпус розподільних валів з кришками підшипників виконаний знімним.

Основні технічні дані двигуна наведені в табл.1.

Табл.1. Технічні дані двигуна 2GR.

Тип	Чотиритактний, бензиновий
Розташування в автомобілі	Спереду, поперечний

Кількість циліндрів і їх розташування	V-подібний, 6-циліндровий
Діаметр циліндра і хід поршня, мм	94,0 x 83,0
Робочий об'єм, л	3,456
Ступінь стиснення	10,8:1
Максимальна потужність, к.с. /об.хв:	273 (201)/6200
Максимальний крутний момент, Н.м (кВт) /об.хв	337/4700
Число клапанів на циліндр	4
Паливо	Бензин АІ-95
Порядок роботи циліндрів	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6
Привід клапанів	DOHC, ланцюговий привід з подвійною електронною системою зміни фаз газорозподілу Dual VVT-i
Система живлення	Розподілений, фазований уприскування SFI
Система запалювання	С індивідуальними котушками DIS
Повітряний фільтр	Сухий, з елементом, що фільтрує з синтетичних матеріалів
Система змащення	Комбінована, під тиском і розбризкуванням
Система охолодження	Рідинна, закрита з примусовою циркуляцією
Екологічний клас	ЄВРО-4

Обставини справи.

Відповідно до поданих документів, автомобіль Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXX02203153, був придбаний 29.11.2012р. в ТОВ «Мхххх» (Тойота Центр Мхххх).

В процесі експлуатації на автомобілі регулярно проводилися роботи по ТО і ремонтів на СТО офіційних дилерів автомобілів марки Тойота.

06.09.2016г. власник звернувся в ТОВ «Ролер Моторс» Тойота Центр Мхххх, з приводу нерівномірного роботи двигуна і вібрації – «на холодному двигуні загоряється помилка на панелі приладів і ДВЗ працює нерівномірно (троїть, детонація)».

Фахівцями ТОВ «Ролер Моторс» Тойота Центр Мхххх при діагностиці та подальшій розбиранні ДВЗ було виявлено:

- в блоці управління ДВЗ збережена помилка Р0301 – пропуски запалювання на першу циліндру;
- компресія в циліндрах №1 – 8 бар, №3 – 13 бар, №5 – 13 бар;
- у впускному колекторі велику кількість сторонніх часток (пісок, пил);
- повітряний фільтр оригінальний майже новий;
- в першому циліндрі розбита канавка поршня і бовтається верхнє компресійне кільце;

- залягання всіх маслоз'ємних кілець на всіх порушених;
- в маслі велика кількість металевого пилу;
- зношені штоки клапанів про напрямні ГБЦ, як і самі направляючі клапанів;
- зношені шийки росподвалов;
- на магнітних датчиках ДВЗ велика кількість металевого пилу;
- у всіх порожнинах ДВЗ, де проходять масляні канали – масло з металом (не піддається гарантованої очищення і не розбірні – муфти, гидрокомпенсатори, теплообмінник, натяжители ланцюгів).

Можлива причина вказана дилером як "потрапляння сторонніх часток в камеру згоряння через впускний колектор". При діагностиці також виявлено: "в коробі повітряного фільтра є бруд і пісок, у впускному колекторі присутні масляниста плівка з частинками абразиву. Виявлено неоригінальний фільтр в автомобілі. Пісок в двигун в такій кількості міг потрапити тільки в результаті встановлення не оригінального повітряного фільтра. Даний дефект не є виробничим дефектом. Гарантією виробника не покривається ".

За словами власника, висновок фахівців ТОВ «Ролер Моторс» про те, що дефект двигуна не є виробничим, викликає сумніви. У зв'язку з чим їм була подана претензія в ТОВ «Ролер Моторс» і ТОВ «Тойота Мотор».

Аналіз приналежності представлених матеріалів до досліджуваного ТЗ.

Вище представлений список документів, наданий експерту на дослідження (в копіях). Аналіз копій документів дозволив встановити, що всі зазначені документи відносяться до автомобіля Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX02203153. Дані VIN номера і номера держ.реєстрацію в представлених копіях документів збігаються з даними в свідоцтві про реєстрацію ТЗ. Представлені документи є об'єктами дослідження.

Представлений на огляд автомобіль є автомобілем Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX2203153. ТС відповідає представленим документом, зі свідоцтвом про реєстрацію ТЗ, і є об'єктом дослідження.

Деталі ДВЗ і впускної системи, що знаходяться на стелажі в ремонтній зоні і на стелажі в моторному цеху, є деталями, що встановлюються на двигун типу 2GR автомобіля Toyota Highlander. З представлених деталей приналежність до досліджуваного автомобілю встановлена для блоку ДВЗ, який має номер №J599032, який відповідає номеру ДВЗ встановленому на автомобіль Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX02203153, згідно з поданою роздруківці сервісної інформації з інтернет-сайту ТОВ «Тойота Мотор». Деталі поршневої групи, ГБЦ, ГРМ, КШМ складені на стелажі в моторному цеху Тойота Центр Місто в хаотичному порядку, жодних заходів щодо збереження та / або обмеження доступу до цих деталей не прийнято.

На момент огляду автомобіль не опечатаний, а деталі поршневої групи, ГБЦ, ГРМ, КШМ не мають документально підтверджених і візуально визначаються прямих ознак приналежності до досліджуваного ДВЗ. Встановлення належності даних груп деталей до досліджуваного ДВЗ виходить за рамки компетенції автотехнічної експертизи і відноситься до криміналістичним видам дослідження. Однак наявність ознак абразивного зносу на порушених ДВЗ і клапанах ГБЦ, і відповідність цих ознак пошкодження блоку циліндрів, а також наявність слідів забруднень впускної системи, що відповідає описам проведеної діагностики по замовлення-наряду №16016588 від 06.09.2016 р. ТОВ «Ролер Моторс», є непрямими ознаками належності представлених деталей до досліджуваного ДВЗ.

Відповідно до цього умовно прийнято, що представлені деталі є об'єктами дослідження. Після аналізу всіх даних, отриманих під час огляду, були отримані додаткові підтвердження того, що представлені деталі дійсно є деталями досліджуваного автомобіля (див.нижче).

Дані огляду автомобіля.

Огляд автомобіля Toyota Highlander, 2012 р.випуску, VIN: JTEESXXXX02203153, проводився в виробничому приміщенні техцентру ТОВ «Ролер Моторс» (Тойота Центр Місто). Початок огляду о 10:30, закінчення о 16:20.

На момент огляду автомобіль знаходився в приміщенні цеху (рис.1-2). Ідентифікаційний номер на табличці і номерний знак (рис.1-4) відповідають даним свідоцтва про реєстрацію ТЗ (Додаток 2). ДВЗ з автомобіля демонтований до проведення огляду (рис.5-6).

Пробіг ТЗ по спідометрі визначити не виявилося можливим на увазі демонтажу проводки моторного відсіку до проведення огляду ТЗ. Пробіг 117 035 км встановлений за поданими документами – за замовлення-нарядом №16016588 від 06.09.2016 р. ТОВ «Ролер Моторс» (Додаток 2).

Днище автомобіля сухе, слідів підтікання масла і робочих рідин не виявлено (рис.7-11). Задній бампер автомобіля і вихідний патрубок вихлопної труби слідів замасливания не мають (рис.12).

Демонтований з автомобіля ДВЗ розібраний і складний в розібраному вигляді на стелажі моторного ділянки (рис.13-16).

Нумерація циліндрів починається з боку механізму приводу ГРМ з лівого ближнього циліндра (рис.17). Номер блоку циліндрів завдано заводським способом (рис.18). Нумерація поршнів циліндрів двигуна, для визначення належності до конкретного циліндру двигуна і маркування клапанів ГРМ, проведена співробітниками ТОВ «Ролер Моторс» Тойота Центр Місто, які здійснювали розбирання і дефектовку ДВЗ.

При огляді деталей ДВЗ виявлено:

- Кришка корпусу повітряного фільтра (рис.19-20) має забруднення внутрішньої поверхні сторонніми частинками пилу.
- Повітряний фільтр, за зовнішнім виглядом новий, чистий, ймовірно, має невеликий термін експлуатації (рис.21), з незначним забрудненням з боку входу повітря, зі слідами притиснення до корпусу (рис.22). Однак точно встановити приналежність фільтра двигуна не представляється можливим.
- Впускний повітропровід (рис.23) має сліди дрібного пилу по всій внутрішній поверхні і замаслення в нижній частині гофров. Сліди масла, що витекла з патрубка вентиляції картера двигуна у впускний повітропровід блискучі, без явних слідів пороху і сторонніх часток (рис.24).
- Поверхня дросельної заслінки забруднена надмірним відкладенням частинок пилу (рис.25-26).
- **Впускний колектор має значне забруднення всередині** (рис.27-30), на нижній внутрішньої поверхні розташовані скупчення дрібного пилу, перемішаної з олією, що мають характерний бурий колір (рис.28), на горизонтальній перегородці в середині колектора також є шар пилу, що осів вибірково і явно не при зберіганні знятого колектора,
- Фланці з'єднання колектора з головками блоку (рис.31), елементів колектора між собою (рис.32), а також вузла дросельної заслінки до колектора не мають явних слідів нещільного прилягання і / або пошкодження ущільнень, повітропровід на

краях має сліди обтиску гуми при стягуванні хомутами (рис.23-27), ознаки попадання пилу в сполучення (характерні грязе-пилові "доріжки" та ін.) відсутні.

• Блок циліндрів має підвищений знос циліндрів в зоні зупинки поршневих кілець в ВМТ (рис.33-38), а також пошкодження поверхні всіх циліндрів у вигляді дрібних вертикальних подряпин, особливо сильні в циліндрах №№ 1 і 3 (рис.33,35) . Результати вимірювання зносу циліндрів блоку за допомогою нутромера і мікрометра представлені в табл.2.

Табл. 2. Розміри циліндра.

Сторона блоку циліндрів	№ циліндра	Номінальний. / Максимал. розмір циліндра *, мм	Циліндр в середній частині, паралельно осі коленвала (осьовий напрямок) / перпендикулярно осі коленвала, мм	Циліндр в зношеної верхній частині, паралельно осі коленвала (осьовий напрямок) / перпендикулярно осі коленвала, мм	Усереднене значення діаметра по 4 вимірам **, мм
Права сторона блоку	1	94,00-94,012 /94,20	94,05 / 94,06	94,06 / 94,21	94,095
	3		94,05 / 94,06	94,04 / 94,12	94,068
	5		94,05 / 94,06	94,04 / 94,12	94,068
Ліва сторона блоку	2		94,05 / 94,05	94,05 / 94,10	94,063
	4		94,04 / 94,08	94,03 / 94,13	94,07
	6		94,05 / 94,06	94,05 / 94,12	94,07

* - розмір регламентується виробником.

** - розмір, отриманий відповідно до розрахунків за приписом виробника ТЗ.

Отримані результати показують, що циліндри двигуна мають знос, усереднене збільшення діаметра щодо стандартного розміру по чотирьом вимірам становить близько 0,10 мм. Однак розміри циліндрів, з урахуванням даних виробника ТЗ (Додаток 2), в цілому ще знаходяться в межах встановленого допуску.

• Всі поршні мають сліди абразивного зносу у вигляді матової поверхні і вертикальних подряпин на юбках (рис.39-44). Результати вимірювання зносу юбок поршнів за допомогою мікрометра представлені в табл.3.

Табл. 3. Розміри юбок поршнів (нумерація дана згідно цифрам на порушених).

Регламентований розмір юбок поршнів / хв. допустимий діамертр *, мм.	Розмір юбок поршнів, мм.					
	1	2	3	4	5	6
93,96 – 93,98 / 93,83	93,94	93,98	93,97	93,96	93,97	93,95

*- розмір регламентується виробником на відстані 9,8 мм від нижньої кромки юбки.

Отримані результати показують, що знос юбок поршнів також ще знаходиться в полі допуску, встановленого виробником ТЗ (Додаток 2).

• Кільця поршневі всіх поршнів мають знос і пошкодження торцевих площин кілець, що стикаються з поверхнею канавок в порушених під компресійні кільця у вигляді

подряпин, причому найбільш сильний знос торцевої поверхні мають верхні кільця, що видно навіть неозброєним оком (рис.45-46).

- Рухливість маслоз'ємних кілець всіх поршнів порушена за рахунок великої кількості нагару.
- Поршень, позначений як №1, має найбільший знос канавки верхнього поршневого кільця, що видно навіть без вимірювань (рис.47-48). Решта поршні, помічені №№2,3,4,5,6, мають підвищений знос канавки верхнього поршневого кільця. Результати вимірів представлені в табл.4.

Табл.4. Розміри зазорів між торцевою поверхнею кілець і канавок кілець в порушених (нумерація дана згідно цифрам на порушених).

Зазор "кільце-канавка"	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Верхнє* 0,02-0,07 мм.	**1,20**	**0,25**	**0,80**	**0,35**	**0,15**	**0,10**
Середнє* 0,02-0,06 мм.	**0,05**	**0,05**	**0,05**	**<0,05**	**<0,05**	**<0,05**
Нижнє*0,07-0,15 мм.	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**

* - розмір регламентується виробником.

Отримані результати показують, що знос всіх сполучень верхніх кілець з канавками поршнів значно перевищує поле допуску, встановленого виробником ТЗ.

Результати замірів замку кілець за допомогою набору щупів при установці кілець в циліндри на 110 мм нижче верхньої частини циліндра, відповідно до рекомендацій виробника ТЗ, представлені в табл.5.

Табл.5. Розміри зазорів в замках поршневих кілець (нумерація дана згідно цифрам на порушених).

Кільцо	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
Верхнє* мм 0,25-0,35, мах 0,5 мм.	**0,35**	**0,35**	**0,35**	**0,35**	**0,3**	**0,35**
Середнє* мм 0,50-0,60, мах 0,85 мм.	**2,7**	**1,1**	**1,95**	**1,35**	**0,95**	**1,15**
Нижнє* мм 0,10-0,40, мах 0,6 мм.	**0,4**	**0,45**	**0,45**	**0,45**	**0,4**	**0,4**

*- розмір регламентується виробником.

Отримані результати показують, що верхні поршневі кільця мають надмірний знос торцями, а середні – зовнішньою робочою поверхнею, що перешкоджає їх подальшої експлуатації.

- Всі випускні клапани, а також сідла випускних клапанів в ГБЦ обох рядів циліндрів без явних ознак зносу. Всі випускні клапана і випускні сідла ГБЦ за зовнішнім виглядом відповідають випускним сідел і клапанів, позначеним №1 (рис.49-50).
- Стрижні всіх впускних клапанів мають сліди абразивного зносу у вигляді матової поверхні в зоні контакту з направляючою втулкою клапанів, (рис.51). Один клапан циліндра №1 (рис.52) має знос в нижній частині стержня 0,02 мм, знос стрижнів інших клапанів не виявлено.

- Поверхня робочої фаски на сідлах всіх впускних клапанів в ГБЦ і робочі фаски на тарілках всіх впускних клапанів мають ознаки абразивного зносу у вигляді матової поверхні. Поверхня робочої фаски всіх впускних сідел відповідає за видом поверхні робочої фаски впускних сідла (праворуч) циліндра №1 (рис. 53).
- Впускний клапан циліндра №1 і відповідне сідло клапана в ГБЦ, крім матової поверхні від абразивного зносу, має ознаки зміни геометричної форми сідла і тарілки клапана (рис.53-54).

Відповідно до отриманих результатів очевидно, що двигун має значні пошкодження і знос деталей, але в цілому зберіг працездатність, оскільки основні деталі не були зруйновані.

Також при огляді встановлено, що:

- Внутрішня поверхня картера блоку циліндрів чиста, без відкладення шламу на поверхні (рис.55-56).
- Внутрішня поверхня обох ГБЦ чиста, без відкладення шламу на поверхні (рис.57-58).

Наступні деталі і вузли двигуна були оглянуті, але виключені з об'єктів дослідження як не мають явних ознак приналежності до досліджуваного ДВЗ (не представляється можливим точно встановити на повністю розібраному, але зберігався в неналежних умовах двигуні, чи належать ці деталі даного двигуна, або це деталі іншого двигуна):

- Колінчастий вал.
- Вкладиші коленвала.
- Постели і опорні шийки росподвалов ГРМ в ГБЦ.
- Зірочки, ланцюг приводу ГРМ, заспокоювачі (напрямні башмаки) і натяжители.
- Кришка блоку циліндрів.
- Піддон картера.

Для встановлення причинно-наслідкових зв'язків і відповіді на питання, поставлені перед експертом, необхідно провести дослідження всіх обставин, які призвели до пошкодження двигуна.

Історія автомобіля.

Історія автомобіля завжди складається з метою визначення подій в експлуатації автомобіля, які могли вплинути на виникнення та розвиток несправності. Дані історії обслуговування автомобіля представимо у вигляді табл.№2.

Табл.2. Історії обслуговування автомобіля Toyota Highlander, 2012 випуску, VIN: JTEESXXXX02203153.

№ п/п	Вид ТО, ремонту, причина звернення	ДАТА	ПРОБІГ, км	Пробіг від попер. події., км	Документ	ПРИМІТКИ
1	Випуск автомобіля	Травень 2012	0	0	http://www.exist.ua/ інформація по автомобілю	
2	Придбання ТЗ	29.11.2012	0	0	Сервісна книжка (стр. 7, 27)	ТОВ «Мхххххх»
3	ТО -10 000 км	06.03.2013	8 249	8 249	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ИС00185985 від 06.03.2013р.	ТОВ «Авто-Сервіс»

4	ТО -20 000 км	04.06.2013	19 416	11 167	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ИС00195913 від 04.06.2013 р.	ТОВ «Авто-Сервіс»
5	ТО -30 000 км	03.08.2013	29 419	10 003	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ИС00202667 від 03.08.2013 р.	ТОВ «Авто-Сервіс» **Заміна повітряного фільтра ДВЗ**.
6	ТО-40 000 км	02.10.2013	38 476	9 057	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ИС00208798 від 02.10.2013р.	ТОВ «Авто-Сервіс» **Заміна повітряного фільтра ДВЗ.**
7	ТО -50 000 км	11.02.2014	50 575	12 099	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ИС00221161 від 11.02.2014р.	ТОВ «Авто-Сервіс»
8	ТО -60 000 км	10.04.2014	59 075	8 500	Сервісна книжка (стр. 29), замовлення-наряду №ТЦ0277138 від 10.04.2014р.	ТОВ «Авто-Сервіс»
9	ТО-70 000 км	08.04.2015	69 854	10 779	Сервісна книжка (стр. 30), Копія акту виконаних робіт №4882 від 08.04.2015р.	ТОВ «Автопром»
10	ТО- 80 000 км	03.06.2015	80 079	10 225	Сервісна книжка (стр. 30), Копія акту виконаних робіт №12047 від 03.06.2015р.	ТОВ «Автопром»
11	ТО-90 000 км	24.07.2015	92 254	12 175	Сервісна книжка (стр. 30), Копія акту виконаних робіт №14373 від 24.07.2015р.	ТОВ «Автопром»
12	ТО-100 000 км	29.10.2015	99 134	6 880	Сервісна книжка (стр. 30), Копія акту виконаних робіт №17866 від 29.10.2015р.	ТОВ «Автопром»
13	ТО -110 000 км	18.05.2016	108 026	8 892	Сервісна книжка (стр. 30), Копія акту виконаних робіт №25645 від 18.05.2016р.	ТОВ «Автопром» Заміна свічок запалювання.
14	Не горить ліва ВТФ та ін. Ближнє світло: брязкіт захисту картера; перевірка рівня технічних рідин; гул спереду при русі на швидкості від 60 км / год	02.06.2016	112 610	4 584	Копія замовлення-наряду №15548159 від 02.06.2016р. та акту прийому передачі виконаних робіт №15548159 від 02.06.2016р.	ТОВ «Ролер Моторс» Рекомендації: замінити гальмівну рідину, рідину АКПП, повітряний фільтр двигуна, провести очищення дросельного вузла, замінити сальник хвостовика роздавальної коробки
15	Мийка радіаторів ДВЗ, АКПП, радіатор кондиціонера продути, фільтр ДВЗ заміна (запчастина в багажнику), заміна	13.06.2016	114 736	2 126, 76 270 км з попер. заміни пов.	Копія замовлення-наряду №15601017 від 13.06.2016р. та акту прийому передачі виконаних робіт №15601017 від	ТОВ «Ролер Моторс» **Заміна повітряного фільтра двигуна** (запчастина клієнта)

	гальмівної рідини.			фільт-ра	30.08.2016р.	
16	Гул в передній частині під час руху	25.08.2016	114 736	0	Копія вимоги № 15964818 від 25.08.2016г. і акту №15964818 від 05.10.2016р.	ТОВ «Ролер Моторс» Виявлено підвищений гул в роздавальної коробці, пошкодження підшипників, зубів диференціала. Проведено ремонт роздавальної коробки.
17	Нерівномірне робота ДВЗ, вібрація. Помилок на щітці приладів немає, на холодну загоряється помилка на щітці приладів і ДВЗ нерівномірно працює (троїть, детонація)	06.09.2016	117 035	2 299	Копія замовлення-наряду № 16016588 від 06.09.2016р.	ТОВ «Ролер Моторс» При діагностике ДВЗ було виявлено: - в блоці управління ДВЗ збережена помилка P0301 - пропуски запалювання на першу циліндру; - компресія в циліндрах №1- 8кг / см3, №3- 13 кг / см3, №5- 13 кг / см3; - у впускному колекторі велику кількість сторонніх часток (пісок, пил); - повітряний фільтр оригінальний майже новий; - в першому циліндрі розбита канавка поршня і бовтається верхнє компресійне кільце; - залягання всіх маслоз'ємних кілець на всіх порушених; - в маслі велику кількість тво металевого пилу; - зношені штоки клапанів про напрямні ГБЦ, як і самі направляючі клапанів; - зношені шийки росподвалов; - на магнітних датчиках ДВЗ велике к-ть металевого пилу; - у всіх порожнинах ДВЗ, де проходять масляні канали - масло з металом. Можлива причина: потрапляння сторонніх часток в камеру згоряння через впускний колектор. При діагностиці також виявлено: в коробі повітряного фільтра є бруд і пісок, у впускному колекторі присутні масляниста плівка з частинками абразиву.
18	Проведення експертного дослідження		117 035 км, по докумен-там	0		

Представлена історія обслуговування досліджуваного автомобіля дозволяє зробити наступні висновки:

1. На досліджуваному автомобілі регулярно проводилося ТО на станціях офіційних дилерів автомобілів марки Тойота. У представлених документах відсутня інформація про відмову власника автомобіля від виконання, будь-яких необхідних регламентних робіт, передбачених виробником автомобіля. Рекомендації, дані співробітниками СТО, власником автомобіля виконувалися. Записи про виявленні порушення експлуатації автомобіля відсутні.

2. За час експлуатації автомобіля заміна повітряного фільтра двигуна зроблена три рази,

- ТО – 30 000 км, при пробігу 29 419 км, по замовлення-наряду №IC00202667 від 03.08.2013 р
- ТО – 40 000 км, при пробігу 38 476 км, по замовлення-наряду №IC00208798 від 02.10.2013 р

• Заміна за рекомендацією, при пробігу 114 736 км, по замовлення-наряду №15601017 від 13.06.2016г.

Відповідно до регламенту ТО [6,7], заміна повітряного фільтра двигуна повинна проводитися кожні 40 000 км, при цьому огляд і заміна при необхідності проводиться кожні 10 000 км.

Пробіг автомобіля без заміни повітряного фільтра склав **76.270** км. Пробіг автомобіля після заміни повітряного фільтра і до виявлення абразивного зносу в двигуні склав **2.299** км.

Виходячи з отриманих даних історії автомобіля можна припустити, що абразивний знос деталей, виявлений при огляді в досліджуваному двигуні, і експлуатації автомобіля з повітряним фільтром, що вичерпав свій ресурс, мають причинно-наслідковий зв'язок. Однак це припущення вимагає перевірки і аналізу.

Аналіз даних, отриманих під час огляду двигуна.

Вироблений огляд і вивчення фотографій дозволяють виявити стан ДВЗ і його систем, в тому числі, такі пошкодження і несправності, розбивши їх по групах:

Блок циліндрів ДВЗ

• Всі циліндри блоку циліндрів мають знос в середній частині на 0,03-0,07 мм більше номінального розміру циліндрів.

• Головним чином, підвищений знос циліндрів знаходиться в зоні зупинки середніх поршневих кілець в ВМТ, при цьому знос циліндрів на 0,09-0,20 мм більше номінального розміру циліндрів.

• Стінки циліндрів мають сліди абразивного зносу у вигляді численних дрібних подряпин, особливо в циліндрі №1, інші циліндри також зношені, але в меншій мірі, ніж циліндр №1.

Поршні і поршневі кільця ДВЗ

• всі поршні блоку циліндрів сильно пошкоджені – канавки верхніх поршневих кілець зношені (розмиті) на 0,1-1,2 мм, найбільш сильне пошкодження мають верхні канавки поршнів №№1 і 3 – на 1,2-0,8 мм, канавки поршнів №№2 і 4 мають знос до 0,25-0,35 мм, а канавки поршнів №№5 і 6 зношені на 0,15-0,10 мм.

• також зношені канавки середніх кілець всіх поршнів, знос знаходиться в межах 0,05 мм.

• верхні поршневі кільця всіх поршнів мають значний, але рівномірний знос торцевих поверхонь, сліди подряпин і абразивного зносу у вигляді матових плям.

• середні поршневі кільця всіх поршнів надзвичайно сильно зношені по робочій поверхні, замки виходять за допустимі межі (0,85мм) на 0,1-1,85 мм. Найбільш сильний знос має кільце поршня №1 – зазор в замку становить 2,7 мм.

• юбки всіх поршнів мають сліди абразивного зносу, у вигляді матової поверхні. Розмір юбок більшості поршнів знаходиться в встановлених межах, що не виходять за мінімально допустимий розмір, юбка поршня №1 має розмір на 0,02 мм менше номінального розміру.

Головки блоку циліндрів:

• робочі фаски впускних клапанів, стрижні і впускні сідла в камерах згоряння всіх циліндрів мають сліди абразивного зносу, стрижні в нижній частині і робочі фаски клапанів і сідел мають характерний сірий матовий колір з дрібними подряпинами.

- Один впускний клапан циліндра №1 має знос стрижня на 0,02 мм менше, ніж діаметри інших клапанів. Нижня головка клапана має повний знос робочої фаски зі зменшенням діаметра тарілки клапана до 37,5 мм, край тарілки клапана гострий.
- Сідло впускного клапана циліндра №1, що знаходиться ближче до торцевої поверхні ГБЦ, має знос робочої фаски зі зміною геометричної форми, причому сусіднє сідло впускного клапана циліндра №1 не має відмінностей по зносу від інших сідел впускних клапанів в обох ГБЦ.
- на кришках постель розподільних валів є сліди нерівномірного зносу у вигляді заполірована ділянок поверхні.

Інші вузли і деталі:

- є ознаки попадання пилу у вхідну систему: повітропровід має сліди пилу і замаслення в нижній частині гофров,
- дросельна заслінка з характерними розлученнями, замаслена і забруднена часточками пилу,
- **впускний колектор має значне забруднення всередині**, на нижній внутрішньої поверхні розташовані скупчення дрібного пилу, перемішаної з олією, на горизонтальній перегородці в середині колектора також є шар пилу, що осів вибірково і явно не при зберіганні знятого колектора,

Аналіз характеру пошкодження деталей показує, що **в двигуні є серйозні пошкодження всіх основних пар тертя циліндропоршневої групи і клапанного механізму, що вказують на надзвичайно сильне абразивне зношування загального характеру, що посилюється до правої передньої стороні двигуна** і має ймовірну причинно-наслідковий зв'язок із забрудненням частинками пилу, знайденими в системі впуску. Однак ця залежність також вимагає перевірки і фактичного підтвердження.

Дослідження системи управління двигуна.

У представлених документах, в замовлення-наряді № 16016588 від 06.09.2016р. ТОВ «Ролер Моторс», міститься інформація про виявлення в блоці управління ДВЗ коду помилки P0301 – пропуски займання в циліндрі №1. Дана інформація може бути важлива для встановлення причини несправності, тому необхідно розглянути, яким чином на досліджуваному автомобілі працює система діагностики.

Принципи роботи системи ECM (електронного контрольно-діагностичного модуля) в складі SFI (системи управління послідовним уприскуванням палива).

Для діагностики автомобіля, обладнаного європейської бортовий системою самодіагностики (Euro-OBD), до автомобіля повинна бути підключена система бортової діагностики OBD (задовольняє стандарту ISO 15765-4). Таким чином, можна вважати різні вихідні дані блоку ECM автомобіля [1,4,6].

Згідно з положеннями Euro-OBD, бортовий комп'ютер автомобіля повинен включати контрольну лампу несправності (MIL) на панелі приладів, що спрацьовує в разі виявлення несправності в наступних системах:

1. Несправності в вузлах системи зниження токсичності відпрацьованих газів.
2. Порушення роботи вузлів системи управління трансмісією, що впливають на токсичність відпрацьованих газів.

3. Несправності в блоці управління.

Крім того, в пам'ять ЄСМ записуються відповідні діагностичні коди несправностей (DTC), передбачені вимогами стандарту ISO 15765-4 [6]. Якщо несправність не проявляється протягом 3 наступних поїздок, контрольна лампа несправності автоматично вимикається, однак коди DTC реєструються в пам'яті ECM.

Для перевірки кодів DTC портативний діагностичний прилад (ПДП) підключається до діагностичного роз'єму автомобіля.

На дисплеї приладу відображаються коди DTC, дані фіксованого набору параметрів і різні дані про стан і умови роботи двигуна.

При нормальній експлуатації автомобіля система діагностики працює в звичайному режимі. У нормальному режимі діагностики для забезпечення точного визначення несправності застосовується як логіка діагностування за 2 поїздки. Це передбачає, що при першому виявленні несправності DTC тимчасово зберігаються в пам'яті ЄСМ (1-а поїздка). Якщо ця ж несправність реєструється знову під час наступного циклу руху, включається контрольна лампа MIL (2-а поїздка).

На момент виникнення несправності деякі важливі коди в пам'яті ЄСМ зберігаються у вигляді таблиці зміни всіх основних параметрів за часом – в момент появи коду, а також до цього моменту і після нього, з кроком по часу 0,5-1 с (Freeze Frame Data) . Це дозволяє швидше і ефективніше визначити, які параметри вийшли за допустимі межі, щоб усунути несправність з мінімальними витратами часу.

Як додатковий засіб механіки можуть скористатися режимом активної діагностики (поїздка з приладом). Для поліпшення здатності системи виявляти несправності, в тому числі епізодичні, при відтворенні ознак несправностей в режимі активної діагностики використовується логіка діагностування за 1 поїздку (тільки в разі застосування ПДП).

Після проведення всіх діагностичних процедур, перевірки систем і усунення виявлених несправностей відповідно до офіційної ремонтної документації проводиться видалення кодів DTC [5,8]. Коди DTC і дані фіксованого набору параметрів можуть бути видалені за допомогою ПДП. Також коди DTC видаляються при відключенні негативної клеми АКБ автомобіля на час більше 1 хвилини. Факт видалення кодів фіксується блоком управління, після видалення кодів починається новий відлік пробігу автомобіля в блоці управління.

Дослідження кодів несправностей двигуна.

В замовлення-наряді № 16016588 від 06.09.2016р. зафіксований код помилки **P0301 – пропуски займання в циліндрі №1**. Даний код характеризує стан двигуна, що викликає спрацьовування контрольної лампи несправності, оскільки надходження незгорілого палива в систему випуску порушує роботу системи зниження токсичності відпрацьованих газів і веде до її пошкодження (до перегріву каталізатора). Інші коди на момент надходження автомобіля до дилера в пам'яті DTC були відсутні.

Код OBD P0301 означає, що комп'ютер автомобіля виявив, що один з циліндрів двигуна не працює належним чином, причому при повторенні несправності поспіль протягом значного числа циклів.

Можливі симптоми коду P0301: двигун важче запускається, має провали і / або втрачає потужність, також можуть бути присутні інші симптоми (наприклад, вібрація, нестійкість на холостому ходу).

Можливі причини OBD коду P0301 пов'язані з однією або більше таких несправностей: несправність свічки запалювання, високовольтного проводу, котушки запалювання, датчика

кисню, паливної форсунки, каталізатора, блоку управління, прогар випускного клапана, неправильний склад суміші, мала компресія.

Згідно замовлення-наряду № 16016588 від 06.09.2016г., У досліджуваного автомобіля код несправності P0301 виявлено під час перевірки і дефектації двигуна, при якій виявлено зниження компресії в циліндрі №1 – до 8 кг / см3, абразивний знос впускного клапана і його сідла в ГБЦ , абразивний знос ЦПГ.

Виходячи з результатів огляду, циліндр №1 має найбільший знос, а поршень №1 і поршневі кільця – найсильніші знос і пошкодження. Тому поява пропусків запалення саме в циліндрі №1 можна вважати цілком очевидним і природним процесом, відповідним станом циліндра і його зміни (погіршення) в режимі катастрофічного зносу.

Таким чином, **між кодом помилки P0301 (пропуски займання в циліндрі №1) і станом циліндра №1 (значний абразивний знос, Поторій компресії) є однозначна причинно-наслідковий зв'язок**, а саме – знос викликав втрату компресії і пропуски займання.

Однак за результатами діагностики неможливо визначити причину абразивного зносу ДВЗ, що викликав прояви несправності. Іншими словами, аналіз кодів несправності двигуна не дозволяє виявити будь-яку іншу корисну інформацію, що полегшує встановлення причини несправності ДВЗ, тому видається більш доцільним визначення причини шляхом аналізу характеру зносу і пошкодження деталей.

Загальний аналіз ознак пошкодження деталей досліджуваного двигуна.

Згідно з наявним досвідом експлуатації і ремонту ДВЗ [12, 34-38], стан досліджуваного двигуна може бути охарактеризоване як **абразивний знос**, при цьому всі циліндри, поршневі кільця, клапани та сідла мають ознаки даного виду зносу, причому сліди попадання абразивних частинок є у впускний системі двигуна (головним чином, у впускному колекторі).

Для того, щоб встановити причинно-наслідкові зв'язки цих ознак з причиною несправності, необхідно виконати аналіз відомих даних по абразивного зносу. Так, згідно з досвідом провідного німецького виробника поршневих груп – фірми MAHLE [35,36]:

Абразивний знос двигуна через бруд (рис.59)

СИМПТОМИ

Абразивний знос двигуна через бруд найчастіше проявляється у вигляді підвищеної витрати масла. При цьому обстеження надісланих деталей виявляє різний характер пошкоджень:

- *На юбке поршня утворюється широке матове пляма контакту, як з боку найбільшої бічного навантаження, так і з протилежного боку.*
- *Відзначаєт ься знос профілю обробки на юбке поршня, а також на сполученої контактної поверхні (стінці або гільзі циліндра).*
- *На юбке поршня, поршневих кільцях, стінці і / або гільзі циліндра виявляються тонкі борозни по ходу руху.*
- *Поршневі кільця і їх канавки мають знос по висоті.*
- *На поршневих кільцях відзначається збільшений тепловий зазор. Кромки кілець стають надзвичайно гострими.*
- *Зношуют ься робочі кромки маслос'емного кільця.*
- *Поршневий палець має борозни хвилеподібного профілю в поздовж ньому напрямку.*
- *Абразивний знос залишає свої сліди і на інших деталях, наприклад, на стрижні клапана.*

ПРИЧИНИ

При пошкодженнях, причиною яких є абразивний знос, можна виділити кілька різновидів дефектів в залежності від числа пошкоджених циліндрів і стану поршневих кілець.

Якщо пошкоджений тільки один циліндр ...

***... і перше поршневі кільця зношене значно сильніше, ніж третє**, тоді забруднення потрапляють в камеру згоряння через систему впуску циліндра, тобто зверху. Причиною цього є або розгерметизація, або грязьові відкладення, які не були видалені до початку ремонтних робіт.*

Якщо пошкодженими є кілька циліндрів або все циліндри ...

***... і перше поршневі кільця зношене значно сильніше, ніж третє**, тоді забруднення потрапляють в камеру згоряння через загальну систему впуску всіх циліндрів. Причини такої ситуації пояснюються розгерметизацією і / або зруйнованим або ж відсутнім повітряним фільтром.*

***... і третє поршневі кільця зношене значно сильніше, ніж перше**, тоді слід виходити з того, що брудним є моторне масло. Забруднення масла відбувається або з тієї причини, що не була здійснена очистка картера двигуна, і / або через брудне отделителя масляного туману.*

Виходячи з даного опису виробника поршневих груп, досліджуваний двигун має ознаки **абразивного зносу внаслідок розгерметизації, руйнування або відсутності повітряного фільтра**.

З іншого боку, верхня канавка кільця на поршні №1 має ознаки так званого "розмивання", тобто значного зносу місцевого характеру. Відповідно до досвіду іншого відомого німецького виробника поршневих груп – фірми Kolbenschmidt [34]:

Вимивання матеріалу в зоні кілець (поломка кілець) рис.60

Опис ушкодження

В ділянці кілець в зоні першої канавки для кілець вимивається матеріал у великому обсязі до днища поршня. Канавка кільця має сильний осьової знос. У днище поршня є вм'ятини від шматків першого кільця. Юбка поршня має в деяких місцях матовий вид пемзообразной структури.

Оцінка пошкодження

У зв'язку з сильний осьовим зносом канавки, особливо на канавці першого кільця, пошкодження в описаному випадку виникло, безумовно, тільки в результаті попадання забруднень в камеру згоряння. Забруднення відкладаються також в канавці кільця і викликають на кільці і в канавці кільця абразивний знос. В результаті цього зазор кільця по висоті все більше підвищується.

Аналогічно вимивання матеріалу канавки (розмивання канавки) описано та у фірми Mahle [35] (рис.61):

СИМПТОМИ

Перемички поршневих кілець і / або жаровой пояс мають ямковий вироблення.

Поверхні виробок заполірована і гладкі.

Подальший розвиток дефекту характеризується ушкодженнями від осколків кільця на днище поршня.

Поршневі кільця виробленої канавки зруйновано.

ПРИЧИНИ

Такий дефект є наслідком розлому поршневого кільця або ж його вібрації. Можливі причини:

Монтажні помилки:

Поршневі кільця при монтажі не повністю встало в канавку і зруйнувалося при установці в циліндр.

Детонаційне згоряння палива:

Унаслідок пікових значень тиску при детонаційному згорянні палива сталося руйнування поршневого кільця.

Збільшений вільний хід поршневого кільця:

Знос канавки поршневого кільця.

Знос поршневого кільця.

Згідно з цими даними, абразивний знос при його розвитку призводить до зносу поршневих кілець в результаті ослаблення їх перетину і виникнення вібрацій кільця в зношеної канавці поршня [14].

Виходячи з наведених даних, **обидва види пошкоджень - абразивний знос деталей ЦПГ і розмивання канавки поршня №1, є тільки різні фази одного і того ж процесу**. Тобто, спочатку потрапляння абразивних частинок викликає знос циліндра, канавки поршня і самого кільця, потім в результаті збільшення зазорів в канавці виникають коливання кільця, що призводять подальшого ще більш прискореному розмивання канавки.

Зворотній версія, а саме, абразивний знос виник в результаті коливань зруйнованого кільця (наприклад, зламаного під час складання двигуна на заводі), дає такі ознаки:

1) локалізація ушкодження (абразивний знос) тільки в одному циліндрі, оскільки поломка кілець відразу в декількох циліндрах не знайдено,

2) практична відсутність зносу в інших циліндрах в зв'язку з малою кількістю частинок, що утворюються при зносі, а також безперервним винесенням цих частинок в випускну систему. У досліджуваному двигуні, навпаки, досить сильно зношені все циліндри і поршневі кільця.

Оскільки обидва зазначених ознаки повністю не відповідають досліджуваного двигуна, станом деталей зрозуміло, що **причиною несправності двигуна є абразивний знос деталей внаслідок попадання абразивних частинок в циліндри ззовні**.

Однак отриманий висновок не дає відповіді на питання, яким чином абразивні частинки потрапили в циліндри. Тому для того, щоб виявити причину попадання в двигун абразивних частинок, необхідно детально дослідити особливості процесу абразивного зношування в ДВЗ.

Абразивне зношування деталей ДВЗ.

Абразивним зношуванням називають процес руйнування поверхні деталі в результаті її взаємодії з твердими частинками при наявності відносної швидкості. **Абразивним матеріалом** в загальному випадку називають мінерал природного або штучного походження, зерна якого мають достатню твердість і мають здатність різання (скобления, дряпання).

Абразивний знос є найбільш поширеним і найбільш швидким механізмом зносу, яке трапляється в різних областях промисловості і техніки [19-21]. Абразивне зношування викликають грунт, грунт, руда, вугілля і порода, зола, пил, що потрапили на поверхню тертя, металева стружка, окисні плівки, закріплені на поверхні тертя або зруйновані, нагар і продукти зношування, особливо, викришиться частини твердих структурних складових. Це явище може розвиватися в будь-якому середовищі, в грунті, на повітрі, в рідини в присутності абразивних частинок, і в більш загальному випадку при роботі будь-яких механізмів.

У ролі абразивних частинок виступають:

• нерухомо закріплені тверді зерна, що входять в контакт по дотичній або під невеликим кутом атаки до поверхні деталі (наприклад, шаржування сторонніми твердими частинками м'яких антифрикційних матеріалів);
• вільні частки, які перебувають в зазорі сполучених деталей;
• вільні абразивні частинки, що залучаються до потік рідиною або газом.

На процес абразивного зношування може впливати:
• природа абразивних частинок;
• агресивність середовища;
• властивості зношуються поверхонь;
• ударна взаємодія;
• нагрів і інші фактори.

Абразивні властивості пилу, що надходить у двигун з навколишнього середовища, в основному визначаються наявністю **кварцу і корунду**, що володіють високою твердістю. Кварц, як найпоширеніший в природі мінерал, становить 92-98% в піщаного пилу, 80-90% – в супіщаних і 65-75% – в лесової.

Кварц (нім. Quarz) – один з найпоширеніших мінералів в земній корі, породообразующий мінерал більшості магматичних і метаморфічних порід [22]. Слово «кварц» походить від німецького слова Quarz, що походить від німецького twarc, що означає «твердий». За іншими даними від ньому. Querklüfterz, Quererz – «руда січних жив». Хімічна формула: SiO2 (діоксид кремнію). Вільне вміст в земній корі – 12%. Входить до складу інших мінералів у вигляді сумішей і силікатів. В цілому масова частка кварцу в земній корі більше 60%.

Найбільш часто кристали мають подовжено-призматичний вигляд з переважним розвитком граней гексагональної призми і двох ромбоедрів, що утворюють головку кристала. Рідше кристали приймають вигляд псевдогексагональние діпіраміди.

У чистому вигляді кварц безбарвний або має біле забарвлення через внутрішніх тріщин і кристалічних дефектів [22]. Елементи-домішки і мікроскопічні включення інших мінералів, переважно оксидів заліза, надають йому найрізноманітнішу забарвлення. SiO2 відноситься до групи стеклообразующих оксидів, тобто схильний до утворення переохолодженого розплаву – скла. Блиск кристалів скляний, злам нерівний або раковистий.

Твердість кварцу визначається за шкалою Мооса (мінералогічна шкала твердості) за допомогою набору еталонних мінералів для визначення відносної твердості методом дряпання. Як еталони прийнято 10 мінералів, розташованих в порядку зростання твердості – від тальку (1 одиниця) до алмазу (10 одиниць). Кварц за даною шкалою має твердість 7. Оскільки шкала Мооса інформує тільки про відносну твердості мінералів, приблизно рівень твердості кварцу відповідає твердості загартованої високолегованої високовуглецевої сталі - це **понад 62 одиниць по Роквеллу** (HRC). Частинки такої твердості легко впроваджуються в м'які матеріали пар, що труться в двигуні і швидко стирається будь-яку більш тверду деталь пари.

Види абразивного зношування.

Залежно від особливостей зношування поділяють такі його види [19]:

1. Зношування в потоці газу або рідини. Тут контакт з деталлю може протікати під різними кутами атаки рідини або газу. Знос залежить від маси частинок, швидкості їх падіння, властивостей абразиву, фізико-механічних властивостей металу. При цьому на поверхні деталі може виникнути або пружна деформація, або пластична деформація, крихке руйнування, перенаклеп з відділенням металу у вигляді лусочок.

Цей вид також називають зносом при вільному ковзанні, і він є найменш важким, так як частинки абразиву не ламаються і не стискаються. Він відбувається під дією повторюваних дряпання твердими, гострими і дрібними частинками, що рухаються по твердій поверхні з різними швидкостями.

При допущенні, що навколишнє середовище неагресивна до поверхні деталі, слід розрізняти два випадки взаємодії абразивних частинок з матеріалом.

Прямий удар (кут атаки а = 90 °). Залежно від маси частинок, швидкості їх падіння, властивостей абразиву і фізико-механічних властивостей матеріалу деталі виникають пружна деформація, пластична деформація, велике руйнування, перенаклеп з відділенням матеріалу у вигляді лусочок.

Косий удар (0 <а <90 °). При кутах атаки не більше кута тертя на характер пошкоджень поверхні сильно впливають дотична складова імпульсу і опір матеріалу впливу дотичних сил на поверхню.

Особливості різних кутів взаємодії частинок з деталлю в потоці ілюструється наступним чином: в деяких випадках зносостійкість гуми в кілька разів вище, ніж загартованої сталі, в інших випадках (при нульовому куті атаки) зносостійкість гуми нижче, ніж стали, в зв'язку з фрикційної природою втомного пошкодження поверхні.

Даний вид зношування спостерігається в ДВЗ, головним чином, у вхідних кромок лопаток турбокомпресорів, що до досліджуваного двигуну не відноситься.

2. Зношування в зонах пари тертя – основний вид зношування в ДВЗ [21]. Потрапили в зазори пар тертя абразивні частки беруть участь у сприйнятті прикладеного навантаження і можуть в залежності від умов упресовують в поверхні тертя, роздавлюватися на більш дрібні фракції, ковзати або перекочуватися вздовж поверхні зношування, пружно і пластично деформуючи її.

Це один з найбільш важких видів абразивного зносу, він відбувається, коли дрібні абразивні частки притискаються до поверхні металу відповідної деталлю з силою, достатньою для руйнування і дроблення металу.

Потрапили в зазори пар тертя абразивні частинки під дією навантаження можуть, в залежності від умов, упресовують в поверхні тертя, дробитися на більш дрібні фракції, ковзати або перекочуватися вздовж поверхні зношування, пружно і пластично деформуючи її. Впровадили частка при русі щодо поверхні може також процарапать ризику або зрізати мікроскопічну стружку.

При твердості металевої поверхні, що перевищує 60% твердості абразиву, зносостійкість різко зростає. Таке ставлення твердостей можна назвати критичним.

Найбільше зношується вплив на деталі, що труться надають частки кварцу, твердість яких сягає 11.12 ГПа. Ці частинки розміром 1-30 мкм можуть тривалий час перебувати в повітрі при його русі.

Наприклад, повітряні фільтри двигунів автомобілів можуть затримувати тільки порівняно великі частки пилу, при цьому дрібні частинки проникають в двигун разом з засмоктує в циліндри повітрям. Очищаюча здатність сучасних фільтрів зазвичай становить понад 99%, тоді менше 1% пилу, що міститься в повітрі, потрапляє в циліндри двигуна. Кількість і розмір часток пилу, що потрапляють в двигун, залежить від розміру осередків фільтра і ступеня його забруднення – зазвичай фільтр затримує частинки більш 10-30 мкм, і чим більше забруднене фільтр, тим менше розмір часток, які він затримує.

При експлуатації автомобілів запиленість повітря зазвичай досягає 0,5-1,5 г / м3, при цьому з кожним кубометром повітря в циліндри може засмоктуватися до 5 мг пилу. В результаті двигун автомобіля, що експлуатується в запорошених піщаних районах з недостатніми характеристиками повітряного фільтра, може бути повністю зношений після

пробігу в 15-20 тис. Км, тоді як в умовах незапиленного повітря він може пройти як мінімум в 10 разів більше - 150 тис. км и більше.

3. Зношування при ударі абразивних частинок – цей процес називають ударно абразивним зношуванням. На нього впливає природа і геометрична форма, твердість, крихкість абразивних частинок, товщина шару абразиву, енергія удару, твердість випробуваного матеріалу, наявність рідини в зоні удару і т.д. Після ударно-абразивного зносу на поверхні залишаються лунки. Цьому руйнації піддаються, наприклад, деталі бурових доліт, рудомелющіх агрегатів, породоразрушающий інструмент пневмо- і гідроударників, деталі гусеничного ходу машин і ін. Для ударно-абразивного зношування характерне утворення на поверхні тертя лунок в результаті локальної пластичної деформації металу.

Із зазначених трьох видів зносу цей механізм призводить до найбільш важких пошкоджень. Він відбувається в тому випадку, коли абразивний знос поєднується з силовим впливом на тверду поверхню, при якому на ній з'являються помітні виїмки і вм'ятини (піттінг). Даний вид зношування в ДВЗ характерний для сполучення кулачків і штовхачів механізмів ГРМ, сідел і робочих фасок клапанів, а також для фази ударного руйнування деталей при надмірно великому робочому зазорі, викликаному абразивним зносом в парах тертя.

Знос деталей двигуна, таким чином, нерідко є результатом дії більш ніж одного механізму. Механізми діють одночасно, тому виділити дію кожного механізму нерідко важко. З іншого боку, знос може відбуватися одночасно з дією різних фізичних і хімічних процесів, що відбуваються під час експлуатації. Ці процеси можуть посилювати абразивний знос, збільшуючи швидкість останнього. До найбільш відомих і поширених процесів відносяться корозія (в основному іржавіння у вологих умовах експлуатації або в присутності вологи) і високі робочі температури (ефект знеміцнення).

Найбільш загальні механізми впливу абразивних частинок.

Який би тип зносу не розглядалося, його механізм сильно залежить від виду зносу, розміру і форми абразивних частинок (округлі або гострі).

У разі **абразивного зносу в умовах ковзання** під дією високої напруги (тиску на поверхню), які визначаються малими кутами падіння, накопичення ушкоджень на мікрорівні в поверхневих шарах реалізується по одному з наступних механізмів [14]:

Освіта борозен. Цей механізм зносу в основному контролюється пластичною деформацією. Дійсно, ковзання стислій частки абразиву відбувається без видалення матеріалу з поверхні зносу, так як він пластично зміщується до країв борозни.

Різання. І в цьому випадку знос частково управляється пластичною деформацією. Фактично, частка абразиву діє як ріжучий інструмент і перед ріжучої кромкою частки утворюється стружка. У цьому випадку втрати матеріалу на зношуються поверхні за обсягом дорівнюють обсягу сліду (канавки).

Розтріскування (крихке руйнування). Завжди відбувається під дією високої концентрації напружень, створюваної абразивної часткою. Внаслідок низької деформационной здатності розглянутого матеріалу великі фрагменти відокремлюються від поверхні зносу шляхом утворення мікротріщин і їх поширення. Обсяг теряемого матеріалу при зносі більше, ніж втрачається при утворенні канавок.

Освіта борозен і різання є основними механізмами зносу, зустрічаються в пластичних матеріалах, а розтріскування стає важливим в тендітних матеріалах, в яких твердість вважається адекватним способом протистояти зносу в процесі роботи.

У разі **ударно-абразивного зносу**, що характеризується великими кутами нахилу, накопичення ушкоджень в поверхневих шарах виражається в присутності глибоких вм'ятин,

які виникають в результаті повторюваних ударів або стискають навантажень, що надаються важкими і великими абразивними частинками. На мікрорівні такий механізм зносу контролюється пластичною деформацією контактної поверхні.

Нова вм'ятина, що з'являється при ударі, не призводить до відриву матеріалу з поверхні зносу, так як в зоні пошкодження матеріал деформується пружно-пластично, розтікаючись вниз і назустріч частці абразиву. Однак втрати обсягу відбуватимуться при повторних ударах через відриву осколків від поверхневих шарів. Таким чином, в умовах високих напруг і ударних навантажень для підвищення стійкості до абразивного зносу при експлуатації зносостійкі матеріали повинні мати високу в'язкість в поєднанні зі здатністю до пластичної деформації. В іншому випадку крихкий матеріал буде розтріскуватися в підповерхневої зоні, навколишнього вм'ятину, що може призводити до значного прискорення зносу при експлуатації.

Основні процеси абразивного зношування деталей ДВЗ.

У ДВЗ абразивного зносу піддаються всі тертьові пари – циліндро-поршнева група, підшипники ковзання, сполучення кулачків розподільних валів з штовхачами і ін. [21].

Так, **попадання абразивних частинок в циліндри** обумовлено, головним чином, їх надходженням через повітряний фільтр. Потрапили в зазори пар тертя типу "**циліндр-поршневе кільце**" абразивні частинки під дією навантаження можуть, в залежності від умов, упресовують в поверхні тертя, дробитися на більш дрібні фракції, ковзати або перекочуватися вздовж поверхні зношування, пружно і пластично деформуючи її. При попаданні пилу в сполучення циліндра і поршневого кільця найбільший вплив спостерігається в зоні зупинки кільця в ВМТ, оскільки в цьому місці і в цей момент масляна плівка між деталями має мінімальну товщину (кілька мікрон), при якій абразивний знос викликають частинки навіть порівняно дрібних фракцій. Для протидії такому зносу верхні поршневі кільця сучасних ДВЗ мають тверді зносостійкі покриття (хром, молібден).

Крім цього, абразивного зносу схильне **сполучення поршневого кільця з канавкою поршня**, оскільки при наявних зазорах між верхньою частиною поршня і циліндром і кільця в канавці поршня абразивні частинки легко потрапляють в ці зазори, після чого притиснення кільця торцевою поверхнею до канавці викликає зазначені вище процеси впрессовиванія частинок в поверхні тертя, дроблення їх на більш дрібні фракції, ковзання або перекочування уздовж поверхні зношування з її пружною і пластичною деформацією.

При попаданні абразивних частинок з впускної системи абразивне зношування неминуче і для **сполучення "клапан-сідло"**, оскільки при посадці клапана в сідло в місці контакту можуть виявитися абразивні частинки. В цьому випадку абразивне зношування йде практично аналогічно описаному вище – посадка клапана в сідло йде з безпосереднім зіткненням деталей, при якому навіть дрібний пил надає на них абразивну дію. Крім того, впускний клапан відкривається в потоці повітря, що поступає, тому при подальшій посадці клапана абразивні частинки затягуються в зазор між стрижнем і спрямовуючої втулкою, завжди викликаючи характерний знос нижній частині зазначеної пари.

Вплив режиму змащення деталей на знос.

Відповідно до теорії тертя (трибології), інтенсивність процесів, що протікають на поверхнях тертя, залежить від зовнішніх механічних впливів, властивостей матеріалів пари тертя і фізико-хімічного впливу мастильної середовища [19,20]. Крім того, характер протікання даних процесів в значній мірі визначається геометрією і фізико-механічними властивостями контакту. Дискретний характер контакту впливає на взаємодію поверхонь, а

геометрія контакту є результатом процесів, що протікають при терті. У зв'язку з цим геометрія визначає відношення між фактичною і контурної площами контакту, тобто обсяг межконтактного простору, від якого залежить ефективність мастила вузла тертя.

Довговічність пари тертя визначається фізико-хімічними і механічним впливом мастильного матеріалу на матеріали пари тертя, що визначається режимом мастила між поверхнями.

Так, при **рідинному терті** на інтенсивність зношування впливають, головним чином, властивості масел, що визначають окислювальний і корозійний види зношування. Триботехнические характеристики контакту визначаються товщиною мастильного шару масла (більше 5 мкм) і його в'язкістю. При цьому в масляному шарі відбувається ковзання між молекулярними рядами, що є важливим чинником рідинного тертя.

Граничне тертя характеризується взаємодією твердих тіл, розділених тонким монослоем мастила (1-5 мкм). При цьому швидкість ковзання і питомі навантаження такі, що підйомна сила гідродинамічного ефекту зневажливо мала. Граничні шари утворюються на поверхнях твердих тіл за рахунок адсорбції та хемосорбції активних молекул мастила, а також адгезії полярно-активних частинок. Існують критичні товщини плівки, нижче яких ковзання між молекулярними рядами мастила не відбувається. Такі шари витримують великі нормальні навантаження і набувають властивостей квазіпружного тіла.

Важливим при аналізі процесів зносу пари є різниця в величині робочого зазору між поверхнями, що труться і розміром частинок, які впливають на деталі. Так, слід очікувати, що від розміру часток залежить, наскільки серйозні ушкодження поверхонь вони можуть завдати.

Вплив розміру абразивних частин на знос.

Очевидно, якщо робочий зазор занадто малий у порівнянні з розміром частинок, то частка буде витіснена із зони тертя з мінімальним пошкодженням поверхні (подряпини). Якщо, навпаки, частка дуже мала в порівнянні з робочим зазором між деталями, то в цьому випадку частка в зазорі взагалі може не стикатися з поверхнями і не викликати жодних їх пошкоджень.

Це підтверджується дослідженнями [19,20] – знос підвищується зі збільшенням розміру абразивного зерна приблизно пропорційно йому, але тільки до певного розміру зерна, рівного 20-40 мкм, потім при збільшенні розміру зерна знос навіть дещо зменшується. Це явище пояснюється тим, що не всі абразивні зерна, величина яких перевищує певне значення, потрапляють між поверхнями, що труться. Тільки зерна, що мають форму, що сприяє їх потрапляння між поверхнями, зношуються метал внаслідок їх подрібнення при терті з утворенням зерен менших розмірів.

Експериментально встановлено, що якщо розмір часток не перевищує 5 мкм, то вони, маючи велику розвинену поверхню при малих розмірах, абсорбують на собі продукти окислення масла, що може навіть знизити інтенсивність зношування деталі. Багато досліджень показують, що частинки з розмірами менше 5 мкм, дійсно, зменшують знос, а розміром більше 5 мкм - навпаки, збільшують знос тертьових пар.

При попаданні частинок в зазор між деталями, заповнений мастильним матеріалом, найбільше пошкодження і знос поверхонь спостерігається при розмірах частинок, близьких або кілька перевищують величину робочого зазору. Тому найбільш сильний знос провокують окремі частинки розміром від 8 до 60 мкм, а самими руйнівні з них є частинки розміром 18-30 мкм, що при великій кількості частинок викликає швидке (катастрофічне) зношування деталей (рис.62).

Згідно з результатами огляду, частинки пилу у впускному колекторі мають порівняно малі розміри (великі частки або відсутні, або мають поодинокий характер, який може бути пояснений забрудненням при зберіганні деталей), і цілком можуть включати в себе і діапазон часток найбільш руйнівних розмірів.

Таким чином, виходячи з теорії і практики абразивного зношування, а також з урахуванням наявних даних за розмірами абразивних частинок, є всі підстави вважати, що **в досліджуваному двигуні стався катастрофічний зношування деталей в результаті попадання в вхідну систему сторонніх абразивних частинок пилу**.

Аналіз причин абразивного пошкодження деталей ДВЗ та їх ознак стосовно до досліджуваного двигуну.

Згідно з результатами огляду, в двигуні є значні пошкодження деталей циліндропоршневої групи, впускних клапанів і сідел впускних клапанів в ГБЦ внаслідок абразивного дії твердих частинок. У загальному випадку, відповідно до практики ремонту і експлуатації ДВЗ [12,34-39], частки можуть потрапити ззовні або утворитися в самому двигуні.

Причин (і способів) влучення абразивних частинок в циліндри або їх знань всередині двигуна всього лише 6 (шість):

1. Руйнування каталізатора і надходження частинок зруйнованої кераміки в циліндри з випускної системи на режимах часткових навантажень, коли в циліндрі в кінці випуску можливо розрідження, або з впускної системи за рахунок рециркуляції.
2. Швидкий (катастрофічний) знос однієї з пар, що труться двигуна внаслідок її дефекту або експлуатаційного пошкодження.
3. Випадкове потрапляння частинок пилу і / або бруду в двигун в результаті помилкових дій персоналу при виконанні сервісних робіт.
4. Навмисне додавання абразивних частинок в двигун.
5. Попадання пилу під вхідну систему двигуна внаслідок не герметичності впускної системи, в тому числі, заводського дефекту впускної системи, помилки при обслуговуванні або зняття повітряного фільтру, навмисного або випадкового.
6. Використання неякісного повітряного фільтра.

Розглянемо всі зазначені способи і їх ознаки більш докладно.

Руйнування каталізатора і надходження частинок зруйнованої кераміки в циліндри характеризується наступними ознаками:

- розплавлення і часткове руйнування сот каталізатора з боку двигуна,
- подряпини і знос верхньої частини циліндра, пошкодження юбок поршнів незначні,
- знос верхніх поршневих кілець при відсутності зносу нижніх,
- знос сідел і фасок впускних і випускних клапанів,
- прорив газів з картера в вентиляційну систему внаслідок погіршення ущільнюючих властивостей поршневих кілець, масло у впускний системі,
- частки кераміки мають специфічний вид, різко відмінний від пилу (кварцу).

Аналіз зазначених ознак показує, що вони не відповідають пошкоджень досліджуваного двигуна, згідно з результатами огляду сторонні частинки виявлені у впускний системі, при цьому елементи випускної системи (стержні випускних клапанів) пошкоджень не мають.

Крім того, руйнування каталізатора в більшості практичних випадків безпосередньо пов'язано зі зниженням його ефективності, що практично неминуче викликає поява відповідного коду помилки на панелі приладів автомобіля і в пам'яті блоку управління. У

досліджуваному двигуні таких кодів не виявлено, ознак несправності каталізатора немає, тому є всі підстави стверджувати, що **руйнування каталізатора не є причиною виходу двигуна з ладу**.

Швидкий (катастрофічний) знос однієї з пар, що труться двигуна внаслідок її дефекту або експлуатаційного пошкодження є найбільш часто зустрічається причиною абразивного зносу тертьових пар [12, 35]. Фактично в двигуні з'являється джерело абразивних частинок, що утворюються безперервно при роботі.

Основними ознаками даної причини є:

• наявність найбільш зношеної пари, що треться, різко відрізняється від інших за ступенем (величиною) зносу,

• локальний характер пошкоджень поблизу даної пари (чим далі відстоїть пара від джерела частинок, тим менше її пошкодження),

Зазначені ознаки не відповідають досліджуваного двигуну (див.вище), в якому немає будь-якої суворої локалізації ушкоджень – все однотипні деталі і пари тертя зношені, хоча і не однаково. При цьому знос явно вище в передній стороні блоку циліндрів, зі збільшенням в сторону циліндра №1, але і задня частина блоку має значний знос деталей.

Тобто, в досліджуваному двигуні знос має скоріше загальний, ніж локальний характер. Виникнення, наприклад, швидко зношуються пари в одному циліндрі і розподіл часток по всіх циліндрах так, щоб отримати наявний характер розподілу зносу, неможливо і суперечить практиці експлуатації і ремонту ДВЗ [12,34,35]. Крім того, наявність великої кількості сторонніх абразивних частинок на вході у впускний колектор повністю виключає дану причину зі списку можливих несправностей, оскільки продукти зносу не можуть потрапити під вхідну частину колектора з найбільш віддаленого циліндра.

Таким чином, **швидкий (катастрофічний) знос однієї з пар, що труться внаслідок її дефекту або експлуатаційного пошкодження не є причиною несправності досліджуваного двигуна.**

Випадкове потрапляння частинок пилу і / або бруду в двигун в результаті помилкових дій персоналу СТО при виконанні сервісних робіт, вимагають оцінки, куди і в яких кількостях може потрапити пил і бруд, а також які ушкодження це може викликати.

Зазвичай пил і / або бруд потрапляє в обмежених кількостях на встановлювані деталі або місця розгерметизації двигуна (з'єднання і фланці, на яких закріплювалися демонтовані деталі). Відповідно до історії автомобіля, на двигуні проводилися роботи по заміні свічок запалювання зі зняттям впускного колектора двигуна, згідно акту виконаних робіт №25645 від 18.05.2016г. ТОВ «Автопром» (табл.2).

Виходячи із зазначених видів робіт, сторонні частинки могли потрапити під вхідну систему при розбиранні / збірці впускного тракту, необхідної для заміни свічок запалювання. Зокрема, необхідно розглядати помилки персоналу, при яких частинки потрапляють в систему впуску.

Практика показує, що даний тип забруднення впускної системи зазвичай носить одиничний і в цілому незначний характер і не робить помітного впливу на стан двигуна. Окремі частинки, які потрапляють в двигун, в кінцевому рахунку осідають в повітроводах або колекторі, не викликаючи жодних подальших наслідків. Винятком можуть бути тільки окремі незначні пошкодження циліндрів у вигляді залишених на поверхні поодиноких глибоких рисок, що і спостерігається в досліджуваному двигуні. Ніякого безперервного і / або сильного абразивного зносу такі частки не викликають внаслідок їх малої кількості і відсутності безперервного надходження таких частинок в циліндри. Оскільки характер пошкоджень не відповідає зазначеному, **випадкове потрапляння частинок пилу і / або бруду в двигун в результаті помилкових дій персоналу СТО не є причиною виходу двигуна з ладу**.

Навмисне додавання абразивних частинок в двигун може бути в цілому вкрито як різновид випадкового попадання частинок пилу і / або бруду в двигун, з тією лише різницею, що в при навмисному додаванні частинок їх кількість набагато більша.

Якщо допустити, що якийсь абразивний порошок міг бути примусово доданий в систему впуску, то ознаками даного дії будуть:

- очевидне наявність значної кількості сторонніх часток на стінках поблизу місця їх додавання в двигун – у заглибленнях, гофра вентиляційних отворів, тощо,
- швидке ушкодження двигуна, але таке ж швидке зменшення зносу внаслідок швидкого зменшення кількості вступників в циліндри частинок,
- поступове загладжування (полірування) пошкоджень після початкового надходження абразиву.

У досліджуваному двигуні немає зазначених ознак – внутрішня поверхня корпусу повітряного фільтра після фільтра, внутрішня поверхня повітряного патрубка з'єднує повітряний фільтр з дросельною заслінкою має рівномірний забруднення мікрочастинками пилу, при цьому скупчення частинок виявлено, головним чином, у впускному колекторі, на внутрішній поверхні дросельної заслінки . Знос ЦПГ має ознаки того, що він мав тривалий характер, при постійному надходженні частинок абразиву до парам тертя, при цьому відсутні ділянки загладжування (полірування) пошкоджень після початкового надходження абразиву.

Іншими словами, наявність в колекторі і на дросельної заслінки частинок, перемішаних з маслом, говорить про те, що надходження даних частинок в колектор відбувалося протягом тривалого періоду, що суперечить умові – додаванню частинок одноразово, до зносу. Крім того, сідла і фаски клапанів, які мають характерну матову поверхню, після однократного додавання частинок через деякий час повинні були заново приробитися з утворенням блискучої поверхні, однак цього не сталося. Таким чином, **навмисне додавання абразивних частинок в двигун суперечить наявним ознаками і не є причиною його пошкодження**.

Потрапляння пилу під вхідну систему двигуна внаслідок негерметичності впускної системи, в тому числі, заводського дефекту впускної системи, помилки при обслуговуванні або зняття повітряного фільтра, навмисного або випадкового, рівносильно розгерметизації впускної системи. Наприклад, при виконанні складання або сервісних робіт не був затягнутий хомут кріплення воздуховода, пошкоджено прокладку фланців впускного колектора, повітряний фільтр пошкоджений при установці або взагалі знятий, але не встановлено, і т.д.

Основні ознаки даної причини:

- пил в повітроводах, наявність великих частинок,
- пил на дросельної заслінки,
- подряпини і знос верхньої частини циліндра,
- знос верхніх поршневих кілець при відсутності зносу нижніх,
- знос сідел і фасок впускних клапанів,
- прорив газів з картера в систему вентиляції внаслідок погіршення ущільнюючих властивостей поршневих кілець, масло у впускний системі, змішане з пилом,
- пошкодження юбок поршнів незначні,
- практично повна відсутність пошкодження вкладишів коленвала і розподільних валів.

Очевидно, що багато із зазначених ознак відповідають стану деталей досліджуваного двигуна, оскільки характеризують безперервне надходження абразивних частинок в циліндри через вхідну систему. Однак суттєвою ознакою такого виду ушкодження впускної системи є надходження не тільки дрібних, а й великих часток, наприклад, **піску розміром до 1-2 мм**. Великі частинки залишають на робочих поверхнях відповідні глибокі подряпини, а всередині повітроводів повинні бути значні скупчення подібних великих часток. Крім того, через нещільність впускної системи, які переважно мають значні розміри (наприклад, щілину у

незатянутой хомутом воздуховода), в двигун може надходити не тільки пісок, але і інші види забруднень – наприклад, **пух і листя з дерев**.

Навпаки, в досліджуваному двигуні при огляді виявлено, головним чином, тільки порівняно дрібні частинки пилу (великі частки на момент огляду в складках гофри воздуховода, на дросельної заслінки і в впускному колекторі не встановлені, подряпини на вогневих поясках циліндрів пов'язані з попаданням великих частинок при розбиранні під час заміни свічок запалювання), а **інші види забруднень взагалі відсутні**. Крім того, на всіх пов'язаних деталях – фланцях, воздуховодах, відзначені сліди притиснення відповідних деталей, у повітряного фільтра дефектів також не виявлено, сліди прилягання до корпусу спостерігаються по всьому периметру (рис.19). Характер зносу клапанів і сідел, а також циліндрів, говорить про те, що великі частки не потрапляли в циліндри через систему впуску, оскільки на робочих поверхнях, головним чином, є тільки поодинокі ризики, а поверхні мають матовий колір, характерний при зношуванні дрібним абразивом.

Окремо необхідно розглянути **локальні види негерметичність** системи впуску, наприклад, нещільності з'єднання деталей впускного колектора між собою або з головками блоку циліндрів.

У загальному випадку **ознаки нещільності даного виду** такі:

1. Нерівномірне робота двигуна на холостому ходу внаслідок підсмоктування додаткового повітря в колектор, в тому числі, що супроводжується появою кодів помилок. Даний ознака характерний для будь-яких видів негерметичність на ділянці впускної системи від дросельної заслінки до ГБЦ, тобто для тих порожнин і каналів системи, де при малих навантаженнях виникає велике розрідження (до 0,5 бар і вище).

2. Істотна різниця зносу в циліндрах – сильно зношений один або кілька циліндрів при повній відсутності зносу інших.

Як це випливає з представленої документації по ТО і ремонтів, за весь час експлуатації у власника не було скарг на нестійкість роботи двигуна і / або спрацьовування кодів помилок (за винятком самого останнього етапу експлуатації безпосередньо перед її закінченням), а сильний знос деталей ЦПГ спостерігається у всіх циліндрах.

Таким чином, припущення про негерметичність впускного колектора суперечить основним ознаками негерметичність – наявності помітного кількості великих часток в системі впуску та слідів пошкодження ними деталей двигуна, а також нестійкість роботи на холостому ходу. Отже, є всі підстави стверджувати, що **характер пошкодження деталей двигуна не відповідає потрапляння пилу у вхідну систему двигуна внаслідок дефекту (негерметичність) впускної системи**.

Використання неякісного повітряного фільтра, очевидно, також призведе до абразивного зносу всіх деталей, що контактують з вступникам повітрям. Головними ознаками даної причини, крім зазначених у попередньому випадку, є:

- загальний і надзвичайно сильне абразивне зношування всіх пар, що труться в двигуні, взаємодіючих з вступникам повітрям – циліндрів, поршнів, поршневих кілець, впускних клапанів і сідел,
- значний знос верхніх і середніх поршневих кілець і верхньої частини циліндрів, що має безперервний і / або тривалий характер,
- наявність сторонніх часток у впускний системі,
- переважно малий розмір часток, оскільки більші будуть затримані фільтром.

Згідно з результатами огляду, наявні в двигуні ознаки збігаються з перерахованими вище, що абсолютно очевидно вказує на те, що з усіх можливих причин **використання неякісного повітряного фільтра є єдиною причиною пошкодження двигуна, що не суперечить наявним ознаками**. Однак залишаються неясними причини, що викликали:

1) відмінність в ступені зносу деталей в різних циліндрах, розташованих в різних рядах блоку циліндрів,
2) безперервне надходження у вхідну систему дрібних абразивних частинок при наявності штатного повітряного фільтра, встановленого дилером при черговому ТО.

Особливості руху абразивних частинок у впускний системі досліджуваного двигуна і його вплив на абразивний знос ЦПГ.

При русі по впускний системі повітря, забрудненого пилом, виникають процеси, які потребують детального аналізу.

Як відомо, при збільшенні прохідного перетину каналу швидкість повітря зменшується. На режимах часткових навантажень дросельна заслінка прикрита, при проходженні через прочинені заслінку повітря прискорюється, після чого під час вступу до великий обсяг впускного колектора швидкість значно зменшується.

Частинки пилу мають певну масою, залежною від розміру часток. Але в будь-якому випадку на будь-яку частку діє сила тяжіння, під дією якої напрямок руху частки в потоці повітря відхиляється вниз від напрямку руху повітря. В результаті при малих швидкостях повітря в колекторі частинки пилу будуть поступово накопичуватися на нижній поверхні всередині колектора (рис.28).

Впускний колектор досліджуваного двигуна моделі TOYOTA 2GR має спеціальну конструкцію: всередині він розділений **горизонтальною перегородкою** (рис.63) **на 2 частини** (порожнини) – верхню, з'єднану з вхідними патрубками лівої ГБЦ (рис.64), і нижню, з'єднану з вхідними патрубками правої ГБЦ (рис.65). Частина перегородки виконана у вигляді поворотної заслінки, яка регулює довжину впускних каналів залежно від режимів роботи двигуна. Так, при збільшенні оборотів і навантаження заслінка повертається у вертикальне положення, що фактично об'єднує верхню і нижню порожнини колектора і призводить до зменшення довжини впускних каналів, необхідного для ефективного наповнення циліндрів на високих оборотах.

Оскільки нижня частина з'єднана патрубками з правого головкою блоку циліндрів, а верхня частина – з лівої головкою циліндрів, то при малих обертах і малих швидкостях повітря пил після проходження дросельної заслінки під дією сили тяжіння неминуче буде осідати на нижній стінці колектора – прямо перед входом в нижню його порожнину. Згідно з результатами огляду, саме в цьому місці спостерігається значне скупчення частинок пилу, перемішаних з маслом (рис.28). Далі, при збільшенні оборотів і навантаження, **пил, розташована на нижній поверхні колектора, буде неминуче засмоктуватися, головним чином, в циліндри правого боку блоку**.

Деяка кількість частинок, навпаки, може бути підхоплено повітрям, що рухається від заслінки в верхню порожнину колектора і далі в ліву ГБЦ. Ця частина частинок, які не встигли осісти на нижній стінці, під дією сили тяжіння осяде вище, на перегородці, тобто прямо на вході в верхню порожнину колектора. Саме така картина і спостерігається у впускному колекторі (рис.63), причому кількість пилу, що осів на вході в верхню порожнину, істотно менше, ніж кількість пилу, що осів на вході в нижню порожнину (на нижній поверхні).

Така сепарація пилу неминуче призводить до перерозподілу її по рядах циліндрів. При збільшенні навантаження і оборотів швидкість руху повітря в колекторі на вході в нижню і верхню порожнини істотно зростає, в результаті частинки пилу будуть відриватися від стінок і засмоктуватися в циліндри. Але головним є те, що кількість пилу, що надходить в праву ГБЦ, завжди буде більше, ніж надходить в ліву ГБЦ. Таким чином, **при надходженні в двигун TOYOTA 2GR пилу через вхідну систему виникає при цьому абразивний знос деталей**

двигуна завжди буде більше на правій стороні блоку циліндрів за рахунок сепарації пилу між нижньою і верхньою порожнинами впускного колектора.

При русі повітря і пилу всередині нижньої порожнини колектора буде відбуватися подальша сепарація пилу. Так, при повороті потоку повітря в місцях сполучення патрубків з колектором на частинки діє відцентрова сила, що відхиляє пил на більший радіус повороту. Чим більше кут між напрямком руху повітря в колекторі і напрямком патрубка, тим сильніше буде відхилення пилу від напрямку руху повітря при його повороті. В даному випадку процес аналогічний тому, як відбувається сепарація частинок в відомих системах і пристроях відцентрової очистки – циклони [27].

Конструкція колектора двигуна 2GR така, що патрубок циліндра №5 розташований по потоку першим від входу в нижню порожнину колектора, але має найбільший кут повороту потоку – близько 1200 (рис.65). У такому випадку при різкому повороті потоку повітря на такий великий кут буде відбуватися витіснення пилу на більший радіус повороту, що фактично означатиме, що частина пилу не буде слідувати за потоком повітря в патрубок і не потрапить в патрубок циліндра №5, а виявиться між патрубками циліндрів №№3 і 5. Аналогічно патрубок циліндра №3 при куті повороту потоку більше 900 також забезпечить сепарацію частини пилу і її подальший рух до патрубку циліндра №1. В результаті описаної сепарації пилу слід очікувати найбільшу кількість частинок пилу саме в циліндрі №1, дещо менше – в циліндрі №3 і мінімальне – в циліндрі №5.

Саме така картина зносу спостерігається і в двигуні – на правій стороні блоку циліндрів знос деталей ЦПГ і клапанного механізму зростає від циліндра №5 в сторону циліндра №1. Таким чином, **при надходженні пилу через вхідну систему в двигун TOYOTA 2GR знос деталей на правій стороні блоку циліндрів буде істотно різним по циліндрах зі збільшенням в сторону циліндра №1 за рахунок сепарації пилу в нижній частині колектора**.

Отже, в загальному випадку **при надходженні в двигун TOYOTA 2GR пилу через вхідну систему виникає при цьому абразивний знос деталей двигуна завжди буде більше на правій стороні блоку циліндрів, причому зі збільшенням в сторону циліндра №1, за рахунок сепарації пилу у впускному колекторі**.

Очевидно, що згідно з отриманими даними за характером сепарації пилу і порівнянні його з характером зносу деталей вірно і зворотне твердження – **якщо у деталей ЦПГ двигуна TOYOTA 2GR є значний знос, який більше на правій стороні блоку циліндрів, причому зі збільшенням в сторону циліндра №1, то такий знос є абразивним, викликаний надходженням пилу в двигун через вхідну систему і пов'язаний з сепарацією пилу у впускному колекторі.**

Процес фільтрації повітря, що надходить в циліндри двигуна, повітряним фільтром.

Як відомо [28-33], фільтрація – це відділення сторонніх часток від середовища (рідини або газу) за допомогою пропускання її через проникний фільтруючий матеріал. Повітряні фільтри автомобільних двигунів, також звані повітряочисниками, служать для зниження вмісту часток та інших забруднюючих елементів у вступнику в двигун повітрі. До типових забруднювачів повітря належать масляний туман, аерозолі, сажа, газоподібні промислові відходи, рослинна пилок і пил.

Розміри цих частинок можуть варіюватися в дуже великих межах. Частинки пилу, всмоктується разом з повітрям, можуть мати діаметр від 0,01 мкм (в основному, частинки сажі) до 2 мм (зерна піску). Приблизно 75% часток (по вазі) мають розмір від 5 до 100 мкм.

Масовий вміст забруднень в повітрі залежить від умов експлуатації автомобіля. Так, за десять років експлуатації кількість пилу, що скупчилася в автомобілі, може скласти від декількох грамів до декількох кілограмів.

Повітряний фільтр запобігає всмоктуванню в двигун пилу і частинок і забруднення моторного масла. Це знижує знос підшипників, поршневих кілець, стінок циліндрів і т.д.

Повітряні фільтри в основному являють собою фільтри глибокого шару, які, на відміну від поверхневих фільтрів, затримують частки в структурі фільтруючого матеріалу. Фільтри глибокого шару з високою пилепоглощающей здатністю використовуються завжди, коли потрібно економічна фільтрація великих обсягів повітря з низькою концентрацією часток.

Повітряні фільтри, розроблені із застосуванням останніх досягнень, забезпечують ступінь фільтрації по масі до 99,8%. Ці значення повинні забезпечуватися при всіх переважаючих умовах в воздухозаборной системі двигуна, в тому числі в умовах пульсацій тиску повітря. Фільтри низької якості пропускають більшу кількість частинок пилу або демонструють схильність до розриву. Фільтруючі елементи розробляються відповідно до вимог, що мають місце для двигунів різних типів. Це забезпечує мінімальні втрати тиску і високу ефективність фільтрації незалежно від інтенсивності повітряного потоку.

Періодичність заміни фільтруючих елементів вказується виробниками автомобілів і може становити від двох до чотирьох, а в деяких випадках навіть до шести років або через кожні 40, 60 або 90 тисяч кілометрів пробігу, або при збільшенні перепаду тиску на фільтрі до 20 мбар (0,020 бар).

Головним показником корисності повітряних фільтрів всіх типів конструкції і способів очищення є ефективність очищення, яка вимірюється у відсотках. Цей показник демонструє частку частинок, граничні габарити яких встановлені вимогами інструкції силової установки і заявлені виробником фільтрів, що вловлюються при проходженні повітряного потоку крізь фільтр. У передових моделей систем повітряної фільтрації цей параметр досягає 97% і більше.

Важливим показником є також аеродинамічний опір повітряному потоку і тривалість роботи системи фільтрації до досягнення гранично допустимого рівня цього опору. Рівень аеродинамічного опору в значній мірі визначає показники потужності та економічні показники двигунів, безпосередньо впливаючи на вміст токсичних речовин у вихлопних газах.

Вважається, що фільтр повністю вичерпує свою пилеємкость при перепаді тиску на вході і виході в 20 мбар і більш. В умовах реальної експлуатації стежити за аеродинамічним опором важко, тому на комерційному транспорті монтують спеціальні датчики, що сигналізують про необхідність заміни воздухофильтра. При відсутності такого датчика сигналом до заміни повітряного фільтра служить зниження потужності і збільшення паливного витрати. У легкових автомобілях датчики не застосовуються, і там діє регламент заміни через певні проміжки часу і / або пробігу автомобіля.

Аналіз стану повітряного фільтра досліджуваного автомобіля.

Оригінальний фільтр, який встановлюється на автомобіль Toyota Highlander з двигуном 2GR визначається як високоефективний фільтр, головна мета якого – видаляти з повітря дрібнодисперсні частинки, в тому числі з діаметром менше 2,5-10 мкм. Відноситься класу фільтрів, який визначається міжнародними стандартами (наприклад, ЄП 1822-1: 2009).

Сам фільтр складається з двох частин, «основа», яка надає фільтру жорсткість і яка практично не бере участі в акті фільтрації, і гнучкі «фільтруючі волокна» з розвиненою поверхнею (великою площею поверхні). Основа такого фільтра – так зване "нетканное" синтетичне волокно, тобто хаотично розташовані волокна різної товщини, приблизно 0,5-5 мкм (рис.66). Відстань між волокнами – порядку 5-50 мкм.

Принцип роботи фільтра заснований на наступних ефектах [28-31]:

1. **Механізм безпосереднього затримання** (ефект сита) – працює для частинок, діаметр яких перевищує розмір пор в фільтрі (рис.67). Чим більше частка, тим імовірніше, що вона застряє в волокнах (рис.68). Ефективна фільтрація великих частинок (близько 50 мкм і більше) відбувається за механізмом сита, але фільтрація основних дрібнодисперсних фракцій (близько 5-10 мкм і менше) має зовсім іншу природу.

Основна відмінність сучасних волокнистих фільтрів від фільтрів грубої і тонкої очистки, що використовувалися в двигунах минулих років випуску, в тому, що для фільтрації частці зовсім не обов'язково застрявати між волокон. Якщо частка тільки торкнулася фільтрувального матеріалу, цього вже достатньо для ефективного осадження. Це пов'язано з декількома процесами: адгезію, флокуляцией і аутогезии.

2. **Адгезія** – це взаємодія пилу з осаджуючої поверхнею, з волокнами. Завдяки адгезії на чистих волокнах з'являється перший шар пилу.

3. **Флокуляція** – укрупнення дрібних частинок до такого розміру, коли вони можуть бути затримані фільтром. Дуже дрібні частинки важко відфільтрувати. Один із способів підвищення ефективності фільтрації полягає в забезпеченні агрегації дрібних часток у більші, які простіше відфільтрувати (рис.69), і які зазвичай утворюють фільтруючий шар з більш низьким опором потоку, і, отже, більшою пропускною спроможністю.

4. **Аутогезия** (злипання) – це взаємодія пилових частинок між собою. Завдяки аутогенному взаємодії частинки продовжують нашаровуватися один на одного, утворюючи на волокнах багатошарові конгломерати. Природа адгезії і аутогезии – в молекулярному взаємодії часток один з одним і з волокнами (сили Ван-дер-Ваальса). Ці сили з'являються на відстані від одного до декількох сот діаметрів частинок. Для дрібних частинок тяжіння до волокна і пиловим шару настільки велике, що частинки осідають у фільтрі фактично назавжди. Цифри це підтверджують: для частинок менше 10 мкм міцність пилового шару на розрив - більше 600 Па. Через сил тяжіння частка практично намертво прилипає до волокна фільтра, варто тільки торкнутися його поверхні. Це пояснює утримування частинок на фільтрі.

Крім зазначених, в сучасних фільтрах використовуються і інші механізми затримання частинок:

5. **Дифузійне затримання** (ефект дифузії) проявляється переважно на самих дрібних частинках (з діаметром менше 0,1 мкм), які володіють невеликою масою і постійно знаходяться в хаотичному броунівському русі (рис.70). Їх траєкторія постійно коливається відносно лінії струму повітря. В ході коливань частка виходить з потоку, стосується волокна і осідає.

6. **Інерційне зіткнення** (ефект інерції) працює на більших частках (з діаметром більше 0,3 мкм), які важать більше, тому їх коливання щодо лінії струму менше або відсутні взагалі (мал.71). Такі частинки осідають за іншим механізмом. Великі і важкі частинки за рахунок інерції виходять з повітряного потоку, стикаються з волокном і осідають.

Фактично дифузний і інерційний ефекти доповнюють один одного: один відповідає за фільтрацію найдрібніших частинок, інший - більш великих. Найскладніше посадити на волокно частки з «проміжним» розміром. Їх інерція ще недостатньо велика, а дифузія вже працює слабо, так як коливання їх траєкторії щодо лінії струму вже не такі сильні. Тому такі частинки з більшою ймовірністю залишаються в потоці і огинають волокна разом з повітрям. Їх називають частками з максимальною проникаючу здатність. Для їх осадження найбільше значення має ще один механізм.

7. **Ефект зачеплення** – працює, коли частка наблизилася до поверхні волокна на

відстань свого радіусу, такого торкання досить для її осадження і діє для частинок будь-якого розміру (рис.72). Пилинки можуть залишатися в повітряному потоці, здійснювати дифузійні коливання щодо лінії струму або вилітати з потоку завдяки інерції – в будь-якому випадку, якщо частка торкнулася волокна, вона осідає. Ефективність цього механізму залежить від розміру частки (рис.73). Чим більше частка, тим імовірніше вона торкнеться волокна. У цьому ефект зачеплення схожий на ефект сита

8. **Електростатичне осадження** (тяжіння) частинок до волокон (сили Кулона) виникає в разі, якщо матеріал, з якого зроблений фільтр, має високу питому провідність. Тоді волокна можуть заряджатися в повітряному потоці і притягувати частинки з іншим електричним потенціалом (рис.74). Цей ефект додатково збільшує ефективність фільтра.

Аналіз всіх використовуваних в фільтрації ефектів показує, що ефективність фільтра залежить не тільки від розмірів фільтровану частинок (рис.75), але і від параметрів самого фільтра, в тому числі:

- діаметра волокон в фільтрі,
- щільності упаковки волокон,
- матеріалу волокон.

Очевидно, чим тонше волокна і чим щільніше вони упаковані, тим більше площа їхнього зіткнення з частинками. І чим краще волокна «чіпляють», тим ефективніше осадження. При осадженні частинок зменшується відстань між волокнами. В результаті площа волокон збільшується, з чим може бути пов'язана зміна ефективності фільтра з часом експлуатації.

З іншого боку, в загальному випадку при забрудненні зменшується проникність фільтра, збільшується його опір, зростає перепад тиску на фільтрі і, як наслідок, змінюється режим роботи двигуна. Частота заміни залежить від ємності фільтра і встановлена виробником автомобіля. Цей показник визначає, як багато пилу зможе осадити фільтр, перш ніж перепад тиску на ньому стане критичним.

Очевидно, застосування оригінального фільтра має виключати попадання в двигун частинок абразиву розміром більше 5мкм, здатних викликати інтенсивний абразивний знос ЦПГ і інших пар тертя двигуна. У той же час абразивний знос в досліджуваному двигуні стався саме через попадання частинок абразиву розміром від 8 до 60 мкм (див. Вище).

Виходячи з цього виходить, що **потрапляння сторонніх часток абразиву під вхідну систему двигуна при її справності можливо тільки при застосуванні повітряного фільтра, відмінного за характеристиками від рекомендованого виробником автомобіля**.

Це твердження вимагає перевірки і підтвердження.

Оцінка можливості установки неякісного повітряного фільтра в досліджуваному автомобілі.

Згідно виконаному вище аналізу і з отриманими даними, слід розглянути припущення, що в автомобілі міг бути використаний неякісний повітряний фільтр, який мав високий коефіцієнт пропуску пилу і викликав надходження в двигун дрібних частинок. Тобто необхідно розглянути, яким чином такий фільтр міг бути встановлений.

Можливість установки неякісного фільтра в кожен з періодів / моментів історії автомобіля вимагає аналізу. Оскільки з поданих документів відомо, що незадовго до виникнення несправності в роботі двигуна була проведена заміна фільтра на новий (за рекомендацією, в зв'язку з його забрудненням), даний факт повинен бути врахований при аналізі.

Виходячи з практики обслуговування і ремонту, при допущенні факту низької якості фільтра підлягають розгляду такі випадки:

1. Неякісний повітряний фільтр був встановлений при проходженні ТО автомобіля.
2. Неякісний повітряний фільтр був встановлений власником.

Розглянемо ці випадки більш докладно.

Установка неякісного фільтра при проходженні ТО.

Згідно історії обслуговування автомобіля (див. Вище), за час експлуатації автомобіля заміна повітряного фільтра була проведена три рази.

Очевидно, установка неякісного фільтра під час проведення ТО-30.000км або до нього **не відповідає ознакам несправності** – інакше пошкодження двигуна сталося б набагато раніше, і наявний на момент закінчення експлуатації пробіг автомобіля був би неможливий. Крім того, фільтр, встановлений при ТО-30.000, був уже через 10.000 км замінений при ТО-40.000.

Також цікавим фактом, виявленим під час огляду і вимагає аналізу, є масляний слід у впускному патрубку без слідів запилення. Даний факт дозволяє зробити висновок, що моторне масла потрапило у впускний патрубок з системи вентиляції картера при виникненні підвищеного тиску газів в картері двигуна в результаті прориву газів з боку зношеної ЦПГ. Підтвердженням цьому є дані виміру компресії в циліндрах двигуна, проведеного при зверненні власника з несправністю двигуна на СТО.

Слід масла без сторонніх часток пилу вказує на те, що фактично надходження пилу у впускний тракт перед виникненням несправності в роботі двигуна відсутнє. Крім зазначених ознак, слід відзначити й інші, в тому числі, деякі ознаки полірування зношених впускних сідел і фасок впускних клапанів (поява характерного блиску на фасках деяких впускних клапанів і сідел), що було б неможливо, якби надходження абразивних частинок тривало до закінчення експлуатації автомобіля. Єдиним поясненням цього є припинення проникнення сторонніх часток пилу у впускний тракт після заміни повітряного фільтра по замовлення-наряду №15601017 від 13.06.2016г. при пробігу 114 736 км.

Таким чином, є всі підстави стверджувати, що проникнення сторонніх часток абразиву відбулося в інтервалі між ТО-40 000км, проведеним на замовлення-наряду №IC00208798 від 02.10.2013г. при пробігу 38 476км і заміною повітряного фільтра по замовлення-наряду №15601017 від 13.06.2016г при пробігу 114 736 км.

Розглянемо деякі можливі події, які могли виникнути при обслуговуванні автомобіля в зазначеному інтервалі і вплинути на проникнення сторонніх часток абразиву під вхідну систему.

Так, **самостійна установка повітряного фільтру** власником або особою, яка керує автомобілем, могла б бути однією з причин, що викликали нештатное надходження абразиву під вхідну систему. Дана дія по самостійній заміні фільтра Керівництвом для власника [6] не заборонено. Також Керівництвом запропонована заміна повітряного фільтра раніше встановленого терміну при експлуатації автомобіля в умовах підвищеної запиленості. При цьому важливим критерієм при заміні повітряного фільтра є візуальне визначення ступеня його забруднення.

Однак вивчення всіх наявних джерел інформації показало, що даний параметр виробником ніяк не регламентується, а конкретні ознаки того, що фільтр забруднений (або може бути забруднене) ніде виробником не показані і не вказані. Також немає ніяких способів визначити, чи є дійсні умови експлуатації автомобіля умовами підвищеної чи іншої, наприклад, зниженою запиленості, оскільки Керівництво не містить критеріїв оцінки цього параметра.

В результаті визначення умов запилення (і поставленої в залежність від неї терміни заміни фільтра) і ступеня забруднення фільтра грунтується на суто суб'єктивною оцінкою,

взагалі ніяк не відображає ні дійсного стану фільтра, ні дійсних умов експлуатації, що створює явні труднощі для самостійної заміни фільтра. Підтвердженням даного факту є те, що за час експлуатації протягом 76 260 км і семиразового проведення ТО (від ТО-50.000 до ТО-110.000 і навіть далі) ні власником, ні персоналом ОД жодного разу не було наголошено на необхідності.

В результаті визначення умов запилення (і поставленої в залежність від неї терміни заміни фільтра) і ступеня забруднення фільтра грунтується на суто суб'єктивною оцінкою, взагалі ніяк не відображає ні дійсного стану фільтра, ні дійсних умов експлуатації, що створює явні труднощі для самостійної заміни фільтра. Підтвердженням даного факту є те, що за час експлуатації протягом 76 260 км і семиразового проведення ТО (від ТО-50.000 до ТО-110.000 і навіть далі) ні власником, ні персоналом ОД жодного разу не було наголошено на необхідності заміни повітряного фільтра.

З іншого боку, ніякі з наявних документів або фактів не вказують на експлуатацію автомобіля з неоригінальним повітряним фільтром – в іншому випадку слід було б очікувати записи в замовлення-наряді при проходженні чергового ТО про виявлення персоналом ОД неоригінального фільтра (чи інших позаштатних ознак його застосування).

Виходячи з цього, надзвичайно важко припустити, що власник або особа, яка керує автомобілем, не маючи ніяких підстав і за відсутності конкретних ознак забруднення фільтра, тим не менш, взяли і самостійно, без видимої причини, замінили повітряний фільтр на автомобіль.

Виходячи з цього, **немає ніяких підстав вважати, що власник або особа, яка керує автомобілем, самостійно встановили неоригінальний і / або неякісний повітряний фільтр на автомобіль**.

Як випливає з аналізу даних виробників фільтрів [11,36], необхідність заміни повітряного фільтра може бути обумовлена виникненням підвищеного опору всмоктуваному повітрю в результаті засмічення фільтра, при цьому погіршується динаміка автомобіля, підвищується витрата палива, можливі виникнення помилок в блоці управління двигуна пов'язані з підвищенням токсичності вихлопних газів. Однак ніяких таких подій протягом пробігу автомобіля протягом 76 260 км від ТО-40.000 до зазначеної в замовлення-вбраннях заміни фільтра не зафіксовано, ні зі слів власника автомобіля, ні співробітниками СТО при проведенні ТО на автомобілі. Це говорить не тільки про те, що встановлений під час проведення ТО-40.000 повітряний фільтр мав нормальну пропускну здатність на протязі 76 260 км експлуатації, але і про те, що термін служби повітряного фільтра, регламентований виробником автомобіля, був перевищений майже вдвічі (регламентований термін служби повітряного фільтра становить 40 000 км пробігу або чотири роки експлуатації [6]).

Даний факт дозволяє припустити, що **на автомобіль при проходженні ТО-40.000 км був встановлений повітряний фільтр з характеристиками фільтрації, відмінними від оригінального фільтра автомобіля Toyota Highlander з двигуном 2GR, або характеристики повітряного фільтра якимось чином змінилися в експлуатації**.

Вказати будь-яку іншу причину несправності неможливо внаслідок відсутності такої причини і невідповідності її наявними фактами, в тому числі, відсутність будь-яких прямих і / або непрямих підтверджень можливості заміни повітряного фільтра на нештатний.

Із зазначених причин, пов'язаних з установкою при ТО-40.000 фільтра з позаштатними властивостями слід розглянути наступні варіанти:

1. Встановлений на ТО-40.000 **фільтр мав виробничий брак**. Дійсно, виробничий брак фільтра зазвичай пов'язаний з невідповідністю його розмірів і іншими порушеннями геометричних характеристик, при яких виникає порушення герметичності посадки фільтра в корпусі і пропуск їм пилу.

2. **Фільтр був пошкоджений при установці на ТО-40.000** або в наступних ТО (пошкоджена поверхня сполучення з корпусом та / або матеріал фільтру). У цьому випадку також порушується герметичність, і пил має можливість проходити по ушкоджених ділянок під вхідну систему.

Однак у всіх таких випадках через неякісний / пошкоджений фільтр проходять частинки всіх розмірів, в той час як в досліджуваному двигуні виявлені тільки частинки пилу дуже малих розмірів.

Виходячи з цього, є всі підстави стверджувати, що єдиною причиною пропуску пилу в досліджуваному двигуні могло бути тільки якесь нештатное зміна властивостей повітряного фільтра в експлуатації.

Аналіз та встановлення причини, що викликала абразивний знос двигуна.

Виходячи зі всієї наявної інформації, можна вважати встановленими наступні факти:

1) в автомобілі протягом всієї експлуатації застосовувалися оригінальні повітряні фільтри,
2) при обслуговуванні автомобіля допущено порушення регламенту обслуговування, а саме, значне, майже вдвічі, перевищення граничних термінів експлуатації повітряного фільтра,
3) надходження пилу відбувалося протягом експлуатації одного і того ж фільтра, після заміни цього фільтра надходження пилу в двигун припинилося,
4) в двигун надходила тільки дрібний пил, що виключає будь-які дефекти і пошкодження фільтра як причину несправності.

З аналізу сукупності цих ознак слід визнати можливість причинно-наслідкового зв'язку між порушенням регламенту заміни фільтра і порушенням якості фільтрації. Однак ця залежність не є очевидною і вимагає аналізу.

Для того, щоб розібратися, необхідно уявити, які зміни можуть відбутися в повітряному фільтрі при його поступовому засміченні частинками пилу. Як показано в [28-31], сучасні фільтри використовують різні механізми фільтрації частинок (затримування частинок в порах і осередках фільтруючих матеріалів з нефіксованим порами відбувається, в основному, за рахунок механізмів інерційного зіткнення і дифузійного затримання, хоча і інші описані вище механізми впливають), що забезпечується застосуванням **фільтруючих матеріалів з так званими нефіксованим порами** – на відміну від **традиційних паперових фільтрів, фільтруючі матеріали яких мають фіксовані пори** і рабо ают, в основному, за рахунок безпосереднього затримання частинок.

Однак у сучасних фільтруючих матеріалів є серйозні недоліки. Так, при несприятливих умовах деякі із затриманих фільтром частинок можуть вивільнятися і знову потрапляти в потік фільтрованої середовища [28-30]. Наприклад, якщо на фільтрує сітці з еластичних волокон частки накопичилися при малому і стабільному значенні витрати, то при різкому збільшенні витрати деякі з цих частинок можуть вивільнитися і потрапити в потік на виході.

Навіть якщо тиск збільшується плавно і на не дуже велику величину, вивільнення накопичених часток більш ймовірно, якщо розміри пір фільтруючого матеріалу збільшуються при деформації. Існуючі фільтруючі елементи, схильні до подібних явищ, тобто до вивільнення частинок, зазвичай виготовляються з матеріалу, що фільтрує з безліччю волокон, неміцно скріплених між собою, і які можуть зміщуватися при зростанні тиску.

Даний процес має імовірнісний характер, і в загальному випадку вивільнення накопичених фільтром частинок в нетканих волокнистих матеріалах більш ймовірно, якщо пори фільтруючого матеріалу можуть збільшуватися при підвищенні перепаду тиску. Крім

того, фільтруючі матеріали всіх типів вловлюють, в тому числі, і частинки меншого розміру, ніж розміри пір. При певних умовах такі накопичені дрібні частинки будуть утримуватися гірше, якщо пори фільтруючого матеріалу можуть збільшуватися.

В цьому і полягає відома проблема фільтруючих матеріалів з нефіксованим порами. У таких фільтруючих матеріалах є безліч звивистих каналів, через які повітря може проходити різними шляхами. Природно, що більш вузькі канали блокуються (заповнюються частинками) раніше, в результаті чого все більша частина потоку протікає через все більш широкі канали (рис.76,77). Так як структурно такі фільтруючі матеріали не є єдиного цілого, підвищений перепад тиску всередині більш широких проходів може порушити структуру, і, отже, розширити ці проходи. Очевидно, що дана обставина негативно впливає на характеристики фільтра.

Фільтруючі характеристики **матеріалів з нефіксованим порами** залежать не тільки від можливості затримування частинок, але і від можливості їх адсорбції. До тих пір поки сили, що діють на затримані частинки з боку фільтрованої середовища, менше сил, що утримують ці частинки в фільтруючому матеріалі, частинки залишаються зафіксованими в ньому. Однак в процесі тривалої експлуатації фільтра в фільтроматеріали накопичується певна кількість частинок. При різкій зміні потоку або тиску вплив з боку фільтрованої середовища може перевищити утримують сили, і частина частинок буде віднесена потоком фільтрованої середовища. Внаслідок частих скидів накопичених частинок в виходить з фільтра потік з певною періодичністю, може створитися помилкове враження, що даний фільтр має високий ресурсом і терміном служби.

Крім того, для більшості фільтруючих матеріалів з нефіксованим пористою структурою характерна міграція фільтруючого матеріалу в відфільтровану середу. Це означає, що частинки / волокна фільтруючого матеріалу відокремлюються від нього і несуться потоком фільтрованої середовища, забруднюючи фільтрат. Міграцію фільтруючого матеріалу в фільтровану середу часто помилково пов'язують з виносом з фільтруючого матеріалу «споконвічних» забруднень, наприклад, пилу і волокон, які потрапили в фільтр в процесі його виробництва.

Крім цього, забруднений фільтр з волокнами, на яких вже осіло велика кількість частинок (рис.78), втрачає здатність затримувати і утримувати частинки малих розмірів за рахунок ефектів адгезії, дифузії і електростатичних сил, оскільки частинки, що осіли на волокнах і прикривають їх, блокують дію волокон на частинки, що знаходяться в потоці фільтрованої середовища. Крім того, описане вище поступове блокування вузьких каналів частками призводить до напрямку дрібних частинок в канали великих розмірів, які не забезпечують ефективної фільтрації дрібних частинок.

Таким чином, з опису роботи фільтра з волокнистого нетканого матеріалу при забрудненні частками слід:

- чим більше забруднення, тим гірше йде фільтрація дрібних частинок, що є прямо протилежним дії традиційних паперових фільтрів,
- при певних умовах можливі періодичні скиди накопичених фільтром частинок в потік фільтрованої середовища, відсутні в паперових фільтрах,
- зовні забруднення фільтра ніяк не проявляється, колір волокон не змінюється, що є наслідком великої грязеємність матеріалу, що також явно суперечить практиці застосування паперових фільтрів, у яких забруднення добре видно на поверхні,
- фільтр з нетканого матеріалу не має властивостей паперу швидко забиватися пилом і надавати великий опір потоку, що має позитивне значення для екологічних характеристик ДВЗ.

З цих даних прямо випливає, що **порушення термінів заміни повітряного фільтра в експлуатації досліджуваного ДВЗ є безпосередньою причиною його несправності**, оскільки прямо викликало погіршення фільтрації повітря від дрібних частинок, що повністю підтверджено результатами огляду. При цьому є 2 чинника, які сприяли появі даної несправності, а саме:

1) явні відмінності в характері фільтрації і самих принципах роботи традиційних паперових фільтрів і застосовуваних в двигуні нетканих волокнистих, у яких дійсне сотояние неможливо визначити візуально,

2) нечітка процедура так званої "перевірки" стану фільтра і абсолютно неконкретне опис умов "запиленості" в регламенті обслуговування виробника.

Справді, якби в автомобілі застосовувався старий паперовий фільтр, то дійсно, можна проводити деяку інспекцію і за зовнішнім виглядом фільтра виносити рішення про його стан. Оскільки для волокнистих фільтрів це неможливо, є всі підстави вважати, що вимога перевірки фільтра за зовнішнім виглядом прийшло з посібників якихось моделей автомобілів минулих років випуску і не відповідає сучасному стану технології повітряних фільтрів.

Однак, на думку експерта, з процедурою перевірки може бути пов'язана ще одна процедура, яка не описана і не зазначена виробником, але яку може застосувати персонал ОД – продування зовні забрудненого фільтра стисненим повітрям за допомогою пневмопістолети. Цілком очевидно, що **продувати фільтри з нетканих волокнистих матеріалів повинно бути категорично заборонено**, оскільки будь-яке підвищений тиск струменя повітря на матеріал впливає на волокна, деформує і розсовує їх, чим фактично викликає примусове вивільнення (відрив від волокон) великої кількості частинок усередині фільтра (і це крім волокон, які можуть відриватися від основного матеріалу і впливати на датчик витрати повітря, при його наявності).

Цілком очевидно, що після продувки більшість відірвалися від волокон частинок потрапить під вхідну систему і двигун, завдавши йому серйозні пошкодження. Імовірно, кількох подібних "продувок" було б достатньо, щоб значно знизити ресурс двигуна.

Іншим способом позбавити фільтр від зовнішніх забруднень є обстукування його про якусь тверду поверхню, і з абсолютно таким же результатом – частина забруднень із зовнішньої поверхні буде видалено, але волокна під дію позаштатних сил інерції звільнять значну кількість частинок, які також пройдуть в двигун при наступному запуску. З цієї причини, очевидно, **обстукування фільтра з нетканих волокнистих матеріалів повинно бути так само категорично заборонено, як продування або будь-які інші методи силового впливу**.

У експерта немає ніяких конкретних фактів, що підтверджують подібні дії персоналу ОД, де досліджуваний автомобіль проходив обслуговування, проте логіка подій, а саме – відсутність заміни повітряного фільтра протягом 7-ми ТО поспіль, говорить про те, що до кінця цього терміну фільтр навіть зовні повинен бути забруднений пухом, листям, клаптиками паперу і іншим порівняно легкими предметами. Однак його із завидною завзятістю продовжували перевіряти і залишати, не змінюючи. І це могло бути зроблено тільки в тому випадку, якщо фільтр або продувався, або обстукував від забруднень.

Аналіз дії власника і / або особи, яка керувала автомобілем, на виникнення несправності і її наслідки.

Як це випливає з документів, ТО на досліджуваному автомобілі проводилися регулярно, в регламентовані терміни і тільки на станціях офіційних дилерів автомобілів марки Тойота.

У представлених документах відсутня будь-яка інформація про відмову власника автомобіля від виконання будь-яких необхідних регламентних робіт, передбачених виробником автомобіля. Рекомендації, дані співробітниками СТО, власником автомобіля виконувалися. Записи про виявленні порушення експлуатації автомобіля відсутні. Відповідно до поданих документів, експлуатація автомобіля проводилася відповідно до Керівництва для власника автомобіля.

З іншого боку, Керівництво для власника автомобіля [6] не вимагає від власника або особи, яка керує автомобілем, будь-яких спеціальних дій по розкриттю корпусу повітряного фільтра та його перевірці, а також вказівок персоналу ОД на необхідності проведення будь-яких робіт, якщо ці роботи входять в обов'язковий регламент чергового обслуговування.

Відповідно до цього власник або особа управляло автомобілем, надали автомобіль для проведення регламентних робіт на станцію офіційного дилера в відповідності до рекомендацій виробника по проведенню, в тому числі, і ТО-80 000 км, на якому повітряний фільтр, раніше замінений на 40.000 км, повинен бути замінений в обов'язковому порядку при пробігу 80.000 км згідно з процедурою (заміна кожні 40.000 км або 48 місяців [6]). Однак регламентні роботи по заміні повітряного фільтра двигуна не були проведені персоналом ОД ні при виконанні ТО-80.000, ні при подальших ТО-90.000, 100.000 і 110.000. Причини невиконання даної роботи невідомі.

Звідси прямо випливає, що **абразивний знос ЦПГ, впускних клапанів і сідел впускних клапанів в двигуні є наслідком порушення регламенту заміни повітряного фільтра двигуна при проходженні ТО, починаючи з ТО-80 000 і далі наступних ТО до ТО-110.000**.

Тому очевидно, що **дії власника або особи, яка керувала автомобілем, не могли привести до виникнення виявлених несправностей двигуна, несправності були викликані бездіяльністю або неповним виконанням своїх обов'язків співробітниками ОД, які проводили роботи по ТО досліджуваного автомобіля, починаючи з ТО-80.000 і до ТО-110.000 включно**.

Згідно Керівництва для власника, перевірка дій персоналу ОД по виконанню робіт, що входять в чергове ТО, не лежить на власнику або особі, що експлуатує автомобіль. Це означає, що власник не зобов'язаний розкривати кришку повітряного фільтра після кожного ТО і перевіряти стан повітряного фільтра – чистий він, замінили його і т.д. При цьому, навіть якщо б власник і розкрив корпус повітряного фільтра, ніяких ознак, що свідчать про необхідність його заміни, він виявити б не зміг – через те, що фільтр даного типу має значну грязеемкость, він зовні може бути цілком чистим або вже очищеним при ТО (інакше б його замінили), а ніяких процедур перевірки і визначення ознак забруднення в Керівництві для власника не вказано.

Все це в сукупності говорить про те, що **ніякі дії власника відповідно Керівництвом для власника автомобіля вже не могли запобігти розвитку несправності двигуна аж до відмови циліндра №1 внаслідок абразивного зносу**.

Розглядаючи отримані дані, слід зазначити, що **несправність не виникла, якби**:

1) 1) у всіх документах, що регламентують дії персоналу ОД при проведенні ТО, разом із зазначенням на необхідність перевірки стану фільтра були б дані конкретні критерії та методики перевірки стану фільтра (або навпаки, при відсутності критеріїв і методик необхідність перевірки була б виключена),
2) 2) у всіх документах був би прописаний сувора заборона на будь-які форми очищення зовнішньої поверхні фільтра від забруднень, що передбачають силовий вплив на матеріал фільтру, в тому числі, шляхом застосування підручних засобів типу продувки повітрям, обстукування і т.д.

Очевидно, для запобігання повторення несправності даного виду необхідно усунути фактори, які сприяли виникненню несправності, в тому числі, відповідні недоліки документації виробника, а також провести з особовим складом ОД **інструктаж про особливості конструкції і принципи роботи сучасних повітряних фільтрів з нетканих волокнистих матеріалів і безпечні методи роботи з ними**.

ВИСНОВКИ

1. **У двигуні 2GR J599032 автомобіля Toyota Highlander, 2012 випуску, VIN: JTEESXXXX02203153 є серйозні пошкодження всіх основних пар тертя циліндропоршневої групи і клапанного механізму, що посилюються до правої передньої стороні двигуна, в тому числі:**
   - **блок циліндрів має підвищений знос циліндрів в зоні зупинки поршневих кілець в ВМТ і ушкодження у вигляді вертикальних подряпин, максимальні на правій стороні блоку і в циліндрі №1,**
   - **всі поршні мають сліди абразивного зносу у вигляді матової поверхні юбок, вертикальні подряпини і підвищений знос канавки верхнього поршневого кільця, найбільший у поршня №1,**
   - **верхні поршневі кільця мають надмірний знос по торцях, а середні - по зовнішньої робочої поверхні, що перешкоджає їх подальшої експлуатації, рухливість маслос'емних кілець всіх поршнів порушена, зазор в замку середніх кілець за межами допуску,**
   - **стрижні всіх впускних клапанів мають сліди абразивного зносу у вигляді матової поверхні в зоні контакту з направляючою втулкою клапанів,**
   - **поверхню робочої фаски на сідлах всіх впускних клапанів в ГБЦ і робочі фаски на тарілках всіх впускних клапанів мають ознаки абразивного зносу, впускний клапан циліндра №1 і відповідне сідло клапана в ГБЦ мають максимальний абразивний знос зі зміною геометричних форм сідла і тарілки клапана,**
   - **впускний повітропровід має сліди дрібного пилу по всій внутрішній поверхні і замаслення в нижній частині гофров. Поверхня дросельної заслінки забруднена надмірними відкладеннями частинок пилу. Впускний колектор має значне забруднення всередині зі скупченнями дрібного пилу, перемішаної з олією.**

2. **Причиною пошкоджень і несправності двигуна є абразивний знос, викликаний надходженням в двигун великої кількості дрібних абразивних частинок через повітряний фільтр з нетканого синтетичного волокна при надмірно тривалому терміні його служби, майже вдвічі перевищує регламентований виробником.**

3. **Несправність є наслідком порушення регламенту заміни повітряного фільтра двигуна при проходженні чергових ТО, починаючи з ТО-80 000 і далі всіх наступних ТО аж до ТО-110.000, внаслідок бездіяльності та / або неповного і / або невідповідного виконання своїх обов'язків персоналом ОД, які проводили роботи по ТО досліджуваного автомобіля.**

4. **Дії власника або особи, яка керувала автомобілем, не могли привести до виникнення виявленої несправності двигуна.**

5. **Ніякі дії власника автомобіля відповідно вимог Керівництва для власника не могли запобігти розвитку несправності двигуна аж до відмови циліндра №1 внаслідок абразивного зносу.**

6. **Для запобігання повторення несправності даного виду необхідно усунути фактори, які сприяли її виникненню, в тому числі, усунути відповідні недоліки документації виробника в частині нечіткого опису процедур перевірки стану повітряного фільтра, а також провести з особовим складом ОД інструктаж про особливості конструкції і принципи роботи сучасних повітряних фільтрів з нетканих волокнистих матеріалів і безпечні методи роботи з ними.**

Експерт _____ О.Е.Хрулєв

Додаток - 78 рис. на 39 стор.

ДОДАТКИ
к висновку експертного дослідження № 02-А від 25.05.2020

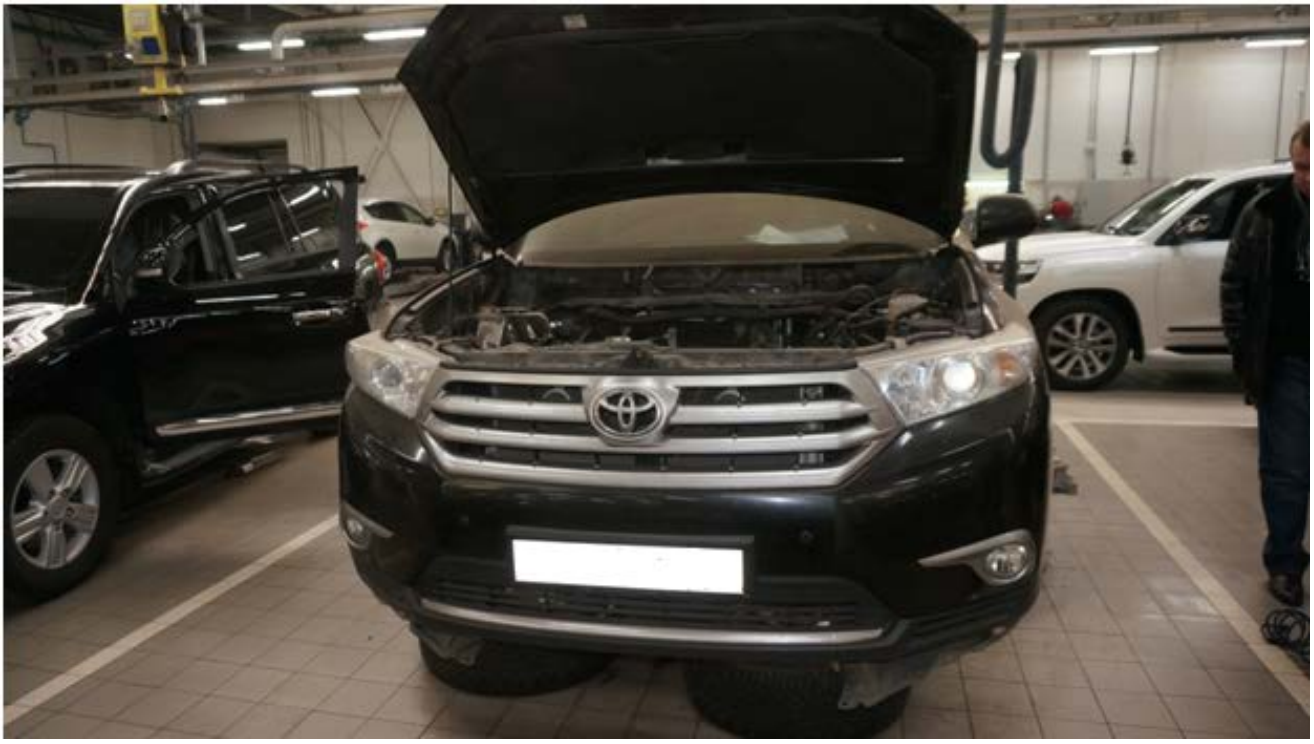


Рис.1. Досліджуваний автомобіль.

Рис.2. Те ж.

Рис.3. VIN- номер під склом.

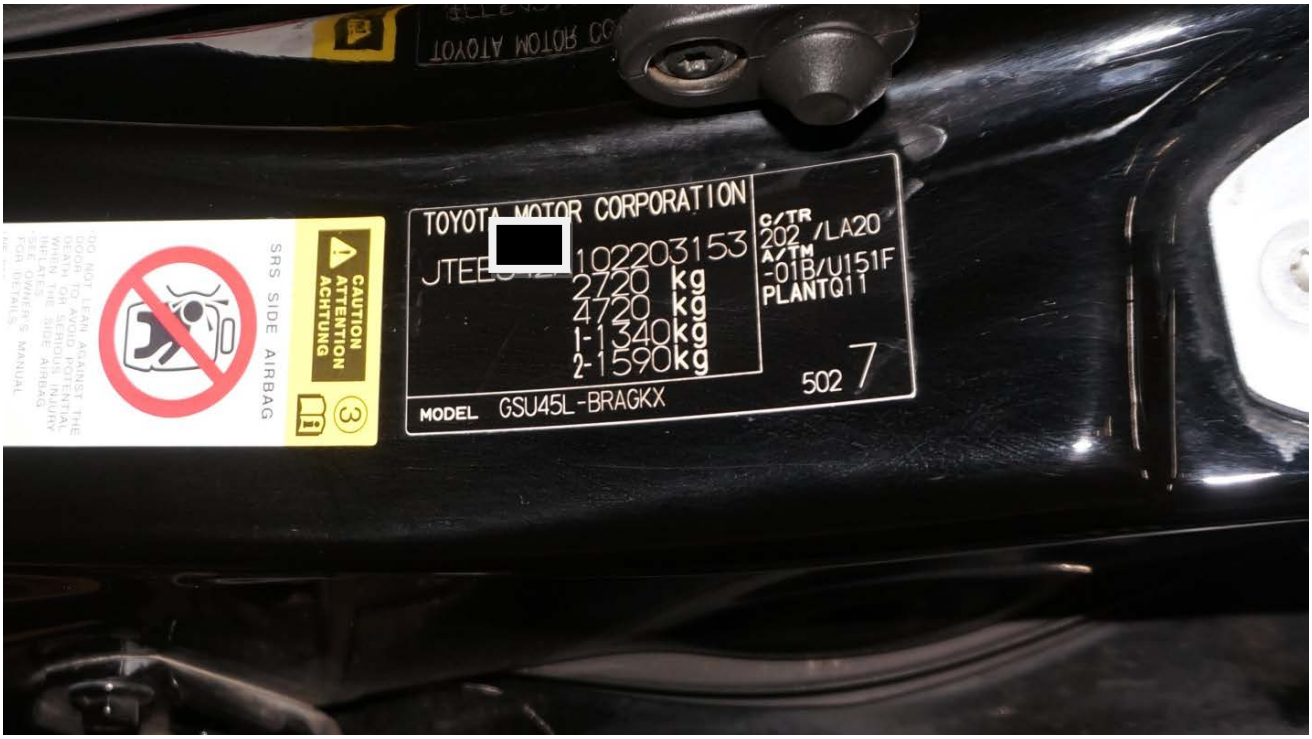


Рис.4. Маркувальна табличка на центральній стійці з боку місця водія.

Рис.5. Моторний відсік, ДВЗ демонтований.

Рис.6. Те ж.

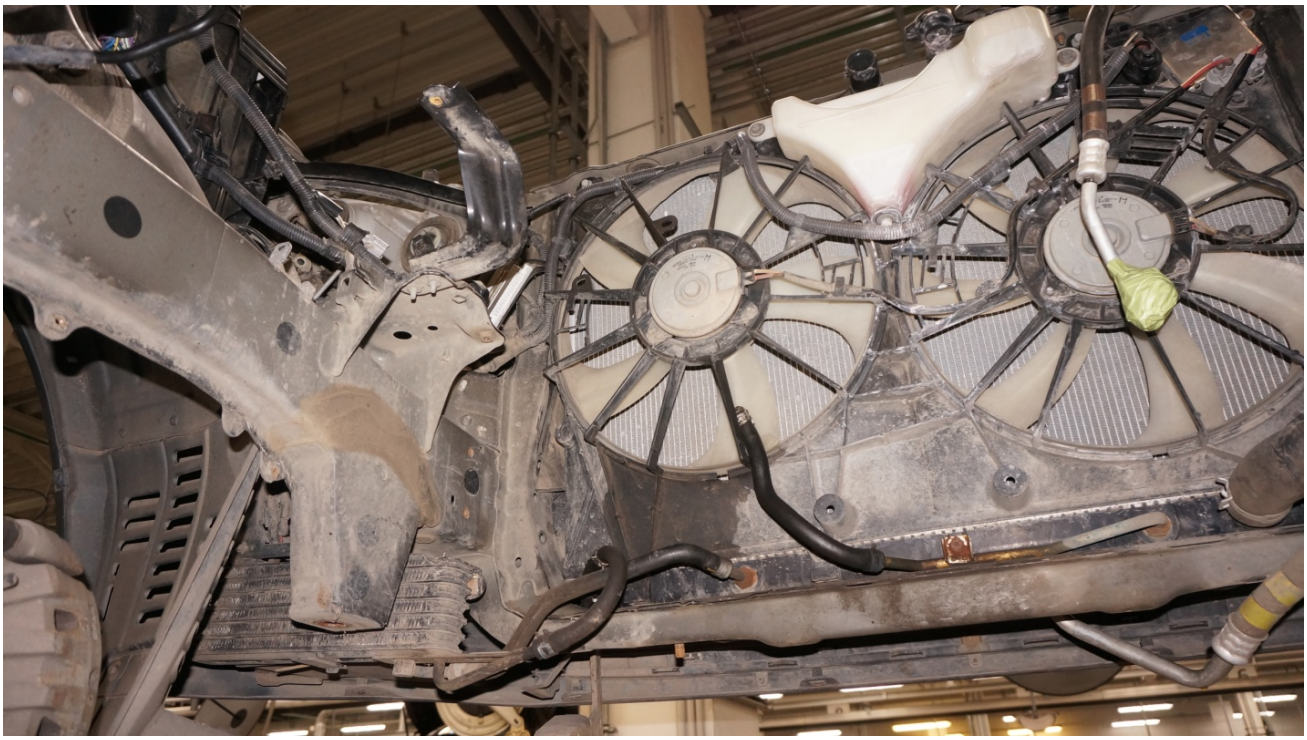


Рис.7. Сліди ушкоджень і сліди течі тех. рідин відсутні.

Рис.8. Те ж.

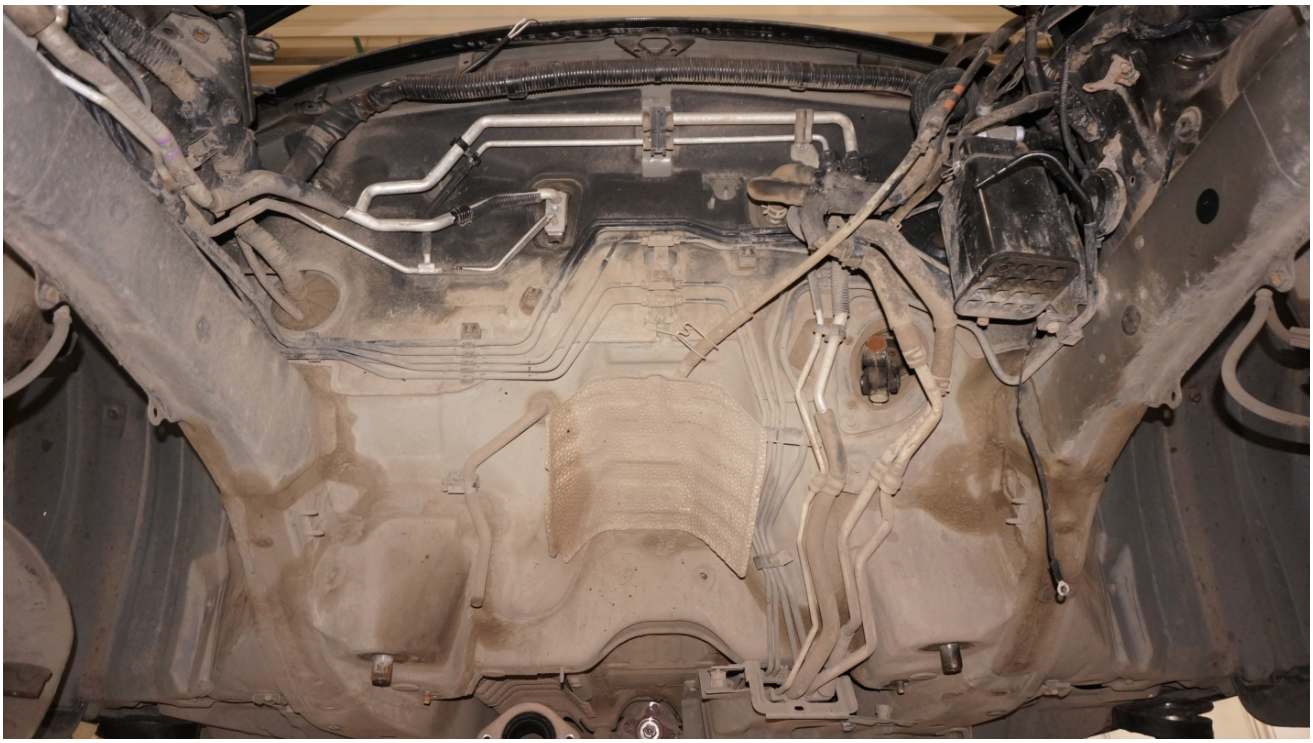


Рис.9. Днище автомобіля без слідів течі масла.

Рис.10. Те ж.

Рис.11. Те ж.

Рис.12. Відсутність слідів замасливания вихлопної труби і заднього бампера.

Рис.13. Деталі облицювання моторного відсіку.

Рис.14. Деталі системи впуску на стелажі в рем. зоні. Чи не закриті, не опечатано.

Рис.15. Деталі ДВЗ на стелажі моторного ділянки. Чи не закриті, не опечатано.

Рис.16. Те ж.

Рис.17. Блок циліндрів ДВЗ.

Рис.18. Номер ДВЗ, нанесений на блок циліндрів (J599032).

Рис.19. Забруднення дрібним пилом внутрішньої поверхні кришки повітряного фільтра.

Рис.20. Таке ж забруднення вихідного каналу з кришки повітряного фільтра.

Рис.21. Повітряний фільтр двигуна. Сторона виходу фільтрованого повітря. Сліди повного притиснення кришкою фільтра.

Рис.22. Повітряний фільтр двигуна. Сторона входу неочищеного повітря.

Рис.23. Сліди дрібного пилу на внутрішній поверхні воздуховода.

Рис.24. Сліди масла без явного забруднення пилом.

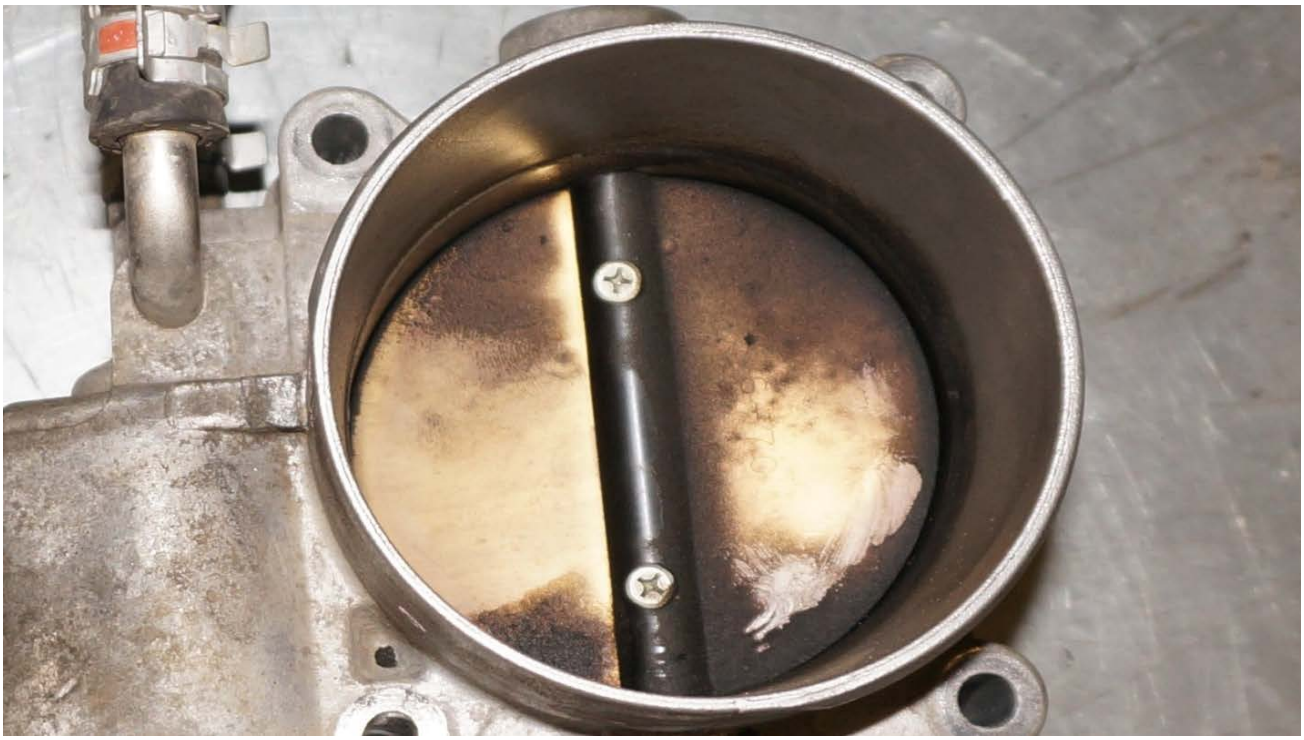


Рис.25. Відкладення сторонніх часток на дросельної заслінки.

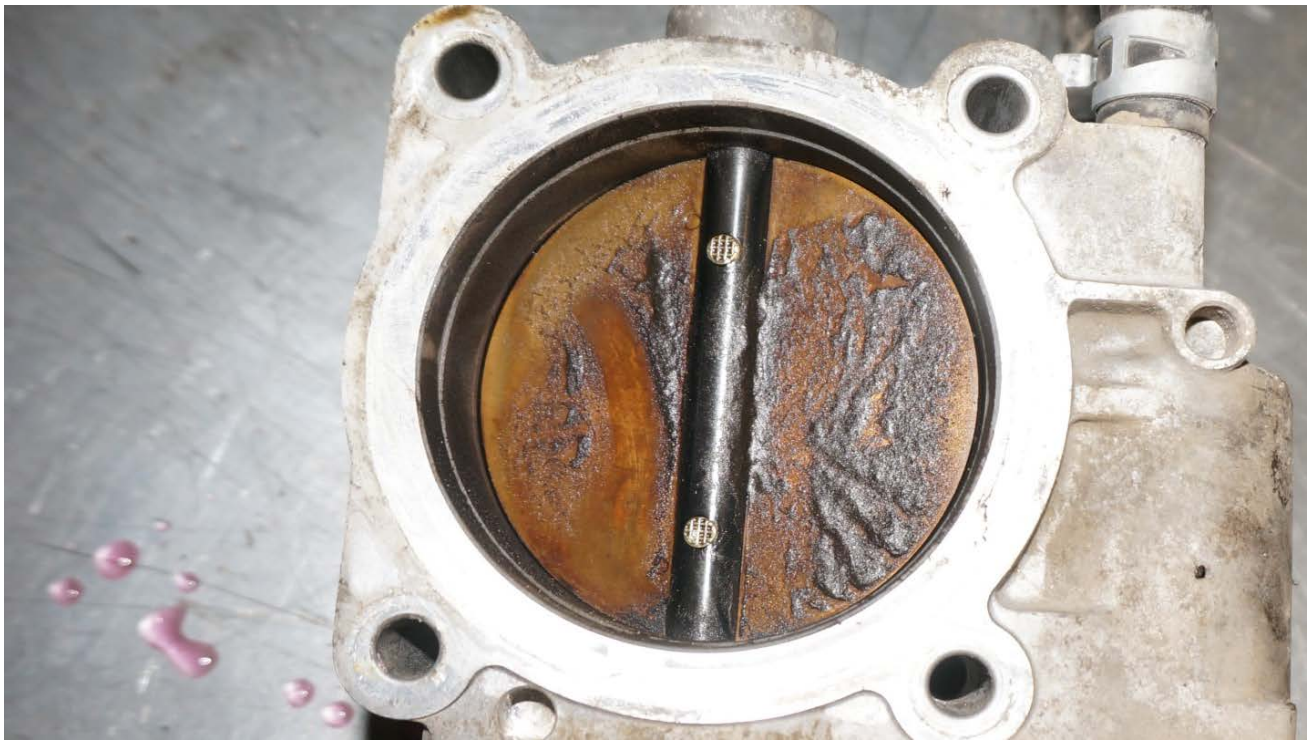


Рис.26. Те ж, з внутрішньої сторони.

Рис.27. Скупчення дрібної замасленої пилу в порожнині впускного колектора.

Рис.28. Те ж, збільшено.

Рис.29. Сліди скупчення дрібного пилу в каналах впускного колектора.

Рис.30. Те ж.

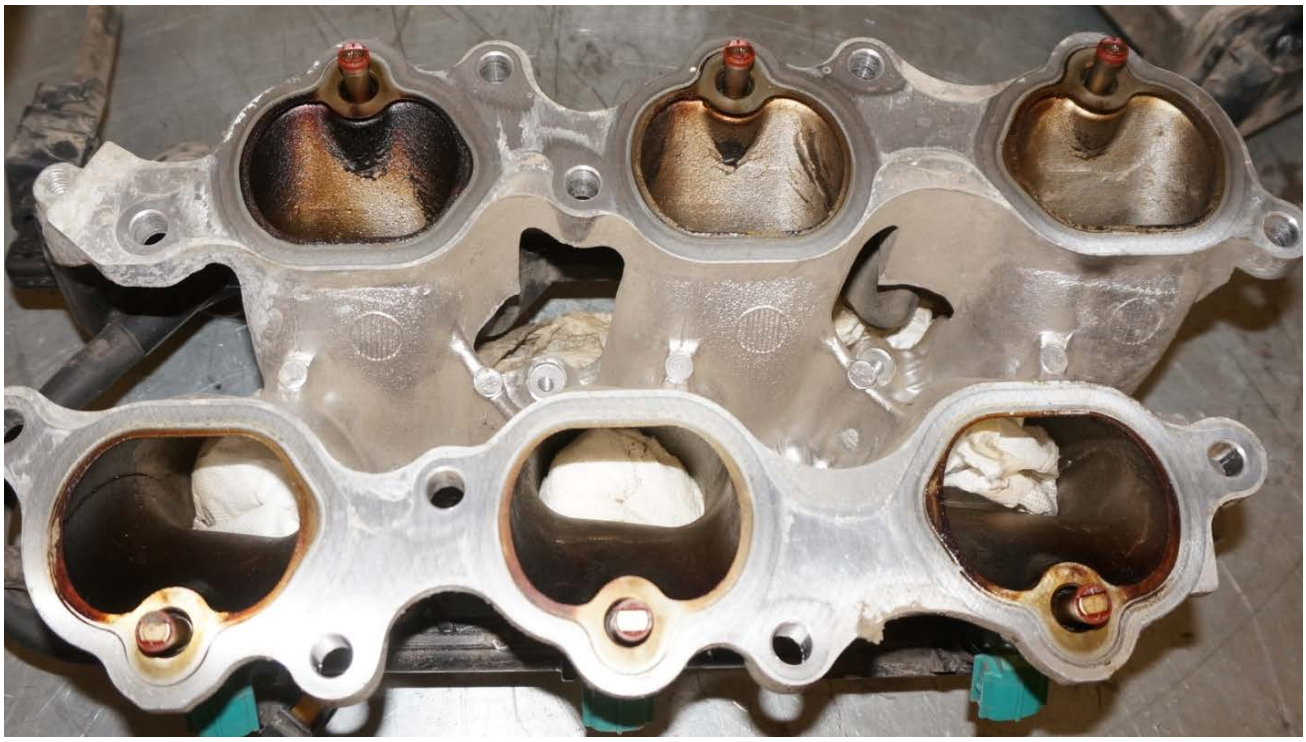


Рис.31. Сліди повного прилягання фланців впускного колектора до ГБЦ.

Рис.32. Сліди повного прилягання фланців впускного колектора до пластикової частини колектора.

.

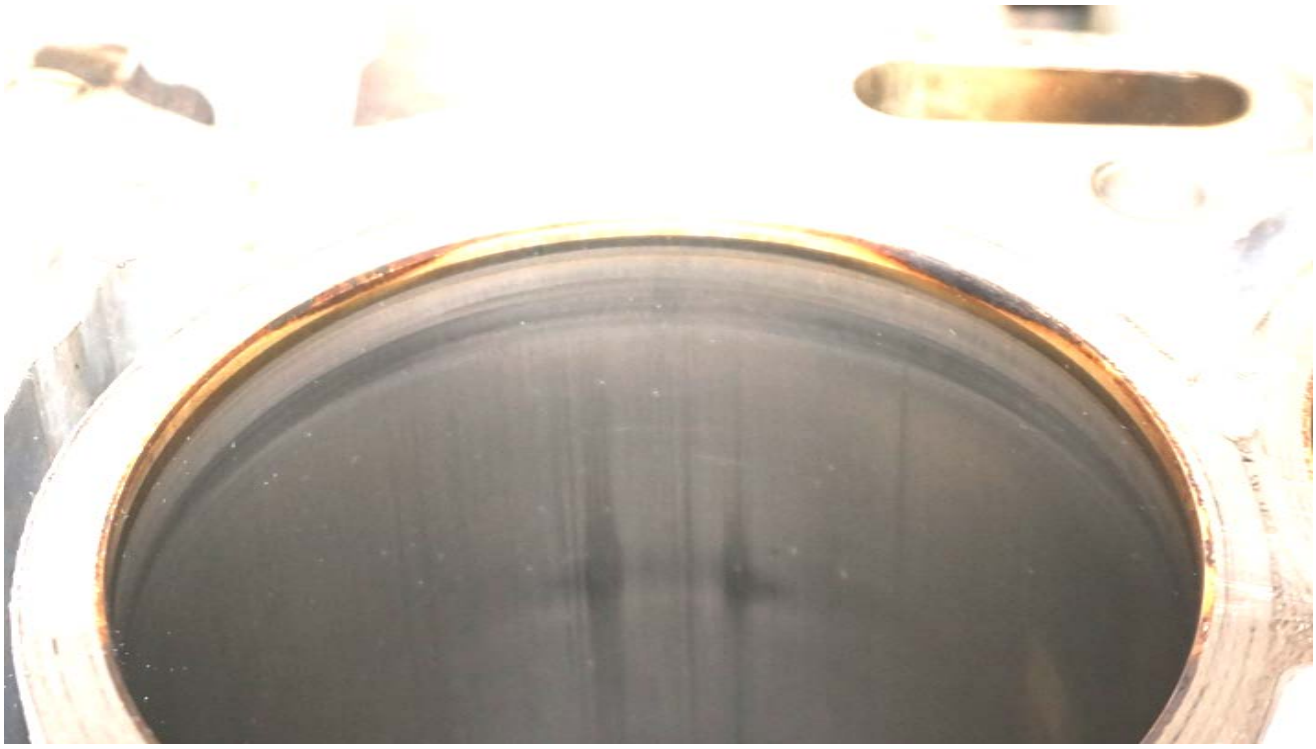


Рис.33. Знос циліндра №1 в зоні зупинки поршневих кілець в ВМТ. Вертикальні подряпини на поверхні циліндра.

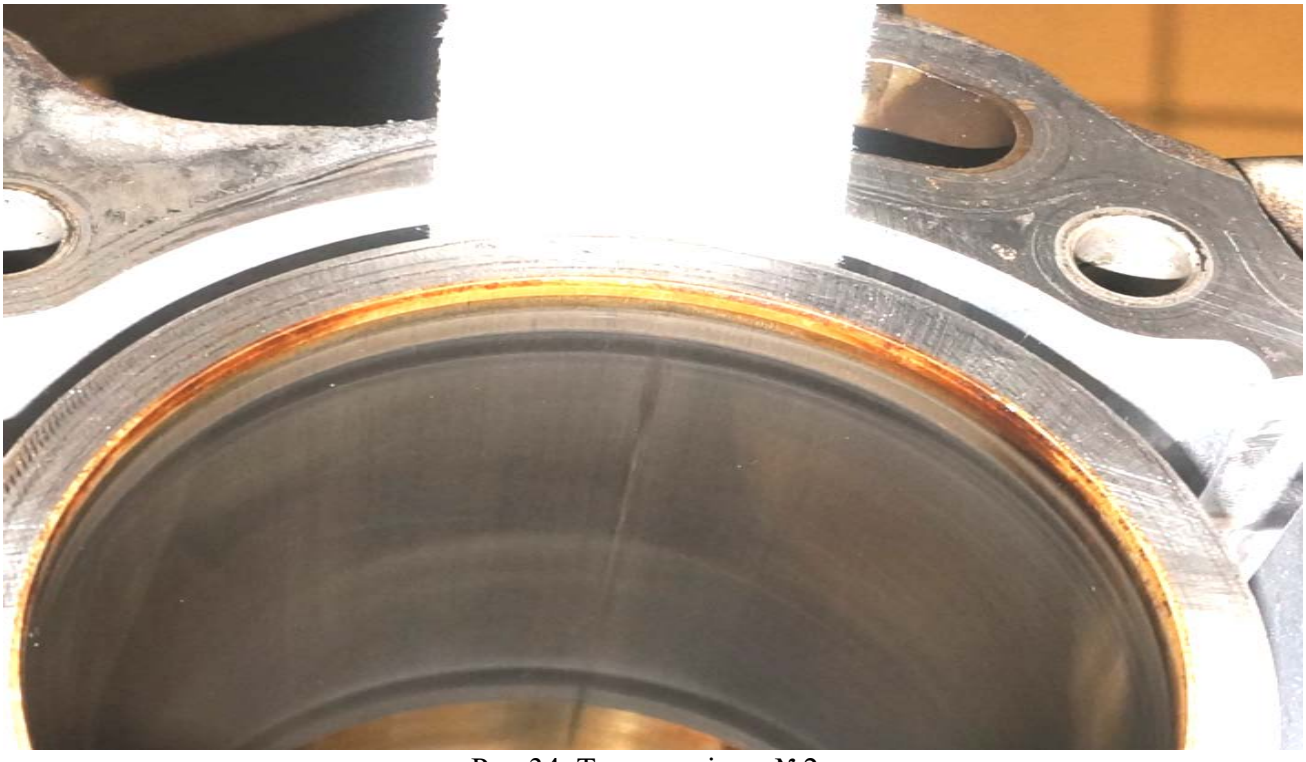


Рис.34. Те ж, циліндр №2.

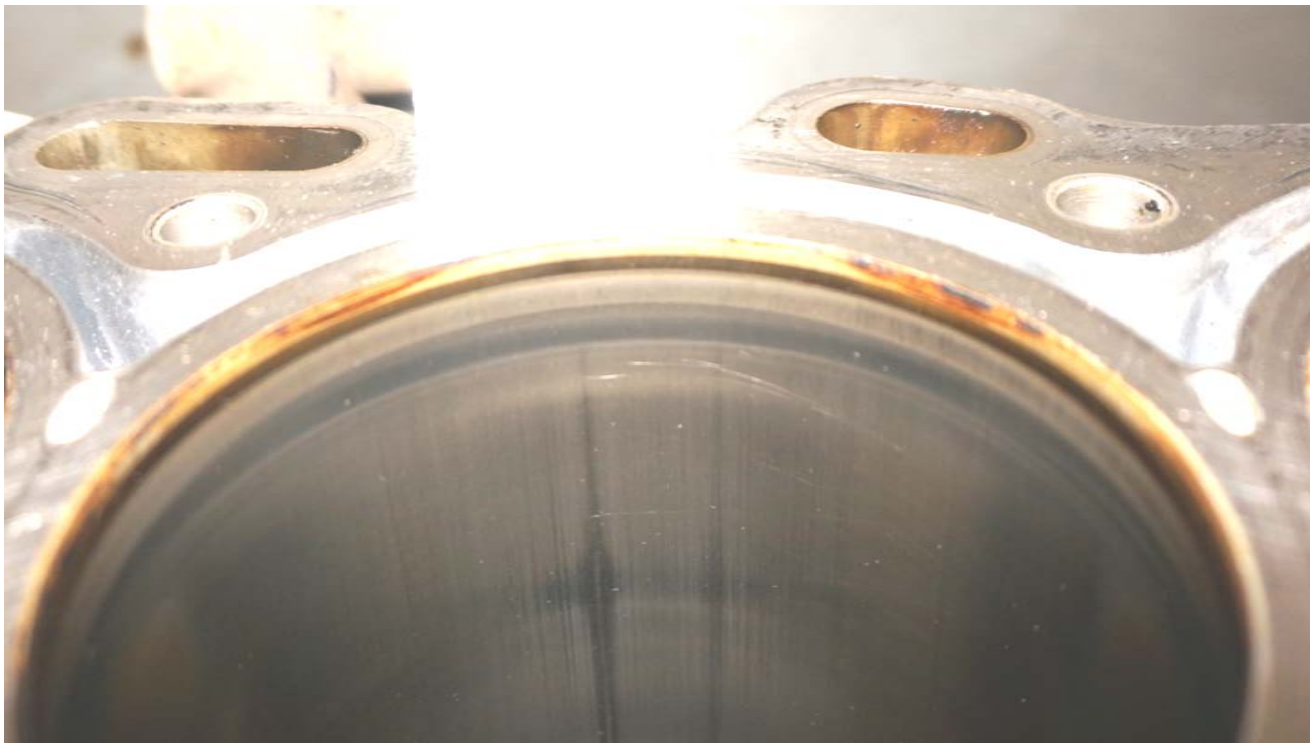


Рис.35. Те ж, циліндр №3.

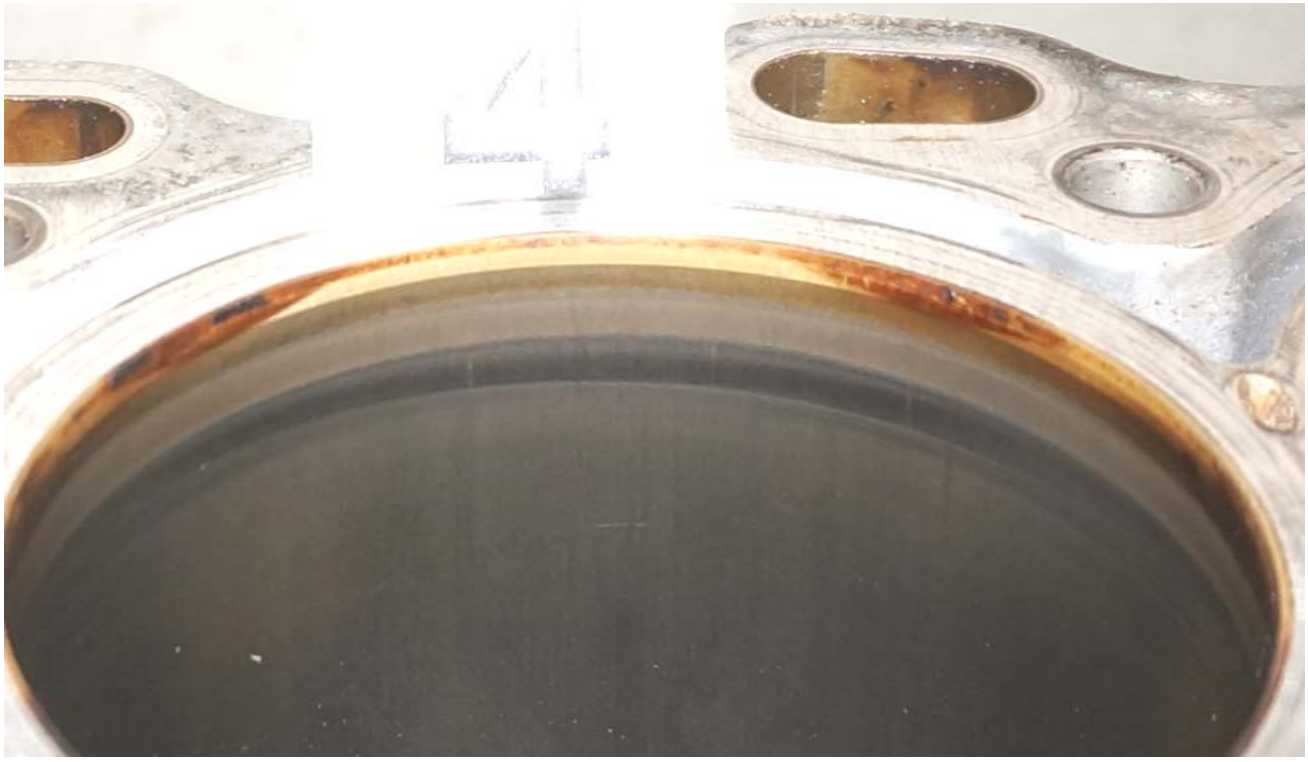


Рис.36. Те ж, циліндр №4.

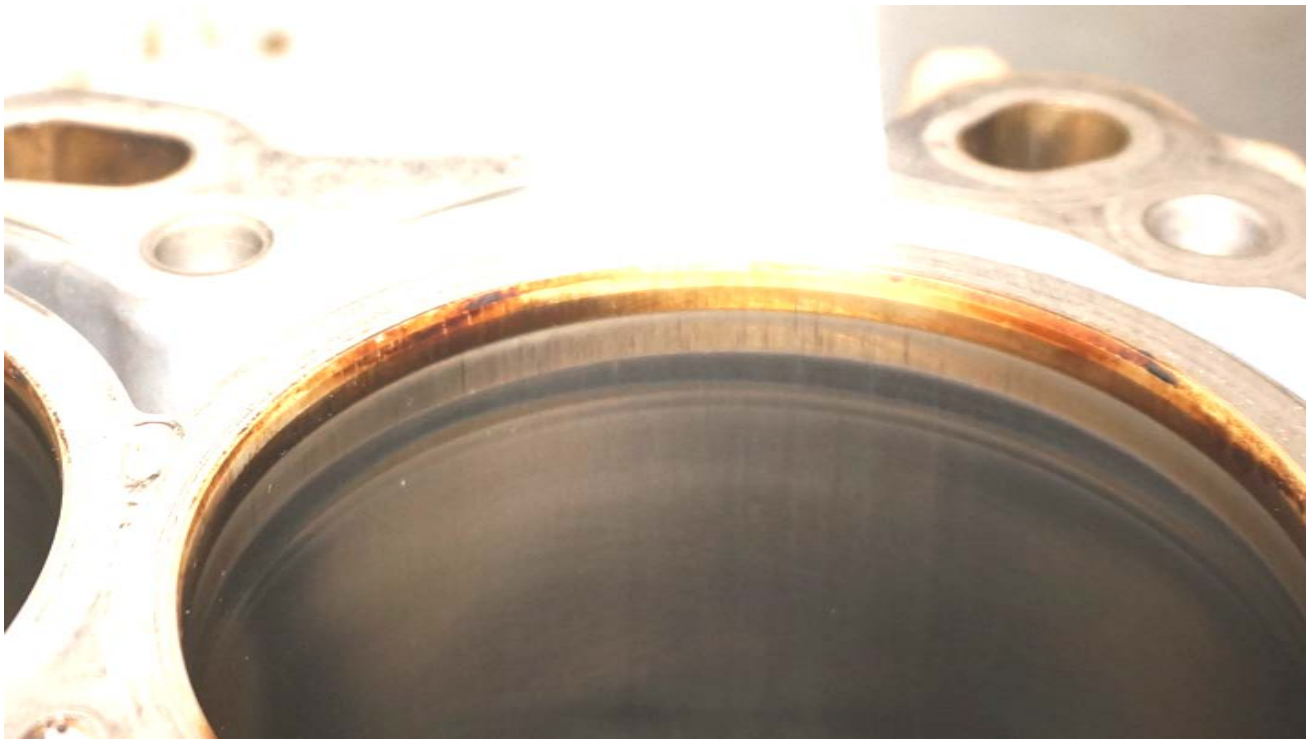


Рис.37. Знос циліндра №5 в зоні зупинки поршневих кілець в ВМТ. Вертикальні подряпини на поверхні циліндра.

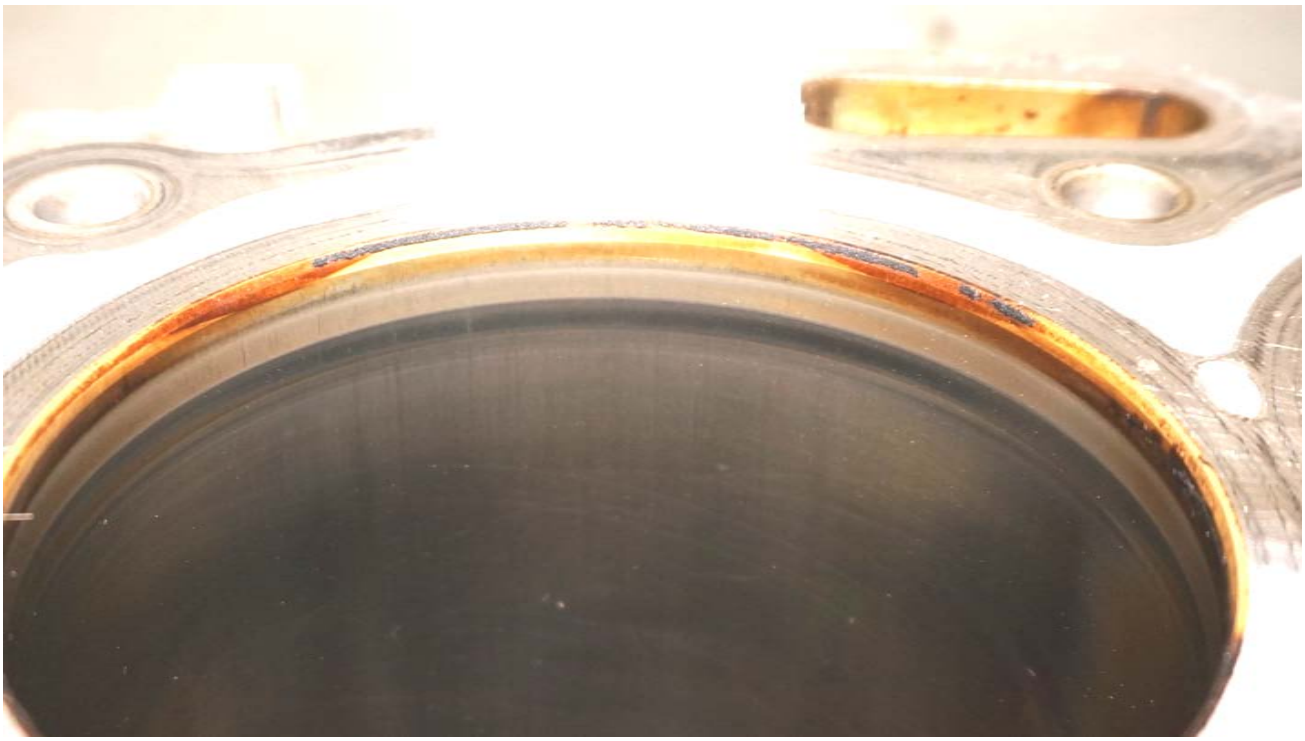


Рис.38. Те ж, циліндр №6.

Рис.39. Поршень, позначений №1. Подряпини і матова поверхня на юбке поршня.

Рис.40. Те ж, поршень, позначений №2.

Рис.41. Те ж, поршень, позначений №3.

Рис.42. Поршень, позначений №4. Матова поверхня на юбке поршня.

Рис.43 Те ж, поршень, позначений №5.

Рис.44. Те ж, поршень, позначений №6.

Рис.45. Подряпини і знос торцевих поверхонь поршневих кілець.

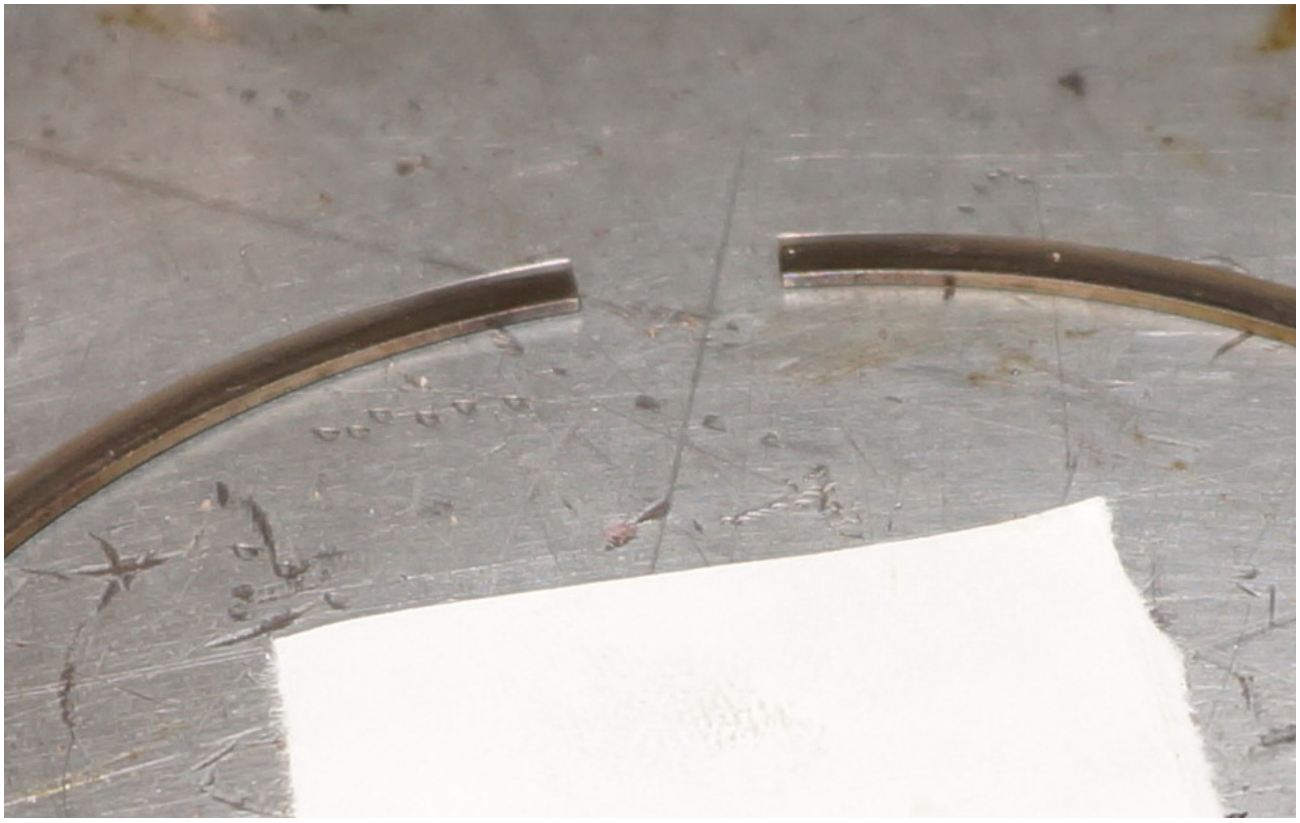


Рис.46. Дуже сильний знос торцевих поверхонь верхнього кільця циліндра №1.

Рис.47. Знос канавки верхнього поршневого кільця поршня №1.

Рис.48. Нерівномірний характер зносу (розмивання) верхньої канавки поршневого кільця поршня №1.

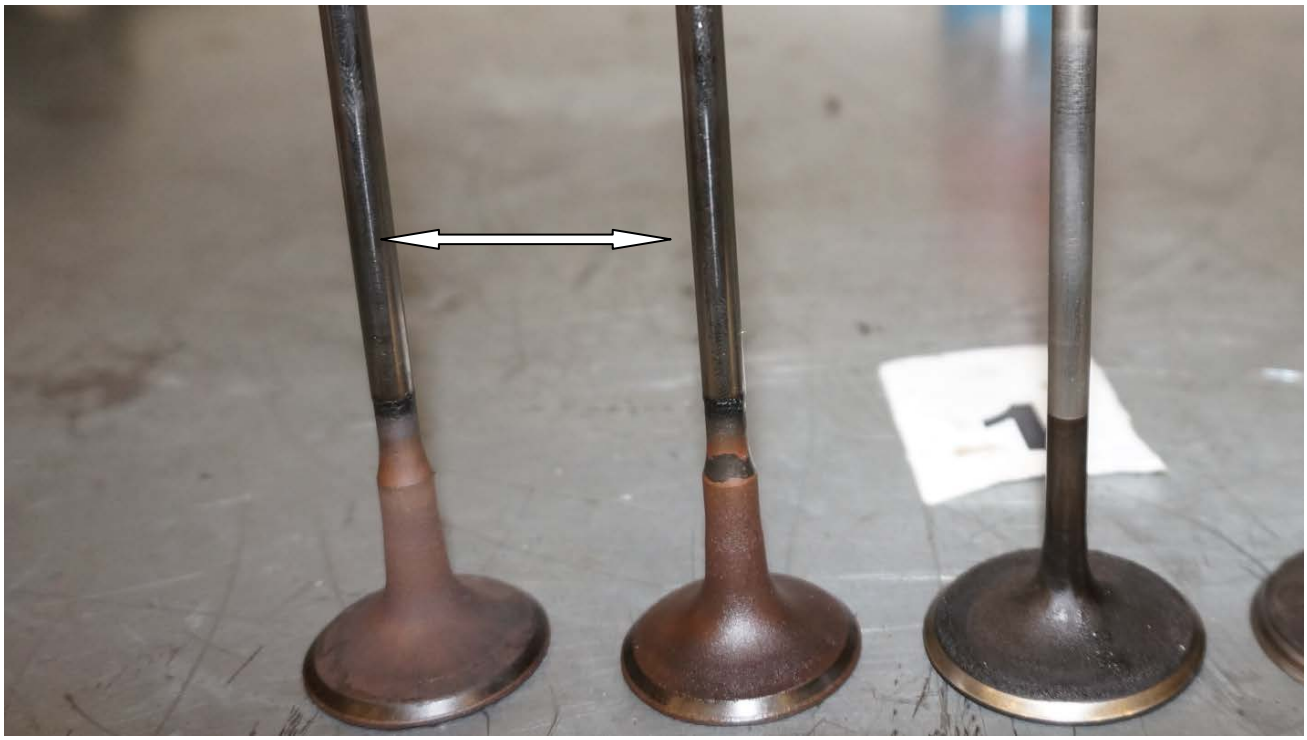


Рис.49. Випускні клапана, помічені №1. Без пошкоджень.

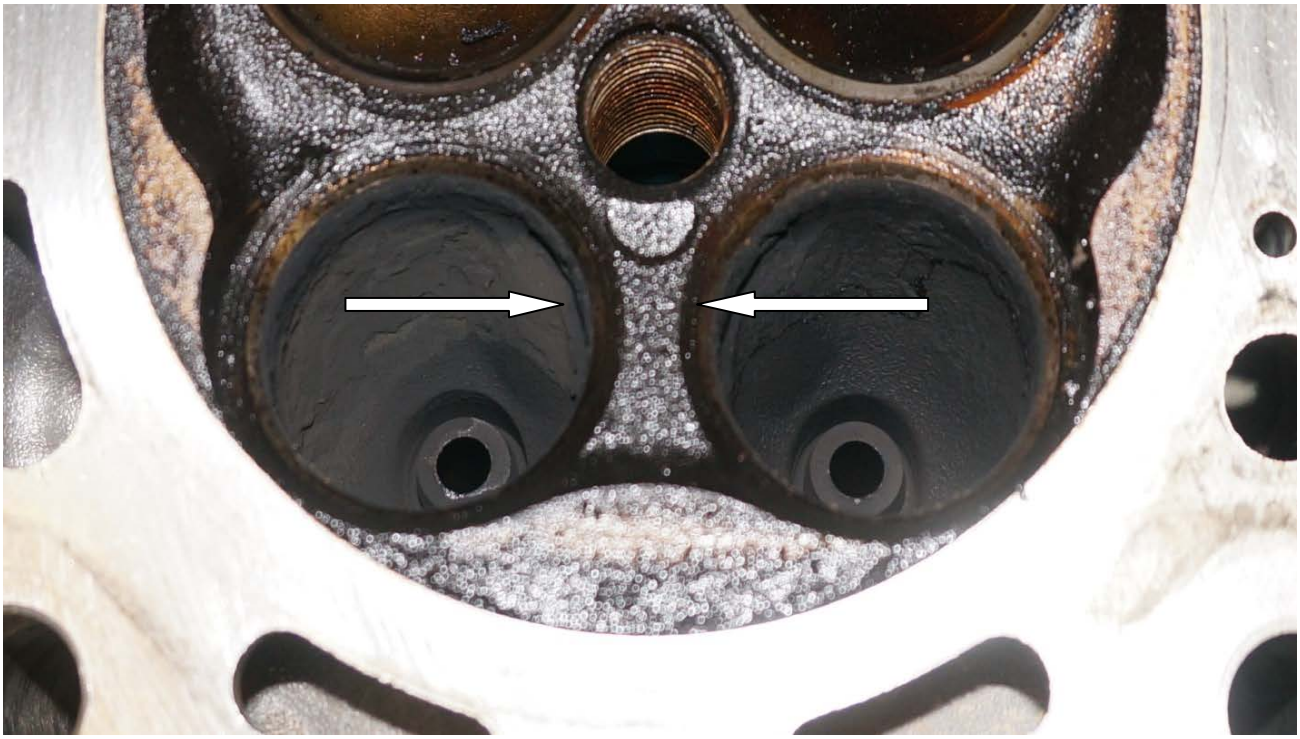


Рис.50. Сідла випускних клапанів циліндра №1. Без пошкоджень.

Рис.51. Сліди абразивного зносу впускних клапанів у вигляді матової поверхні стрижня клапана.

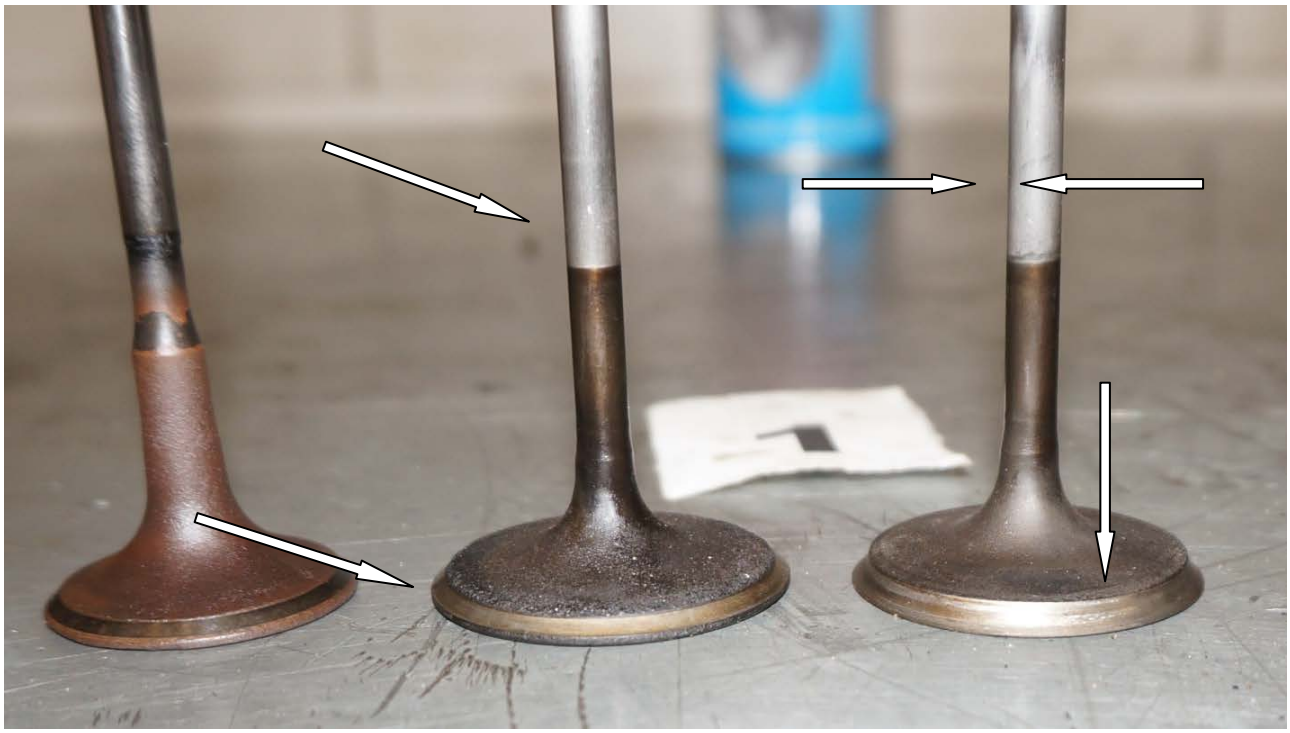


Рис.52. Знос стрижня клапана на 0,02 мм (праворуч), матова поверхня робочої фаски клапанів, знос робочої фаски клапана (праворуч) циліндра №1.

Рис.53. Знос і геометричне зміна форми сідла впускного клапана циліндра №1.

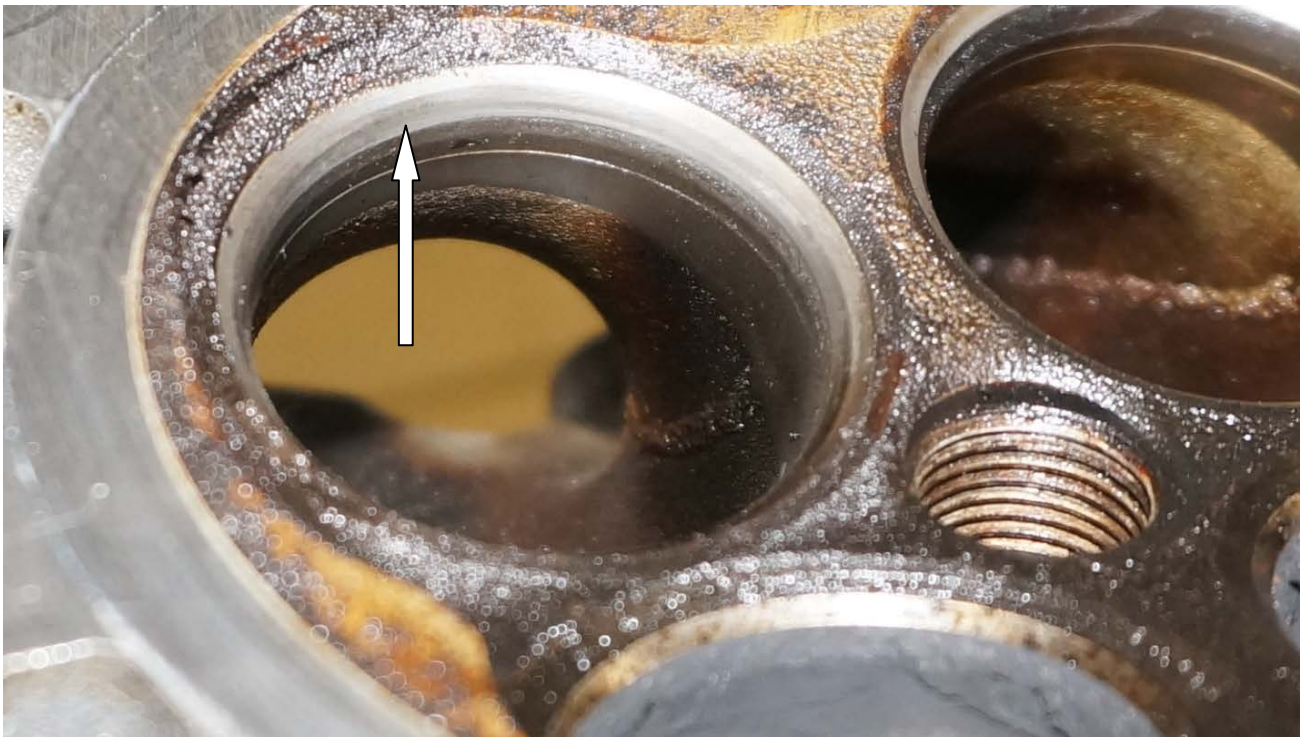


Рис.54. Те ж, збільшено.

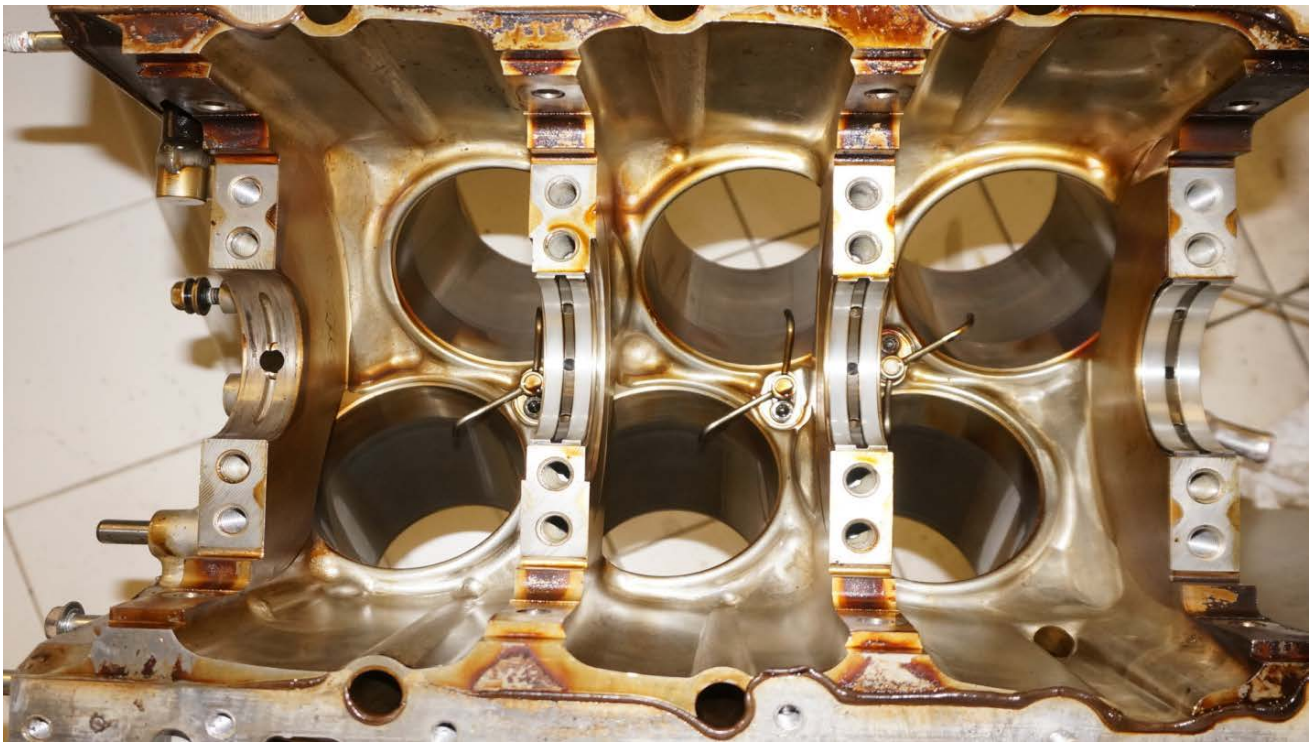


Рис.55. Картер блоку циліндрів, забруднення відсутні.

Рис.56. Передня частина блоку циліндрів, забруднення відсутні.

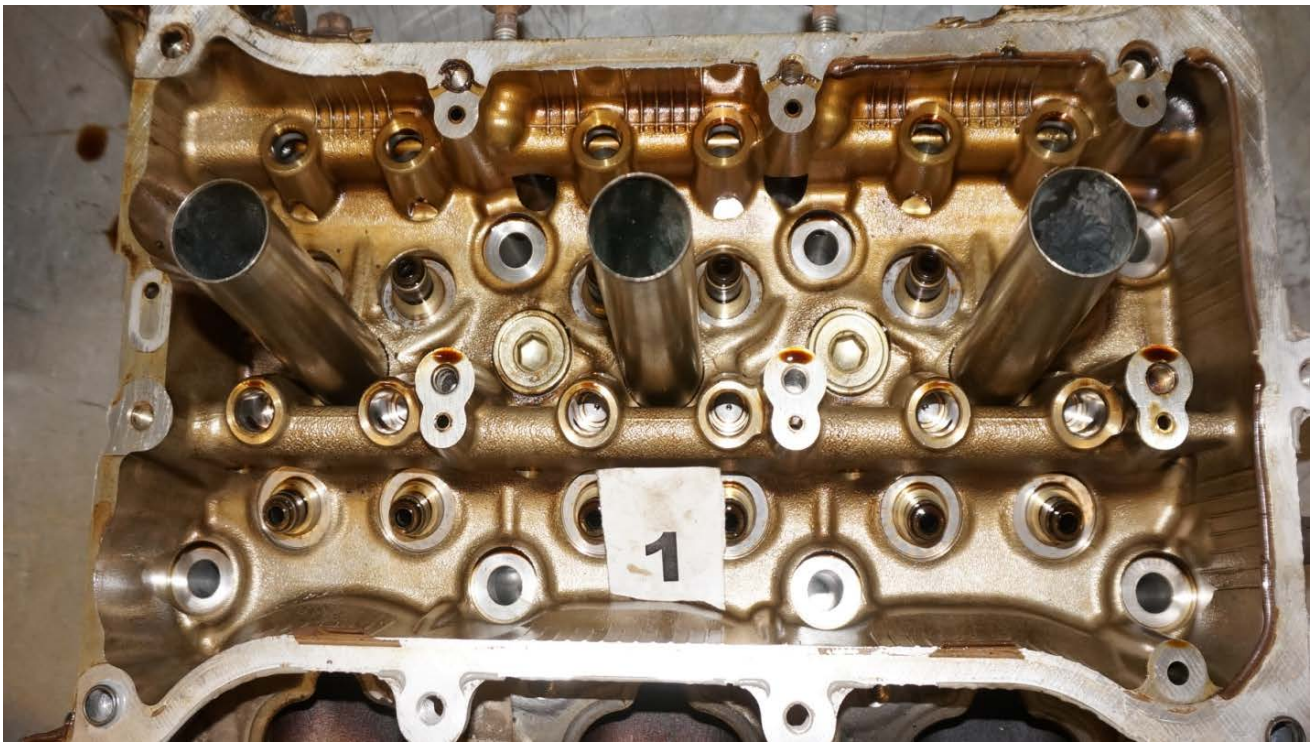


Рис.57. Внутрішня поверхня ГБЦ правого ряду циліндрів, забруднення відсутні.

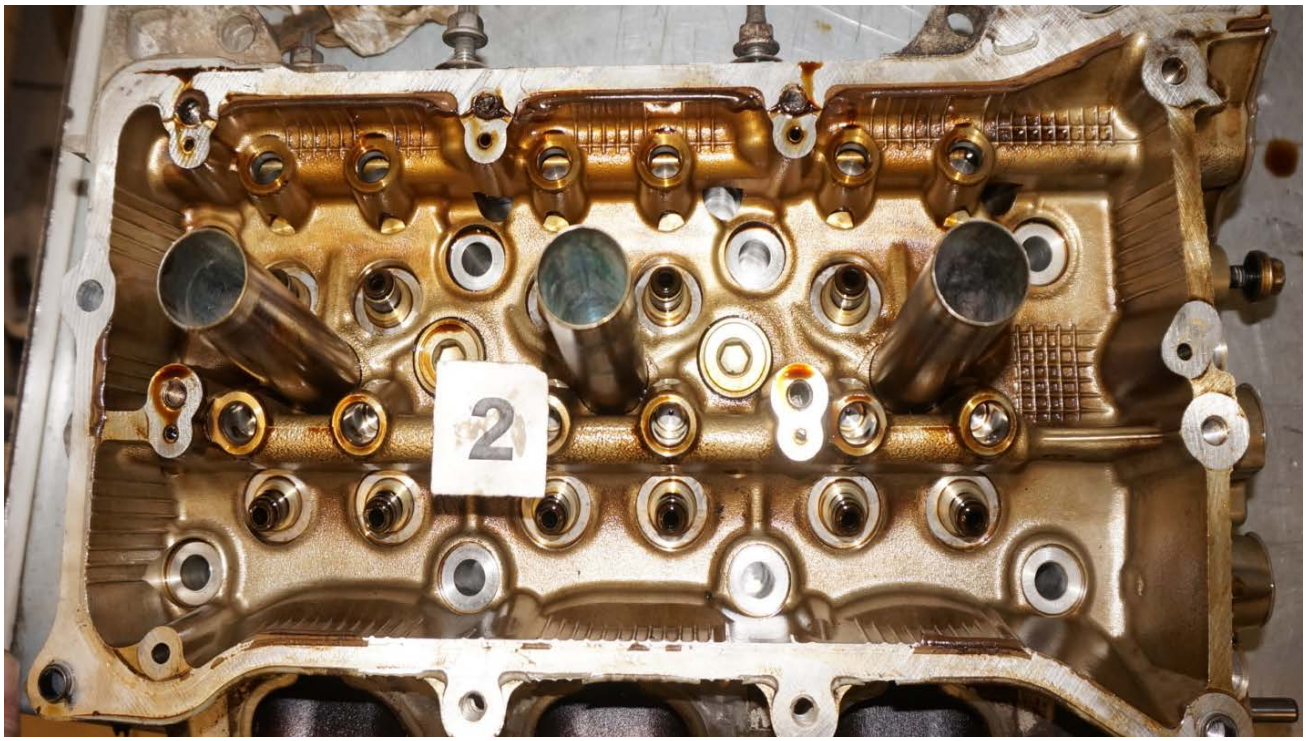


Рис.58. Те ж, внутрішня поверхня ГБЦ лівого ряду циліндрів.

Рис.59. Типовий абразивний знос поршня [11].

Рис.60. Розмивання канавки при поломці кільця [10].

Рис.61. Розмивання канавки кільця при його поломки за даними Mahle [11].

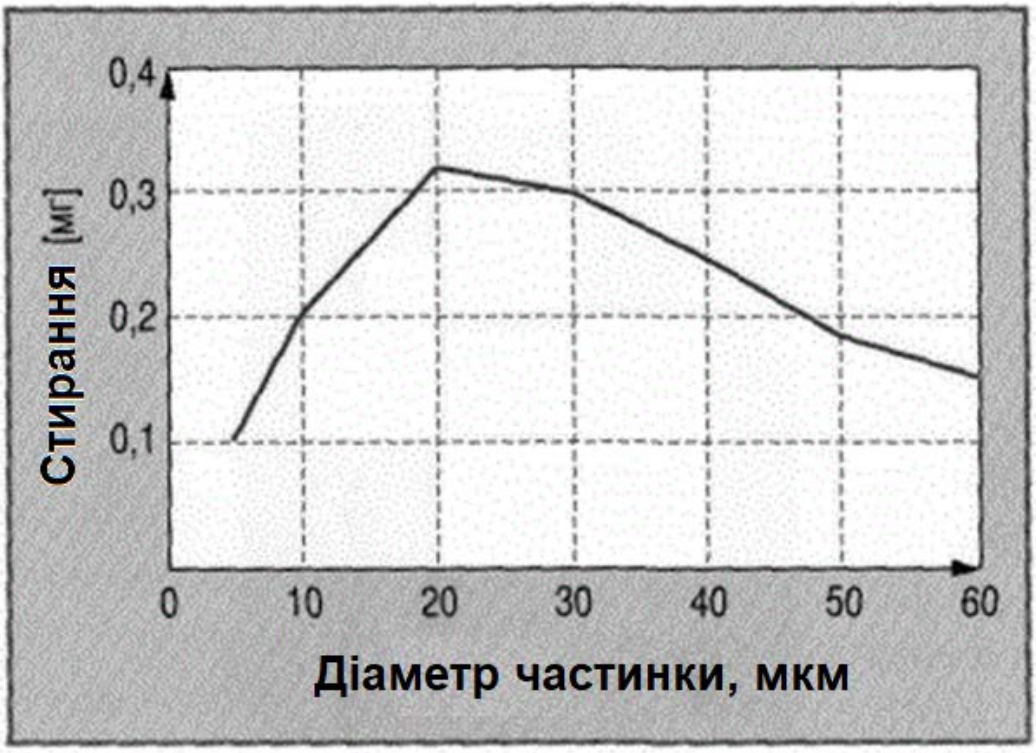


Рис.62. Вплив розміру частинок на знос деталей ДВЗ.

Рис.63. Перегородка, що розділяє впускний колектор на 2 частини - нижню для живлення 1-3 циліндрів, і верхню, для живлення 2-4 циліндрів.

Рис.64. Впускний колектор двигуна 2GR з боку дросельної заслінки - зліва патрубки лівого ряду циліндрів, що живляться з верхньої порожнини колектора.

Рис.65. Вид знизу на патрубки правого ряду циліндрів, що живляться від нижньої порожнини колектора - кут повороту потоку у патрубків істотно різниться (праворуч - циліндр №1, зліва - №5.

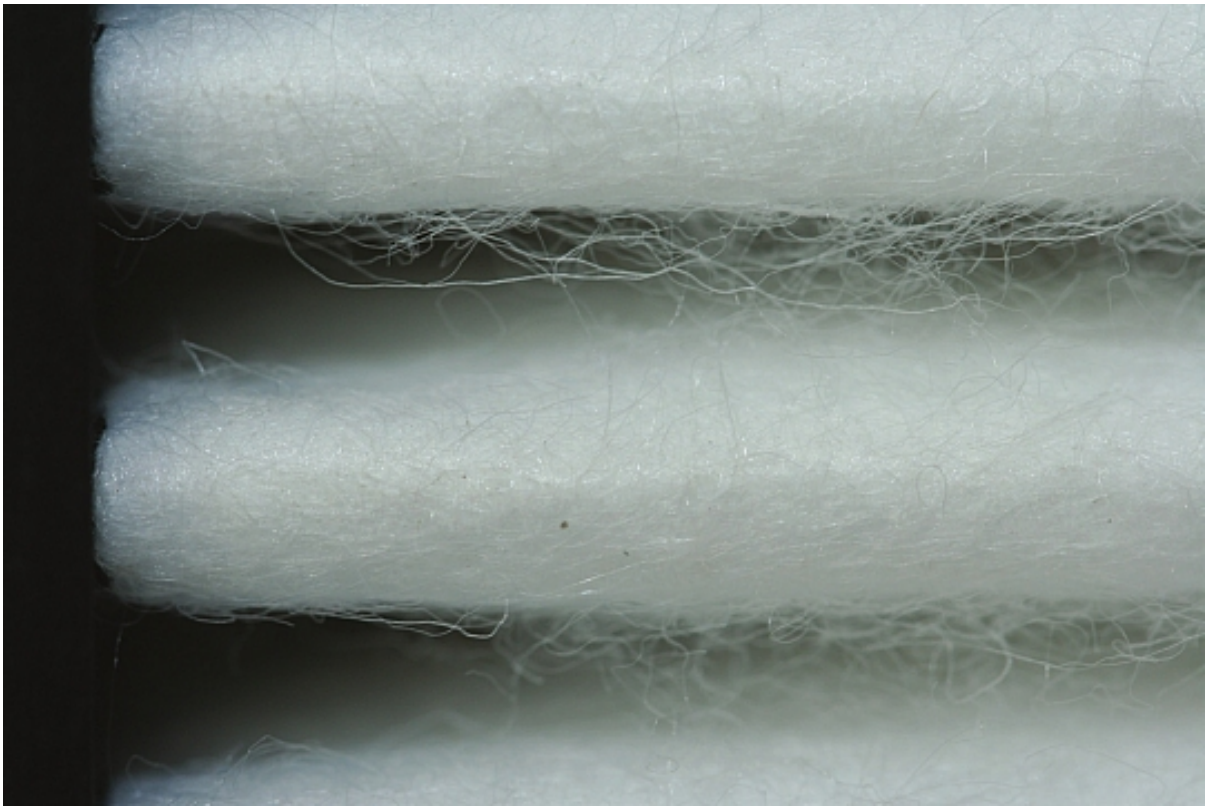


Рис.66. Волокниста структура нетканого синтетичного матеріалу сучасних повітряних фільтрів - такий же матеріал використовується і в досліджуваному автомобілі.

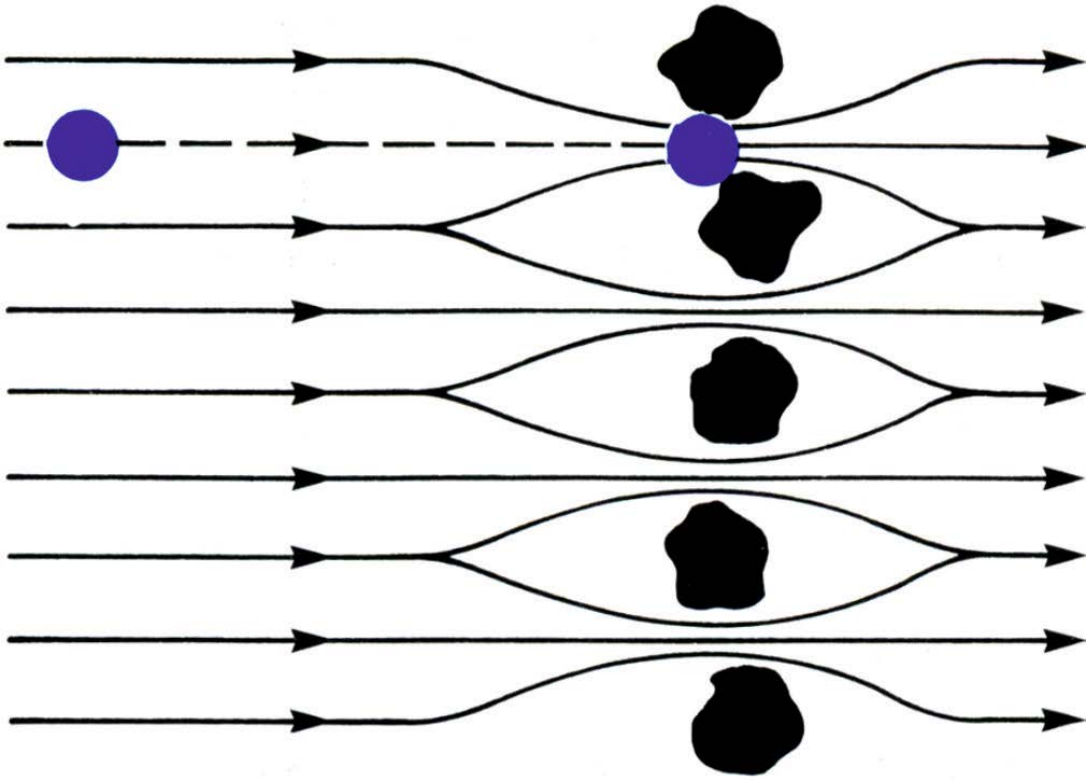


Рис.67. Безпосереднє затримання (ефект сита).

Рис.68. Ефективність осадження частинок різних розмірів за допомогою ефекту сита.

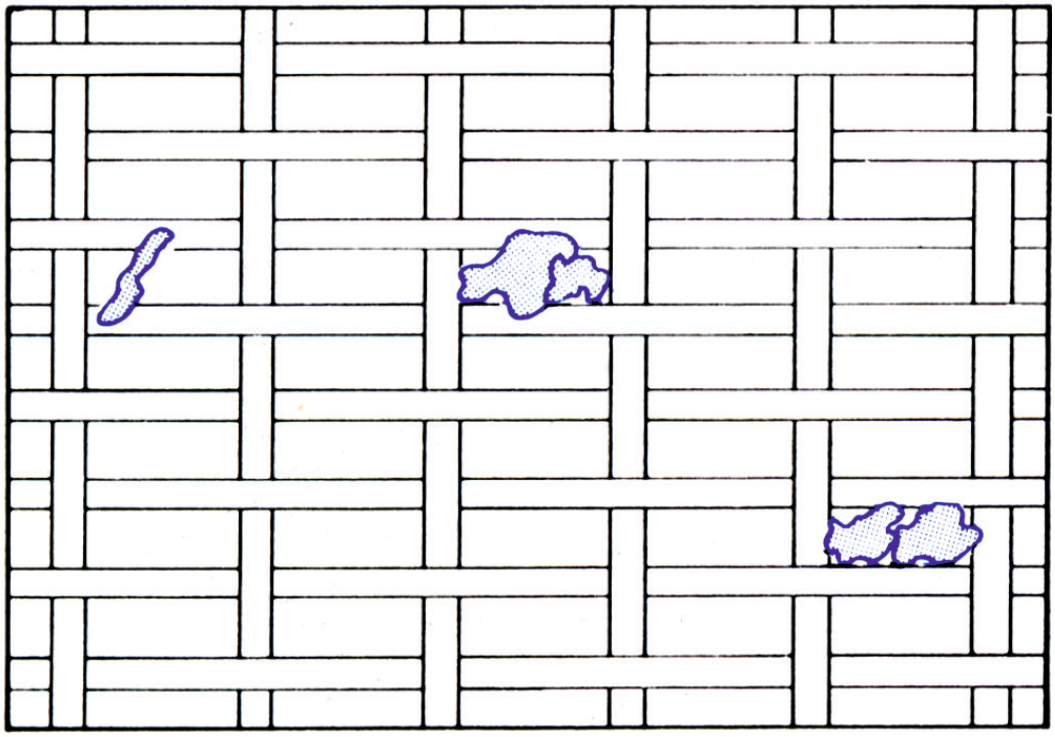


Рис.69. Механізми видалення з потоку частинок меншого розміру, ніж пори фільтруючого матеріалу, в тому числі, шляхом флокуляції та злипання дрібних часток у більші.

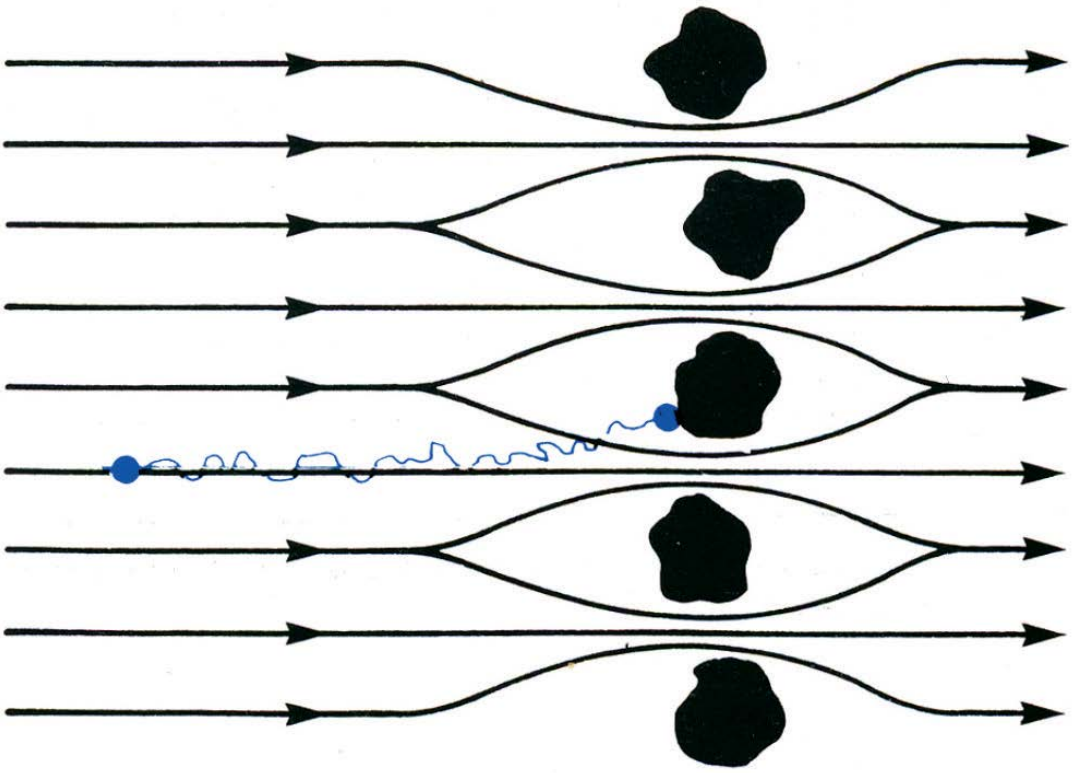


Рис.70. Дифузійне затримання.

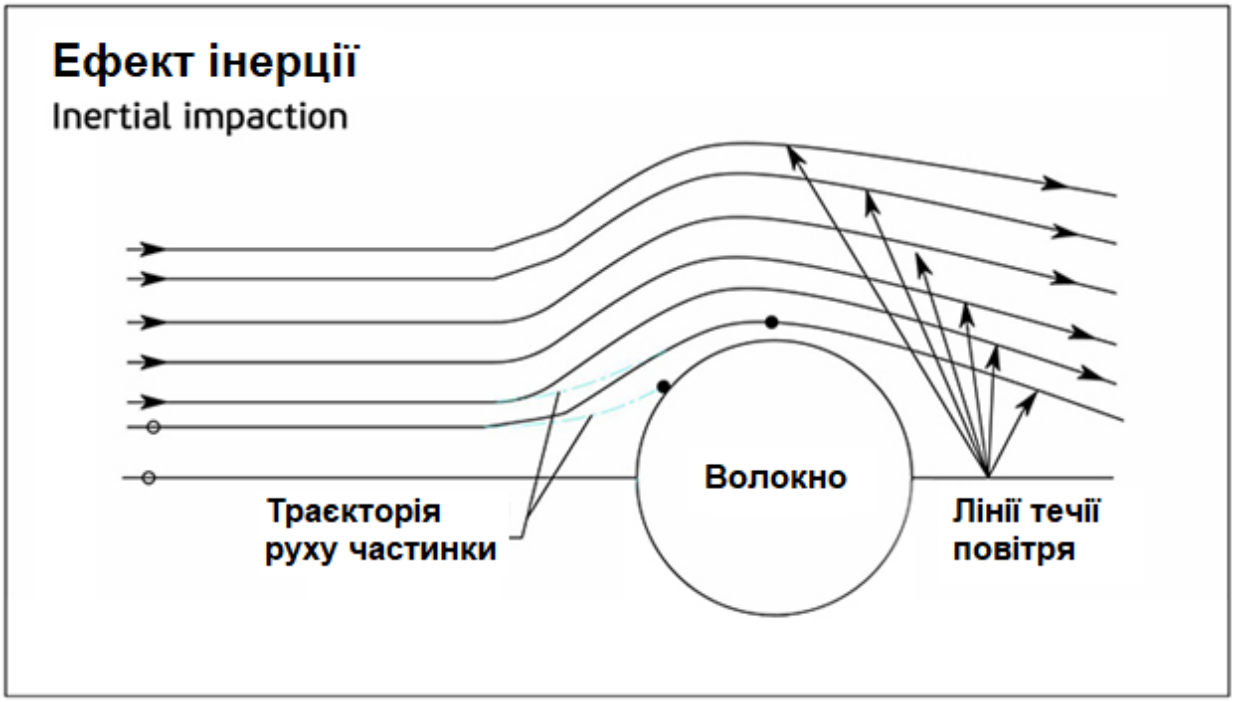


Рис.71. Інерційний зіткнення.

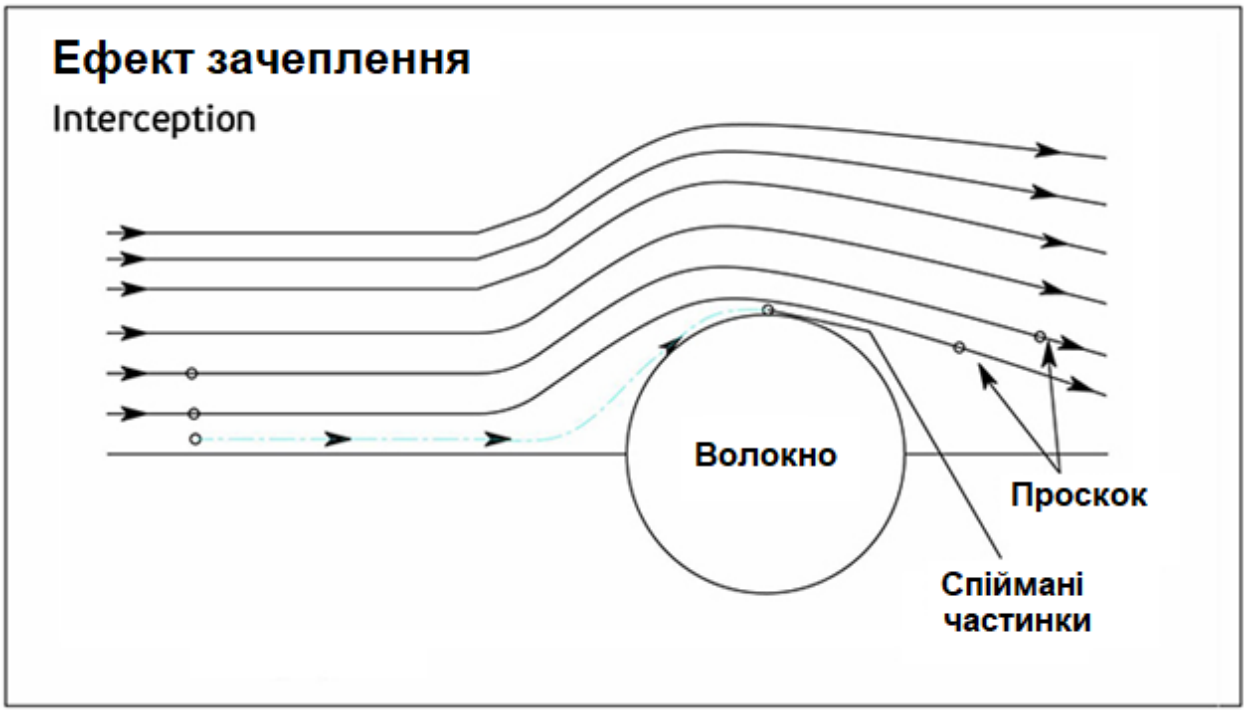


Рис.72. Ефект зачеплення.

Рис.73. Ефективність осадження частинок різних розмірів під дією зачеплення.

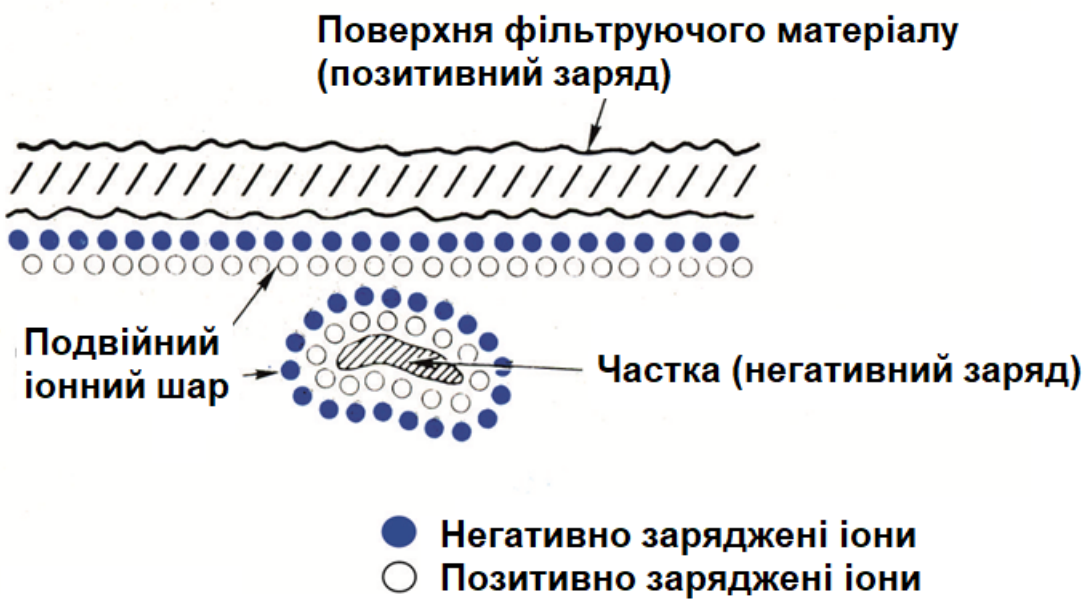


Рис.74. Взаємодія частинок і волокон внаслідок різниці потенціалів.

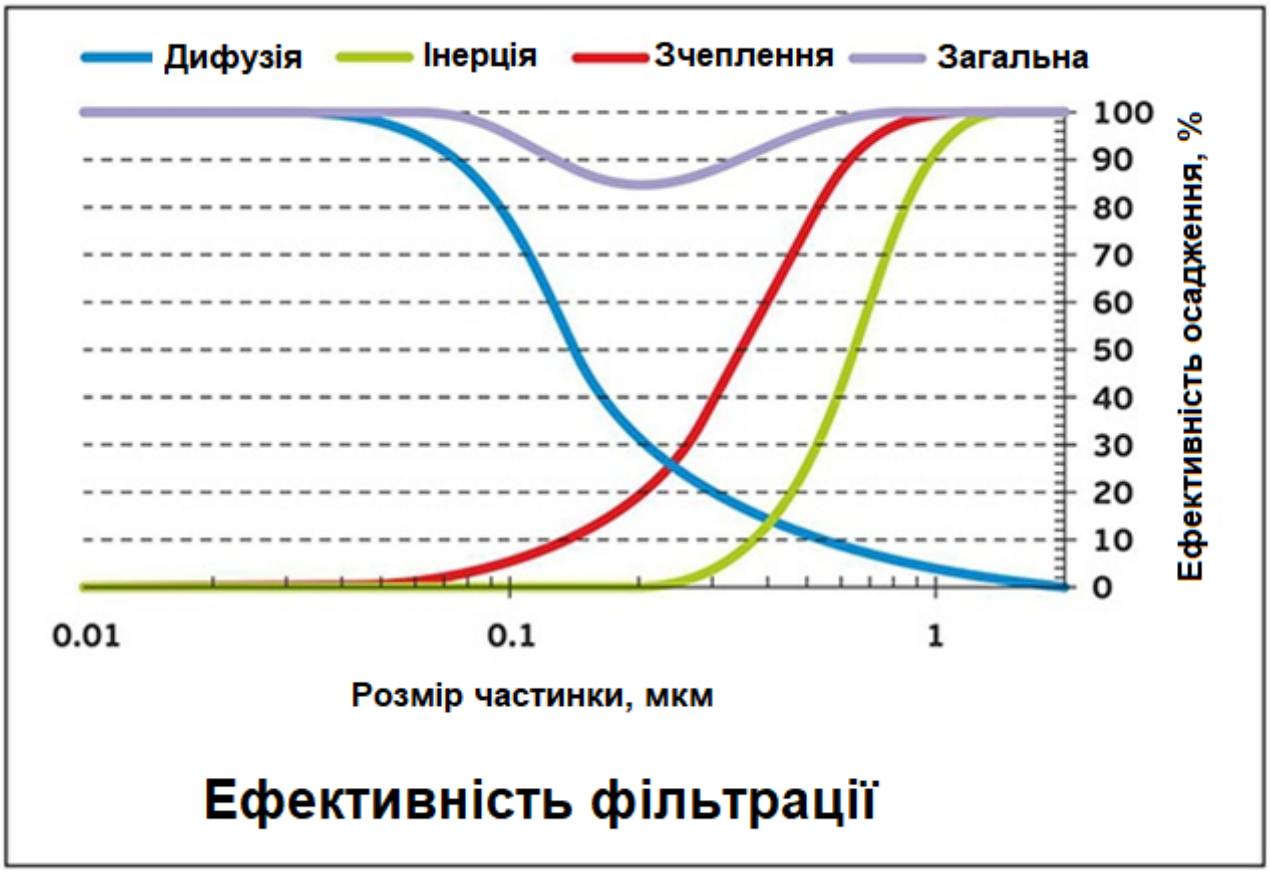


Рис.75. Вплив розміру частинок на ефективність фільтра при одночасній дії декількох ефектів.

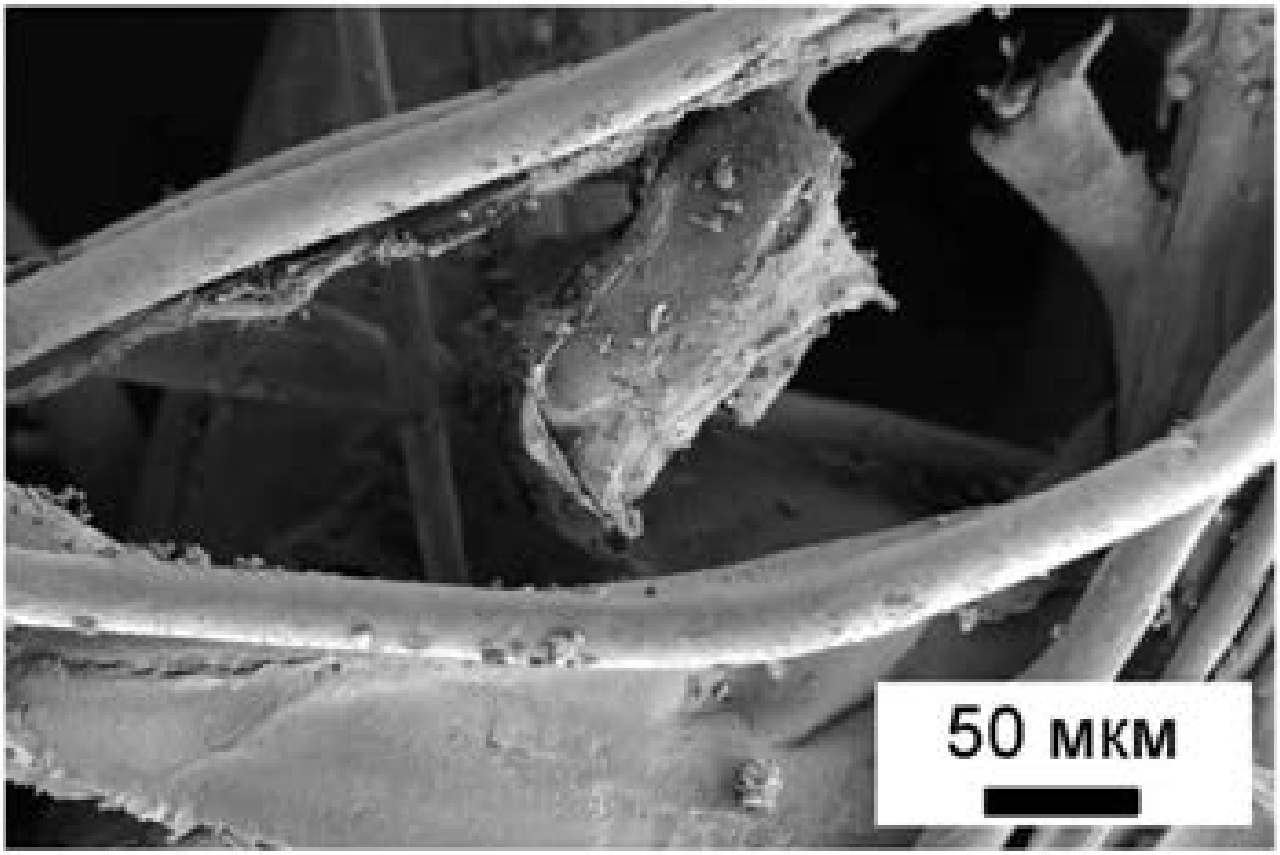


Рис.76. Блокування дрібними частинками малих зазорів між волокнами.

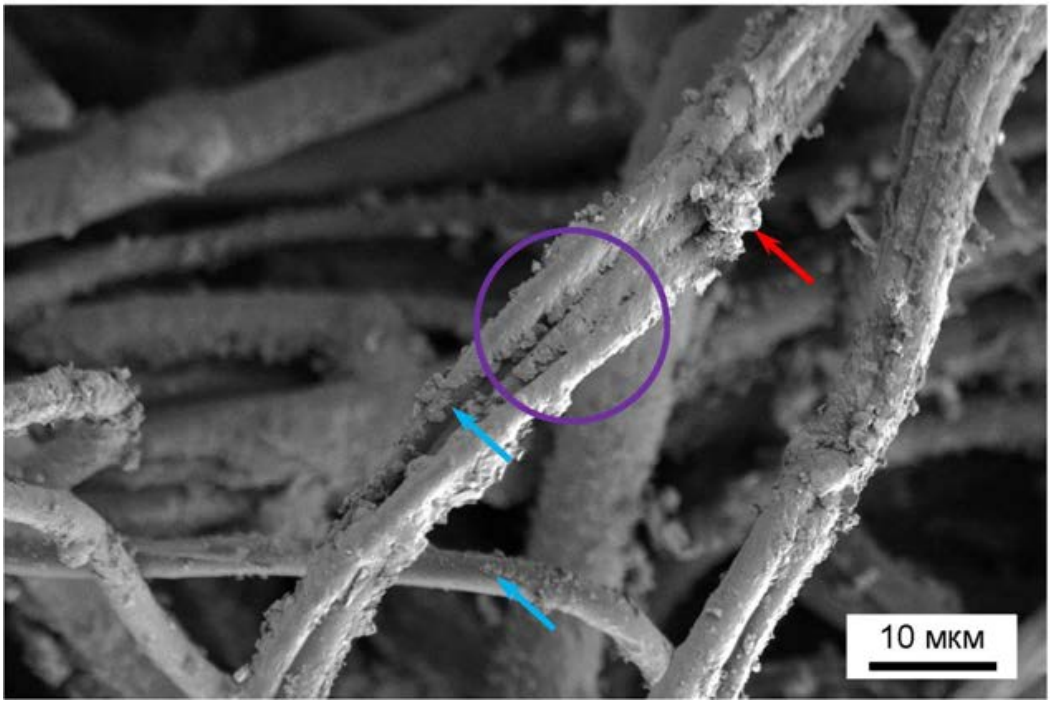


Рис.77. Те ж, збільшено.

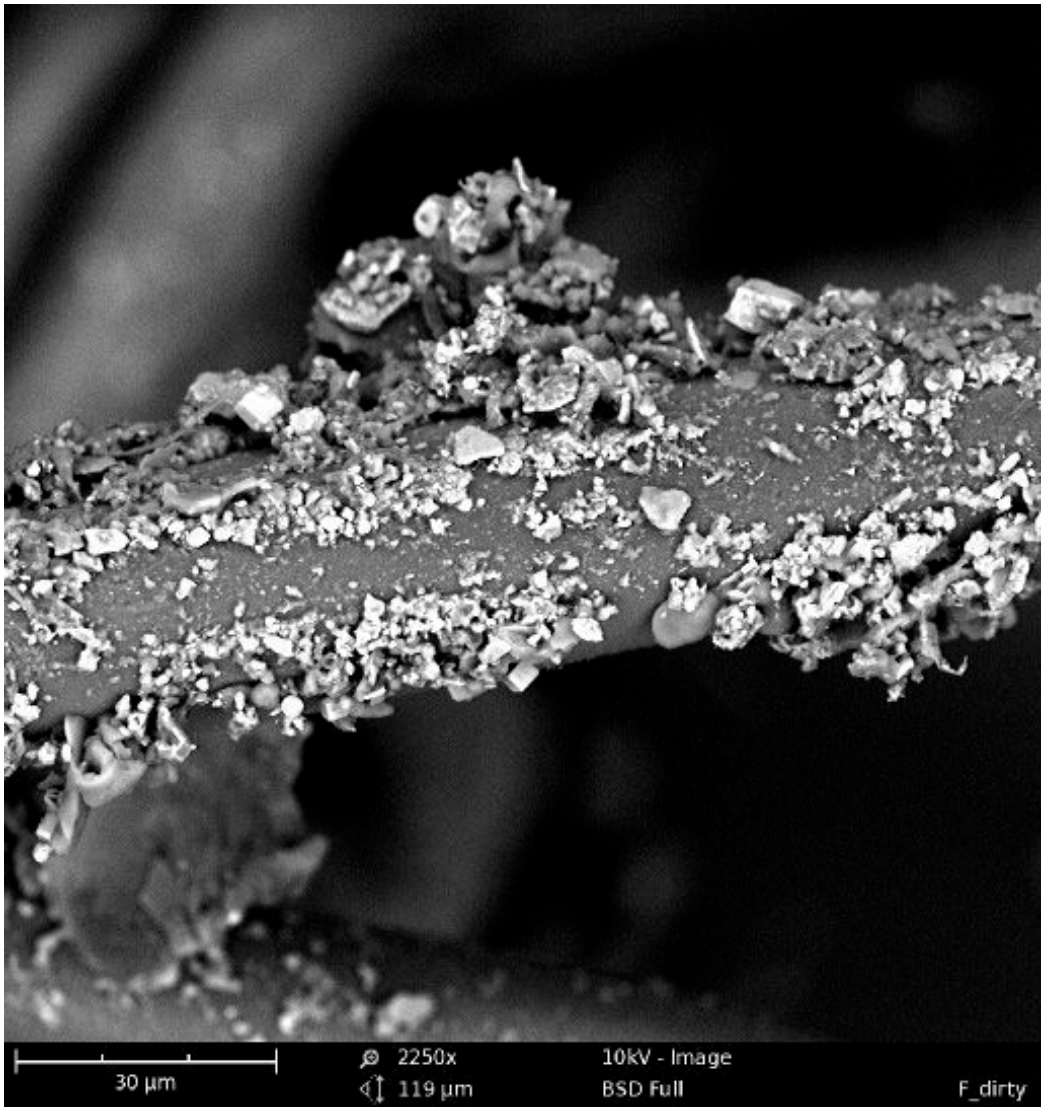


Рис.78. Осідання великої кількості дрібних частинок на волокні.

Е.2 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна автомобіля SSANGYONG KORANDO (перегрів при витіканні охолоджувальної рідини)

ВИСНОВОК ЕКСПЕРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ
технічного стану автотранспортного засобу

25.08.2021 № 04-А

ВСТУП

04.08.2021 до експерта Хрулєва О.Е. згідно договору № 02/07-А від 15.07.2021 надійшла заявка з проханням провести автотехнічне дослідження технічного стану автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак ХХХХХХ, 2010 року випуску, VIN: XXXT3B1EPAH007808.

Разом з листом надано:

1) інструкція з експлуатації автомобіля "SsangYong Korando", надана власником для ознайомлення експерта,
2) копії замовлення нарядів на ТО, надані власником під час огляду автомобіля,
3) копія Акту від 28 липня 2019 року огляду несправного автомобіля,
4) копія Акту від 14 листопада 2019 року вилучення проби палива,
5) копія Висновку спеціаліста у галузі хімічних досліджень НПО «Центр Судових Експертиз» Хххххххх С.М. від 29 листопада 2019 року,
6) копія Протоколу випробувань № ХХХХХ від 24 листопада 2019 року, підписаного експертом, кандидатом хімічних наук О.В. Кхххххххх.

На вирішення експертного дослідження поставлені питання:

1. *Чи є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак* ХХХХХХХ*, кузов № XXXT3B1EPAH007808, 2010 року випуску, якщо є, то які?*
2. *Якщо є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак* ХХХХХХХ*, то які причини їх виникнення.*
3. *Чи є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак* ХХХХХХХ*, наслідком виробничого дефекту, робіт з технічного обслуговування (ремонту) автомобіля або/і інших дій у тому числі дій власника і т.д., чи несправності двигуна є результатом неправильної експлуатації автомобіля?*
4. *Як впливає на експлуатацію та несправності двигуна автомобіля використання дизельного пального, вміст води в якому не відповідає ДСТУ?*
5. *Чи характерні пошкодження двигуна DB29 № 10000064R зазначеного автомобіля для тривалого використання неякісного дизельного пального?*
6. *Чи могла одноразова заправка 61,47 літра дизельного пального з показниками води та фракційного складу, зазначеними у Протоколі випробувань №НП-З ХХХХ від 24 листопада 2019 року Хіміко-аналітичною лабораторією та Висновку фахівця Центру Судових експертиз №ХХХХХ від 29 листопада 2019 року, викликати відмову двигуна DB29 № 10000064R за час відповідного пробігу 144 км?*

7. Чи підлягає двигун ремонту та якою є вартість відновлення двигуна DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX*, станом на дату його відмови, що сталася 28 липня 2019 року?*

9. Питання, поставлені експертом у порядку експертної ініціативи

Також експертом у порядку експертної ініціативи ставиться додаткове питання:

8. Чи мав водій можливість запобігти відмову двигуна?

Проведення експертного дослідження доручено:

Хрулєв Олександр Едуардович – судовий експерт, спеціаліст у галузі конструкції, робочих процесів і несправностей двигунів внутрішнього згоряння, начальник Бюро моторної експертизи, що має право на проведення автотехнічних експертних досліджень (свідоцтво № 1923 від 20 лютого 2018 р. за спеціальністю «Дослідження технічного стану транспортних засобів»), освіта вища (Московський авіаційний інститут, факультет «Двигуни літальних апаратів», 1979р.), кандидат технічних наук (1985р.), старший науковий співробітник за спеціальністю «Теплові двигуни», автор книги «Ремонт двигунів закордонних автомобілів» та понад 150 статей з моторної тематики, стаж роботи зі спеціальності (теорія, конструкція, експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння) – 28 років, з них експертом – 10 років.

При проведенні експертного дослідження використовувалися наступні інформаційні джерела.

Законодавчі, нормативні акти і методики експертних досліджень:

1. Закон України "Про судову експертизу" (введено в дію з дня опублікування — 21 квітня 1994 року згідно з Постановою Верховної Ради України від 25.02.1994 № 4038а-XII, останні зміни внесено: Закон України від 24.12.2015 № 911-VIII).
2. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 08.10.1998 за № 53/5, зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства юстиції України від 27.07.2015 за № 1350/5).
3. Інструкція про особливості здійснення судово-експертної діяльності атестованими судовими експертами, що не працюють у державних спеціалізованих експертних установах (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 12.12.2011 № 3505/5).
4. ПРАВИЛА надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів. Наказ Міністерства транспорту України від 11.11.2002 за N 792.
5. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про захист прав споживачів". Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 1991, N 30, ст.379.
6. "Правила дорожнього руху". Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. за № 1306.
7. Державний Стандарт України ДСТУ 2860-94. "Надійність техніки. Терміни та визначення". Чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. К.: Держстандарт України, 1995. 92 с.

Науково-технічна та довідкова література.

Література по досліджуваного автомобілю і двигуну:

8. SSANGYONG KORANDO Service Manual. Daewoo Motor Company, Limited Overseas Technical Service Department 391-9 Chong Chon-2 Dong, Pu Pyung-Gu,Inchon, Korea, 2010.
9. KORANDO ROAD PARTNER. Сервісна книжка. Гарантійні зобов'язання та інформація щодо технічного обслуговування автомобіля. Daewoo Motor Company, 2012. 25 с.
10. Mercedes-Benz/SsangYong. Дизельні двигуни Mercedes-Benz OM601, OM602, OM603, OM604, OM605, OM606 та їх модифікації. Влаштування, технічне обслуговування та ремонт. Вид-во "Легіон", 2010. 168 с.

Література по конструкції і процесам в двигунах:

11. Automotive Engine Maintenance and Repair. Washington: Marine Corps Institute, 1997. 149 p.
12. Дяченко В.Г. Двигуни внутрішнього згоряння. Теорія / В.Г. Дяченко, за ред. А.П.Марченка. Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. 488 с.
13. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.1. Розробка конструкцій форсованих двигунів наземних транспортних машин / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов, за ред. проф. А.П. Марченка, засл. діяча науки України, проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Видавн. центр НТУ “ХПІ”, 2004. 491 с.
14. Двигуни внутрішнього згоряння. Т.3. Комп’ютерні системи керування ДВЗ. / А.П. Марченко, М.К. Рязанцев, А.Ф. Шеховцов, за редакцією А.П. Марченка, засл. діяча науки України проф. А.Ф. Шеховцова. Харків: Вид. центр НТУ “ХПІ”, 2004. 427 с.
15. Engine components and filters: defects, their causes and prevention. Mahle GmbH, 2010, http://www.mahle-aftermarket.com.
16. Damage to pistons – how to identify and repair them. MSI Motor Service International GmbH, Neckarsulm, Пукьфтн, 2004. 103з.
17. Piston Damage – Causes and Remedies. MAHLE GmbH, Stuttgart, Germany, 1999. 66p.
18. Bosch. Automotive Handbook. ISBN 0–8376-0613-6. 5th Edition © Robert Bosch GmbH, 2000 P.O. Box 10 60 50, D-70049, Stuttgart, Federal Republic of Germany, 2004. 530 p.
19. AUTODATA CDA3.38 Version: 8500, Autodata Limited 2010.
20. Cengel Yu.A. Heat and Mass Transfer. Fundamentals and Applications / Yu. A. Cengel. New–York: McGraw–Hill Education, 2013. 968 p.
21. Лабай В.Й. Тепломасообмін / В.Й. Лабай. Львів: Тріада Плюс, 2004. 260 с.
22. Janna, W.S. Engineering Heat Transfer. New York: CRC Press, 2009. 692 p.
23. Малишев В.В. Технічна термодинаміка та теплопередача / В.В.Малишев, В.В.Крєтов, Т.М.Гладка. К.: Університет “Україна”, 2013. 258 с.
24. Сукач М.К. Автомобільні експлуатаційні матеріали. Паливно-мастильні матеріали та спеціальні рідини. Частина 1 / М. К. Сукач та інші. К.: Університет "Україна", 2006. 256 с.
25. Fuel & Lubricant Technologies. FY 2013 Annual Progress Report. Energy Efficiency and Renewable Energy. Vehicle Technologies Office / Approved by K. Stork. Washington: U.S. Department of Energy, 2013. 174 p.
26. ДСТУ 7687:2013. Бензини автомобільні ЄВРО. Технічні умови. Відповідає офіційному тексту. Київ.: ДП «УкрНДНЦ», 2013. 15 с.
27. Мережа Internet, «Прайс лист з ремонту та відновлення моторних деталей» СМЦ «АБ-Інжиніринг», http://www.ab-engine.com/p_spare.html.

28. Мережа Internet, Прейскурант «АСД» BOSCH SERVICE. http://www.dizeli.ua/page/price.html.
29. Мережа Internet, «Інтернет магазин автозапчастин EXIST.UA», http://www.exist.ua.
30. Мережа Internet, Погода http://nuipogoda.com.
31. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Видання офіційне. Київ: Держстандарт України, 2011. 30 с.
32. ДСТУ 4488:2005. Нафта і нафтопродукти. Методи відбирання проб. Київ.: Держстандарт України, 2005. 33 с.
33. Yamagata, H. The science and technology of materials in automotive engines / H. Yamagata. Cambridge: Publishing Limited, 2005. 318 p.
34. Gere J.M. Mechanics of Materials. 6th Edition / J.M. Gere. Belmont: Brooks/Cole – Thomson Learning, 2004. 940 p.
35. Askeland D.R. The Science and Engineering of Materials. Sixth Edition / D. R. Askeland, P. P. Fulay, W. J. Wright. Stamford: Cengage Learning, 2010. 923 p.
36. Cylinder head gaskets. Correct identification and prevention of typical breakdowns. Dettingen/Erms: ElringKlinger AG, 2005. 18 p.
37. Premature Failures Manual. São Paulo: MAHLE Metal Leve S.A., 2013. 68 p.
38. Основи судово-експертного дослідження технічного стану транспортних засобів (Судова автотехнічна експертиза. Частина ІІІ, Випуск І) / Упоряд. Г. В. Жилінський / Під нав. ред. А. Б. Розумова. Київ: НДІСЕ, 1987. 112 с.
39. Jack T.K. Water–Cooled Petrol Engines: A Review of Considerations in Cooling Systems Calculations with Variable Coolant Density and Specific Heat / T. K. Jack, M. M. Ojapah // International Journal of Advances in Engineering & Technology. 2013. 6 (2). P. 659–667.
40. Vehicle cooling. A compact guide for the workshop. Stuttgart: MAHLE Aftermarket GmbH, 2012. 76 p.
41. Gilles T. Automotive engines: diagnosis, repair and rebuilding. 6th Edition / T. Gilles. Santa Barbara: Delmar Cengage Learning, 2011. 672 p.
42. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamentals (McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering) / J. B. Heywood. New York: McGraw–Hill, Inc., 1988. 930 p.

При проведенні дослідження використовувалися наступні методи, вимірювальні та технічні засоби:

1) візуальний метод – дослідження та оцінка якості об'єктів за допомогою органів зору;

2) вимірювальний метод – шляхом вимірювання параметрів елементів двигуна спеціальними вимірювальними приладами, у тому числі шляхом вимірювання розмірів деталей спеціальними вимірювальними приладами:

- нутромір HI-50-100-0,01, зав.№G88406 з діапазоном виміру 50-100 мм, ціна поділу 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-196
- мікрометр МК100-1, зав.№8225 з діапазоном виміру 75-100 мм, ціна поділу 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-193,
- мікрометр МК75, зав.№11734В5 з діапазоном вимірювання 50-75 мм, ціна поділу 0,010 мм, свідоцтво про повірку №1012-191,
- набір щупів 20 BLATT зав.№410 діапазон вимірювань 0,02-0,5 мм, свідоцтво про повірку №1012-203.
- лінійка лекальна ЛД-320, зав.№3112, свідоцтво про повірку №1012-202.
- індикатор вартового типу ІЧ зав.№300937, свідоцтво про повірку №1012-199 ВАТ;
- Повітряний автомобільний компресор Air Man Hawk з манометром.

3) розрахунковий метод (непрямий вимірювальний метод) – шляхом розрахунків різних параметрів на основі результатів вимірювань та інших даних,

4) експертний метод (метод експертної оцінки) – сукупності операцій з вибору комплексу або одиничних характеристик об'єкта, визначення їх дійсних значень та оцінка експертом відповідності їх встановленим вимогам та/або технічній інформації.

Фотографування об'єкта здійснювалася цифровим фотоапаратом "Olimpus SP-800UZ" з режимом супер макрознімання зі збільшенням зображення до 30:1.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Несправність (несправний стан) – стан двигуна (агрегата), при якому він не відповідає хоча б одній із вимог, зазначених у нормативно-технічній та/або конструкторській документації.

Зношування (знос) – процес зміни розмірів (різниця розмірів, стан) деталі в результаті відділення з її поверхні частинок матеріалу.

Природне зношування – зношування деталей при нормальній експлуатації двигуна (агрегату) внаслідок природних причин.

Катастрофічне зношування – стан двигуна (агрегату) у фінальній стадії експлуатації, що характеризується великим зношуванням та зазорами у сполученнях деталей, при яких поява ударних навантажень у сполученнях призводить до порушень деталей та виходу агрегату з ладу.

Пошкодження – подія (стан), що характеризується порушенням справного стану двигуна (агрегату) за збереження його працездатності.

Дефект – несправний стан двигуна (агрегату), що характеризується виходом його параметрів за допустимі межі, але не робить його непрацездатним.

Конструктивний дефект – дефект, спричинений порушенням встановлених норм проєктування (конструювання) двигуна.

Виробничий дефект – дефект, спричинений порушенням встановленої технології виготовлення двигуна (агрегату).

Відмова (зламання) – вихід з ладу або відмова двигуна (агрегата) у процесі його роботи через неправильну експлуатацію, погане обслуговування (ремонт) та/або конструктивно-виробничі дефекти. Вихід з ладу (відмова) характеризується таким відхиленням параметрів двигуна (агрегату) від нормативних, за яких він стає непрацездатним.

Умовні позначення.

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння.

ЦПГ – циліндро-поршнева група, що складається з поршня, поршневих кілець та циліндра.

ШПГ – шатунно-поршнева група, що складається з шатуна, поршня та поршневого пальця.

ГРМ – газорозподільний механізм, включає розподільний вал, клапани, штовхачі, пружини та ін.

БЦ – блок циліндрів.

КЗ – камера згоряння.

ГБЦ – головка блоку циліндрів.

ВМТ – верхня мертва точка, верхнє положення поршня в циліндрі.

НМТ – нижня мертва точка, найнижче положення поршня в циліндрі.

ТО – технічне обслуговування.
СТО – станція технічного обслуговування.
ТЗ – транспортний засіб.
ПДР – Правила дорожнього руху.
ТКР – турбокомпресор двигуна.
ТУ – технічні умови (виробника).
ОР – охолоджувальна рідина.
ФТО – фільтр тонкого очищення.
ПНВТ – паливний насос високого тиску.
ДПА – дизельна паливна апаратура, що складається з ПНВТ, форсунок та трубопроводів.

Опис двигуна як об’єкту дослідження, представленого на дослідження.

Двигун DB29 являє собою 5-циліндровий 10-клапанний рядний дизельний двигун з робочим об'ємом турбонаддувом 2.874 л і одним верхнім розподільним валом. Дизель є передкамерним, тобто подача палива форсункою здійснюється над циліндр, а порожнину додаткової камери (предкамери), через отвори у якій палива гарячі гази після займання надходять у циліндр. У двигуні використовується паливна система BOSCH, яка складається з паливного насоса високого тиску (ТНВД) типу BOSCH VE розподільного типу та форсунок подачі палива. Форсунки встановлені у передкамерах ГБЦ.

Табл.1. Технічні дані двигуна DB29

Тип	Чотиритактний дизель передкамерного типу з турбонаддувом
Кількість циліндрів та їх розташування	Рядний, 5-циліндровий.
Діаметр циліндра та хід поршня, мм	89,0 x 92,4
Робочий об'єм, л	2.874
Ступінь стиснення	22
Максимальна потужність, к.с.	120
Максимальний момент, що крутить, Н.м	25,5
Клапанний механізм	10-клапанний з одним верхнім розподільчим валом.
Паливо	Дизельне
Порядок роботи циліндрів	1 – 2 – 4 – 5 – 3
Система наддуву	Турбокомпресор
Система паливоподачі	Передкамерне впорскування, BOSCH VE
Повітряний фільтр	Сухий, з паперовим фільтруючим елементом

Система змащення	Комбінована, під тиском та розбризкуванням
Система охолодження	Рідина, закрита із примусовою циркуляцією

Автомобіль, що досліджується, є автомобіль SsangYong Korando, що випускається в Республіці Корея з 1997 року. Особливістю автомобіля є двигун, який випускається в Республіці Корея за ліцензією компанії Mercedes-Benz. Цей двигун є моделлю ОМ 662.983 за класифікацією компанії Mercedes. Двигун розроблений на початку 80-х років минулого століття, є надійним та довговічним силовим агрегатом. Двигуни даного типу встановлювалися в різні роки на велику кількість моделей автомобілів як легкових, так і комерційних.

Вихідна інформація.

Згідно з документами, 28 липня 2019 року позивач рухався на своєму автомобілі «SsangYong Korando» автошляхом Е-95. Приблизно о 10 годині 38 хвилин власник заправив у бак автомобіля 61,47 літра дизельного пального на АЗС «ХХХХ-АЗС». У заяві власник стверджує, що після виїзду з території АЗС регулярно контролював автомобільні попереджувальні датчики та швидкісний режим не порушував. Під час пробігу після заправки 144 км, перебуваючи на 308 км автодороги, двигун автомобіля вимкнувся, і з-під капота автомобіля стала виходити пара. Оглянувши двигун, власник видимих несправностей та порушень не виявив, і через 1,5 години спробував запустити двигун. Двигун не запустився.

Далі автомобіль було доставлено до ОД у м. Сххххнськ, де двигун було демонтовано та частково розібрано, про що складено Акт від 28 липня 2019 року. 14 листопада 2019 року в м. Сххххськ з бака досліджуваного автомобіля вилучено проби палива. У матеріалах є відповідний Акт від 14 листопада 2019 року. Далі власник передав наявні у нього проби палива для експертних досліджень у 2 різні організації:

1. НПО «Центр Судових Експертиз». У матеріалах є Висновок спеціаліста у галузі хімічних досліджень НПО «Центр Судових Експертиз» Хххххххх С.М. від 29 листопада 2019 року.

2. Хіміко-аналітична лабораторія дослидження нафти та газу. У матеріалах є Протокол випробувань № ХХХХХ від 24 листопада 2019 року, підписаний експертом, кандидатом хімічних наук О.В. Кхххххххх.

У зв'язку з тим, що результати аналізу пального мають значення для встановлення причини несправності, нижче в дослідній частині буде дано порівняльний аналіз перерахованих вище досліджень.

ДОСЛІДЖУВАЛЬНА ЧАСТИНА.

1. Дані огляду автомобіля.

Огляд автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак ХХХХХХ, кузов № XXXT3B1EPAH007808, 2010 року випуску, та його двигуна DB29 № 10000064R проводився 25.06.2021 року.

Автомобіль на момент огляду був на стоянці с.Острівці Хххххххх області (рис.1). Номерний знак, VIN-номер (під лобовим склом та на табличці в підкапотному просторі) та

номер двигуна відповідають зазначеним у матеріалах (рис.2 та 3). Двері автомобіля, капот, кришка багажника, та кришка паливного бака не опечатані.

Двигун демонтовано з автомобіля до огляду (рис.4). Навісні агрегати та компоненти, зняті з двигуна, знаходяться у багажному відділенні автомобіля. До автомобіля було увімкнуто АКБ та зафіксовано показання одометра (рис.5), згідно з якими на момент огляду пробіг становить 17587 км.

Двигун надано для огляду у частково розібраному вигляді (рис.6):

- знято ГБЦ (розібрано 3 клапани, знято РВ)
- демонтовані впускний та випускний колектори, з ТКР

Під час проведення огляду демонтовано піддон двигуна. Далі демонтовано ШПГ – поршні з шатунами. При огляді деталей встановлено, що в демонтованому піддоні є забруднення у вигляді дрібного металевого пилу та стружки (рис.7 та 8). Маслоприймач в цілому чистий, але має забруднення, що застрягли на сітці (рис.9).

Під час огляду головки блоку циліндрів (рис.10) встановлено серйозні ушкодження:

- прогар в зоні передкамери 3-го циліндра до випускного сідла (рис.11),
- аналогічний за характером, але менший за глибиною та шириною прогар в зоні передкамери 2-го циліндра (рис.12),
- наскрізний прогар стінки на привалкової площині між камерами №№ 2 і 3 (рис.13), з поширенням зони прогару на сідло випускного клапана камери №3 і сідло впускного клапана камери №2.
- початкова фаза прогару у передкамери та випускного сідла 4-го циліндра (рис.14),
- надзвичайно сильна деформація (вдавлювання) місця контакту окантування прокладки ГБЦ на привалковій площині (рис.14),
- сліди плавлення на датчику температури, встановленому на бічній стінці ГБЦ у зоні між камерами №3 і 4 (рис.15). У датчика відсутня пластикова клемна частина,
- на стрижнях випускних клапанів задираки в нижній частині (рис.16), на робочій фасці сліди пухкого нагару (рис.17).

Головка блоку циліндрів перевірена на деформацію за допомогою лекальної лінійки (рис.18). Встановлено, що прогин площини досягає 0,4 мм у середній частині, глибина вдавлювання окантовки прокладки в привалкову площину досягає 0,7 мм.

Прокладка ГБЦ має прогар окантовки і основного матеріалу у 2-му і 3-му циліндрах, відповідно до зон прогару на ГБЦ (рис.19) і слідами прориву газів з циліндра в сорочку охолодження (рис.20). Крім того, на прокладці є сліди витікання ОЖ із сорочки охолодження (рис.21).

Циліндри блоку сильно пошкоджені:

- у верхній частині циліндра №3 задираки і значна кількість налиплого алюмінію, з поширенням пошкоджень і задир вниз (рис.22),
- аналогічні пошкодження в циліндрі №2, але кількість алюмінію менша (рис.23),
- ще менші ушкодження у циліндрі №4 (рис.24), тоді як і циліндрах №№ 1 (рис.25) і 5 (рис.26) ушкоджень практично немає.

Поршнева група має суттєво різний стан по циліндрам:

- поршень №1 у нормальному стані, незначні сліди нагароутворення та полірування нагару на вогневому поясі (рис.27), на внутрішній поверхні днища нагару майже немає,

- поршень №2 має знос та часткове руйнування антифрикційного покриття спідниці, сліди сильного нагріву та задири на вогневому поясі (рис.28), темний нагар на внутрішній поверхні днища,
- поршень №3 має сильні оплавлення і задираки у верхній частині, що розповсюджуються вниз, поршневі кільця завальцьовані в канавках, сліди припалу і сильного зносу на поршневих кільцях (мал.29), значний нагар на внутрішній поверхні днища свідчить про сильний нагрів
- поршень №4 має стан, аналогічний поршню №2 (рис.30),
- поршень №5 має стан, аналогічний поршню №1, але дещо більший знос спідниці (рис.31).

Здійснено вимірювання циліндрів ДВЗ у 3-х площинах (вгорі, середині та низу циліндра), по осі двигуна та поперек. Виміряно також спідниці поршнів. Дані вимірювань надані у табл.2.

Згідно з отриманими даними, в циліндрі № 3 є перевищення зазору поршня в циліндрі понад максимально допустимих значень внаслідок зносу та/або деформації спідниці поршня та циліндра. В інших циліндрах загалом зазор спідниці в циліндрі залишився в допустимих межах навіть незважаючи на серйозні пошкодження поршнів і циліндрів №№ 2 і 4 у верхній частині.

Впускний колектор має замаслювання і масляний нагар, крім циліндра №4 (рис.32), у випускному колекторі нагару немає (рис.33). Турбокомпресор загалом у нормальному стані (рис.34), дефектів компресора візуально не виявлено (рис.35), байпасний клапан працездатний, мембранний механізм приводу перевірено на герметичність за допомогою повітряного компресора (рис.36), дефектів не виявлено.

Табл. 2. Результати вимірювання деталей циліндропоршневої групи досліджуваного двигуна

№ циліндра	Спідниця поршня (10 мм від краю спідниці поршня), мм	Номін. розмір спідниці, мм	Діаметр циліндра по осі ДВЗ, мм	Діаметр циліндра поперек осі ДВЗ, мм	Номін. розмір циліндра, мм [1]	Зазор поршня в циліндрі, мм	Номін. / макс. припуст. зазор, мм [1]
1 верх	88,95	88,97	89,02	89,06	89,00-89,01	0,07-0,08	0,03/0,12
1 серед.			89,03	89,04			
1 низ			89,04	89,04			
2 верх	88,97		89,03	89,05		0,06-0,08	
2 серед.			89,04	89,05			
2 низ			89,04	89,05			
3 верх	88,90		89,00	89,07		0,10-0,17	
3 серед.			89,06	89,02			
3 низ			89,06	89,03			
4 верх	88,93		89,03	89,05		0.10-0.12	
4 серед.			89,04	89,04			
4 низ			89,04	89,04			
5 верх	88,94		89,03	89,04		0.09-0.11	
5 серед.			89,04	89,03			
5 низ			89,05	89,03			

Колінчастий вал і шатунні вкладиші загалом у робочому стані, є незначні ризики на шийках КВ від потрапляння частинок (рис.37).

Радіатор в цілому чистий, слідів течі рідини, що охолоджує, не виявлено (рис.38). У підкапотному просторі на кронштейні кріплення розширювального бачка і нижче на деталях кузова множинні сліди крапель висохлої рідини білястого кольору (рис.39). Аналогічні сліди на щиті моторного відсіку на шлангах обігрівача та системи кондиціювання (рис.40), причому добре видно, що рідина рясно стікала зі шлангів перед висиханням (рис.41). У розширювальному бачку чисто, на дні є сліди охолоджувальної рідини червоного кольору (рис.42). ПНВТ без зовнішніх ушкоджень (рис.43).

Після огляду всі деталі були зібрані позивачем і не опечатувалися.

2. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.

ЗМІСТ

2.1. Історія автомобіля на підставі даних, отриманих з матеріалів та під час огляду двигуна.
2.2. Аналіз технічного стану автомобіля та двигуна, отриманих при огляді.
2.3. Аналіз стану паливної апаратури досліджуваного двигуна.
2.4. Властивості палива, пов'язані із вмістом у ньому води.
2.5. Вивчення результатів експертних досліджень палива.
2.5.1. Різночитання у пробах палива.
2.5.2. Особливості процесу взяття проб палива з бака досліджуваного автомобіля та аналіз причин розбіжностей результатів досліджень.
2.6. Фільтрування води у паливній системі автомобіля.
2.7. Аналіз роботи досліджуваного двигуна при попаданні води з паливом у паливну апаратуру та двигун.
2.8. Процес надходження та сепарування води в досліджуваному двигуні.
2.9. Аналіз характеру пошкоджень та руйнувань досліджуваного двигуна.
2.10. Влаштування та робота системи охолодження досліджуваного двигуна.
2.11. Основні ознаки перегріву ДВЗ.
2.12. Процес перегріву досліджуваного двигуна.
2.13. Причини виникнення перегріву ГБЦ досліджуваного двигуна.
2.13.1. Нестаціонарне нагрівання стінки камери згоряння при порушенні охолодження.
2.13.2. Нестаціонарне нагрівання поршня в циліндрі при порушенні охолодження.
2.13.3. Визначення причин перегріву двигуна.
2.14. Дослідження режимів експлуатації двигуна перед відмовою.
2.15 Визначення вартості ремонту та запасних частин для відновлення досліджуваного двигуна.

2.1. Історія автомобіля на підставі даних, отриманих з матеріалів та під час огляду двигуна.

На підставі даних отриманих із матеріалів, копій з/н наданих власником та під час огляду складено історію автомобіля (табл.3).

Згідно з отриманими даними, найбільше значення для визначення причини відмови має з/н W4134493 від 08.07.2019, згідно з яким виконувалася діагностика течі робочих рідин та їх доливання. Це означає, що в автомобілі була виявлено витікання якоїсь рідини – охолоджувальної, гальмівної або гідропідсилювача керма.

Крім цього, привертає увагу той факт, що відбір проб палива з бака був проведений після досить великий термін зберігання палива в баку автомобіля з розібраним двигуном – 3,5 місяці. При цьому паливна система у зв'язку з демонтажем двигуна залишалася весь цей час відкритою і зазнавала впливу навколишнього середовища (температура і вологість). Додатково до зазначеної особливості зберігання палива паливна система залишалася відкритою у перехідний сезон (осінь), коли можлива висока вологість повітря внаслідок опадів та великих добових коливань температури.

2.2. Аналіз технічного стану автомобіля та двигуна, отриманих при огляді.

Табл. 3. Історія автомобіля.

№ п/п	Дата	Пробіг км.	Причина звернення	Виконавець робіт	Примітки
1	10.07.2010	--	Продаж	«ГЛ-Центр»	Запис в док. на автомоб.
2	31.07.2010	1517	ТО-1	ФОП Басів	з/н 4552
3	20.08.2010	3200	Заміна оливи та ФТО, протяжка	ТОВ «ТрейдКар-21»	з/н W4109228
4	03.10.2010	6011	Заміна оливи та ФТО, діагностика	ТОВ «ТрейдКар-21»	з/н W4112486
...	....	....	....	...	....
5	08.07.2019	16498	Діагностика течі робочих рідин, доливання робочих рідин	ТСК «АвтоГЕРМІС»	з/н W4134493
6	28.07.2019	17443 17587	Заправка паливом **Відмова ДВЗ**	«Агроцентр»	В акті огляду ТЗ вказано пробіг 17500 км. **Відмова сталася через 1000 км після доливання рідин**
7	14.11.2019	17587	Розбирання ДВЗ, Акт обстеження від 28.08.2011	«Агроцентр»	**Відбір проб здійснено через 3,5 місяці** після припинення експлуатації ТЗ

Проведений огляд, вимірювання та вивчення виконаних фотографій деталей двигуна дозволяють виявити наступні найбільш серйозні дефекти, пошкодження та поломки у досліджуваному двигуні:

1. Блок циліндрів:

• Циліндри двигуна №№2-4 у верхній частині мають налипання розплавленого металу з задирами, що розповсюджуються вниз, особливо значні в циліндрі №3.

2. Поршні та кільця:

• Поршні №2-4 мають сліди сильного нагріву вогневого поясу, на поршні №3 сліди оплавлення вогневого пояса.

• Поршневі кільця на поршні №3 завальцьовані та заклинені у канавках.

3. Головки блоку циліндрів та прокладка ГБЦ:

• Головка блоку циліндрів має найбільш значні пошкодження в зоні камери згоряння №3: вигоряння матеріалу між циліндрами №№ 2 і 3, наскрізний отвір на привалковій площині в сорочку охолодження з поширенням зони прогару до впускного сідла сусідньої камери №2, наскрізне вигоряння матеріалу в камері згоряння №3 у зоні передкамери з поширенням прогару до сідла випускного клапана.

• Вигоряння матеріалу в камері №2 між сідлом випускного клапана та передкамерою, аналогічний процес, але на початковій стадії спостерігається в камері №4.

• Деформація площини ГБЦ у зоні камер №№ 2 і 3, локальна пластична деформація (пром'яття) матеріалу на площині привалки в місці прилягання окантовки прокладки ГБЦ досягає 0,70 мм.

• Прокладка ГБЦ має значні пошкодження окантовки та основного матеріалу в циліндрах 2, 3 та 4, зі слідами прориву газів у систему охолодження та витікання ОЖ із сорочки охолодження.

• Датчик температури ГБЦ, встановлений між камерами №№ 3 і 4, має сліди розплавлення клемної частини.

• На випускних клапанах циліндрів №№ 2, 3 та 4 явні сліди перегріву на робочих фасках та ознаки температурного прихвату (заклинювання внаслідок перегріву) стрижнів у напрямних втулках.

Згідно з представленими даними, є наступні важливі особливості вищевказаних пошкоджень деталей досліджуваного двигуна:

1. Найбільш сильні пошкодження у ГБЦ локалізовані у зоні камери №3.

2. Ступінь пошкоджень ГБЦ зменшується від камери №3 у бік камер №1 та №4.

3. Аналогічний характер пошкоджень (ступінь пошкоджень зменшується від циліндра №3 в обидві сторони) є лише у верхній частині циліндрів та поршнів.

4. У нижній частині циліндрів пошкодження незначні або відсутні взагалі: спідниці всіх поршнів, зокрема поршня №3, мають мінімальні пошкодження.

Виходячи з отриманих даних, є всі підстави вважати, що в двигуні було **локальне джерело сильного теплового впливу, розташоване в середній частині ГБЦ у зоні камери згоряння №3**.

З іншого боку, з матеріалів відомо, що згідно з виконаними раніше експертизами, а також думкою виробника автомобіля, фірми SSANGYONG, причиною відмови є високий вміст води в паливі. Однак цілком очевидно, що будь-яке відхилення складу палива викликає загальний вплив через форсунки однаковим або близьким чином на всі циліндри та камери згоряння двигуна відразу, тому у випадку, якщо вода могла викликати прогар і руйнування, схожі або навіть однакові ознаки повинні були проявитися у всіх циліндрах.

У досліджуваному двигуні, навпаки, в крайніх циліндрах взагалі немає ознак перегріву і прогару деталей, тоді як у середній частині в 3-му циліндрі локалізована зона найбільших і дуже сильних руйнувань. Така виборча дія палива неможлива в принципі та суперечить всій практиці експлуатації та ремонту ДВЗ. Тому, виходячи тільки з однієї цієї особливості відмови, можна відразу стверджувати, що в досліджуваному двигуні **відмова не могла бути викликана будь-яким загальним процесом у вигляді однакового впливу відразу на всі циліндри (у тому числі підвищеним вмістом води в паливі), а відбулася внаслідок якогось суто локального процесу в середній частині двигуна**.

2.3. Аналіз стану паливної апаратури досліджуваного двигуна.

Оскільки всі деталі паливної апаратури зберігалися разом з автомобілем протягом 2-х років і піддавалися впливу несприятливих кліматичних факторів (конденсація вологи) за відсутності консерваційних заходів (як того вимагає виробник паливної апаратури фірма Бош), дослідження стану ДПА є недоцільним внаслідок її неминучості. та непрацездатності.

Перевірка паливного фільтра на наявність води також не проводилася у зв'язку з тим, що фільтр був демонтований і тривалий час зберігався в довільному положенні з відкритими патрубками, в результаті чого кількість води в ньому з високим ступенем ймовірності не відповідає стану на момент відмови.

2.4. Властивості палива, пов'язані із вмістом у ньому води.

Оскільки в матеріалах є результати досліджень властивостей палива, висновки експертиз та інші документи, що обґрунтовують прогар і відмову ДВЗ в результаті використання палива з підвищеним вмістом води, необхідно визначити, в якому вигляді вода міститься в паливі, і як умови зберігання палива впливають на вміст ньому води.

У загальному випадку вода в паливі може перебувати в 3-х станах – вільному, емульгованому та розчиненому.

Вода у вільному стані, що потрапила в паливо, практично не поєднується з ним, осідає на дно місткості як найважча фракція і розташовується там окремим шаром на дні у вигляді конденсату (відстійної води).

Емульсія води з паливом (емульгована вода) є надзвичайно дрібними крапельками води, рівномірно розподіленими (диспергованими) по всьому обсягу палива. Паливо з емульгованою водою називається обводненим паливом.

Емульсія зазвичай утворюється при попаданні води в паливо та подальшого сильного перемішування (наприклад, у насосі), а також при зниженні температури та вологості повітря в баку, коли відбувається виділення розчиненої води з палива.

Емульгована вода є певною небезпекою – прискорює процеси корозії, збільшує схильність до накопичення забруднень, погіршує змащувальну здатність палива, причому виявити та видалити її надзвичайно важко.

Емульгована вода може бути видалена тільки нагріванням до 50-60^{0}С та тривалим відстоюванням. При експлуатації автомобіля в літній (спекотний) період виникають умови, близькі до зазначених – паливо нагрівається при стоянці автомобіля до 40^{0}С і навіть вище, при цьому в процесі стоянки йде процес відстоювання палива, що поступово призводить до випадання емульгованої води на дно паливного бака та стінки трубопроводів у вигляді конденсату, який при подачі з бака сепарується та осідає у відстійнику паливного фільтра. При тривалому зберіганні обводненого палива у спекотний період, таким чином, обводнене паливо поступово втрачає емульговану воду, а кількість конденсату на дні паливного бака збільшується.

Під час експлуатації на обводненому паливі відмічено зниження теплової напруженості двигуна внаслідок зменшення теплоти згоряння такого палива. Одночасно з цим відзначається поліпшення ефективності випаровування і згоряння палива у зв'язку з більш дрібним його розпорошенням і швидким випаром у присутності води, що випаровується, а також зниження токсичності вихлопних газів, головним чином, оксидів азоту, внаслідок зменшення температури згоряння.

Проте головна небезпека емульгованої води проявляється взимку. У зимових умовах емульгована вода замерзає з утворенням кристалів льоду, які швидко забивають паливний фільтр. Однак у зв'язку з тим, що відмова двигуна відбулася влітку, особливості зимової експлуатації виходять за рамки цього експертного дослідження і надалі не розглядаються.

Вода у розчиненому стані потрапляє у паливо внаслідок його природної гігроскопічності, яка залежить від хімічного складу палива, а також від температури, тиску та вологості повітря. Розчинена вода знаходиться у вигляді молекул і безпосередньо пов'язана із молекулами палива. Якогось впливу на роботу паливної апаратури двигуна така вода не робить. Кількість розчиненої води залежить від вуглеводневого складу палива: більш гігроскопічні ароматичні вуглеводні, потім йдуть ненасичені, нафтенові та парафінові.

Концентрація розчиненої води вкрай мала, трохи більше ніж 0,003% (3 мг/л), і прямо пропорційна вологості повітря у місткості, причому вода, розчинена у паливі, перебуває у

стані рівноваги з парами води повітря. При надлишку розчиненої води понад 0,003% вона перетворюється на емульсійну воду.

Розчинність води залежить від зовнішніх умов. **При зміні вологості повітря відбувається природна зміна вмісту розчиненої води у паливі**. Тобто вміст води в паливі прямо залежить від вологості, яка, своєю чергою, залежить від температури. При надлишку розчиненої води більше ніж 0,003% розчинена або гігроскопічна вода переходить в емульговану воду. У результаті зниження вологості відбувається виділення води з палива як крапель, які поступово осідають на дно місткості. І навпаки, у разі підвищення вологості відбувається природне поглинання води з повітря паливом.

Значний вплив на вміст розчиненої води у паливі надає температура. При зниженні температури розчинність води падає, частина розчиненої води виділяється як крапельок, які за негативних температурах утворюють у паливі кристали льоду, здатні забити паливний фільтр.

Таким чином, виходячи із зазначених особливостей та властивостей палива, можна зробити такі попередні висновки:

1) у паливі в силу його гігроскопічності завжди є розчинена вода в дуже малих кількостях,
2) за певних умов можливе обводнення палива, при якому в паливі присутні дрібні дисперговані краплі води,
3) при роботі двигуна в теплу пору року на обводненому паливі про жодні прогари, пов'язані з водою, в практиці експлуатації дизелів невідомо,
4) обводнене паливо, навпаки, викликає не збільшення, а зниження теплоти згоряння палива,
5) при зберіганні палива в баку кількість води в паливі безперервно змінюється, при цьому в теплу пору року емульсія поступово видаляється з палива у вигляді конденсату, що осідає на дно бака,
6) кількість розчиненої в паливі води мало і залежить виключно від умов зберігання палива, а саме від поточної (на момент перевірки) температури та вологості повітря в баку.

Усі перелічені особливості вмісту води у паливі показують, що **з забезпечення працездатності дизельних двигунів вода має попадати у паливну апаратуру і двигун. Для цього двигуни в обов'язковому порядку обладнають спеціальними фільтрами тонкого очищення, що затримують воду, що міститься в паливі.**

2.5. Вивчення результатів експертних досліджень палива.

У зв'язку з тим, що в матеріалах значна кількість матеріалів присвячена дослідженню та обговоренню якості палива, заправленого позивачем на АЗС відповідача, а також у зв'язку з явними суперечностями в результатах дослідження палива, необхідно дати технічну оцінку проведених досліджень та з'ясувати, чи було причинний зв'язок між можливим відхиленням палива від вимог стандартів та відмовою двигуна.

2.5.1 Різночитання у пробах палива.

У матеріалах в Акті відбору проб палива зазначено, що проби відбиралися у 2 пластикові ємності обсягом по 1л. Позивач надав ці проби палива в дві різні організації для дослідження. Результати дослідження занесені до табл.4:

Табл. 4. Результати досліджень палива.

№	Показник	Метод	Результат НПО «Центр Судових Експертиз»	Норма з НД відповідності	Результат Хіміко-аналітичної лабораторії	Норма з НД відповідності
1	**Цетанове число, не менше**				54	51
2	**Щільність при 20^{0}С, кг/м^3 (ДСТУ 4488:** 2005)	АСТМ Д 4052	828,6	860		
3	**Температура спалаху в закритому тиглі, ^{0}С, вище**	ЕН ИСО 2719	65	55	55	70
4	**Вміст води, мг/кг, трохи більше**	IP 438	280	200	988	200
5	**Фракційний склад:** **Переганяється до 250 ^{0}С, не менше** **Переганяється до 350 ^{0}С не менше** **95% переганяється за температури**	ЕН ИСО 3405	 45 98,5 355,0	 65 85 360	 65 85 360	 38 -- 346
6	**Щільність при 15°С, кг/м^3**				830	820-845

Подані дані показують, що є суттєві невідповідності та розбіжності в результатах досліджень, виконаних в НПО «Центр судових експертиз» та Хіміко-Аналітичної лабораторії, хоча досліджувалося те саме паливо, взяте з бака конкретного автомобіля.

Так, висновок про те, що фракційний склад палива не відповідає ЄП ІСО 3405, зроблений експертом НПО «Центр судових експертиз», є необґрунтованим та помилковим, оскільки фракційний склад палива, навпаки, насправді повністю відповідає ЄП ІСО 3405.

З іншого боку, незважаючи на те, що проби бралися одночасно, у них суттєво відрізняється такий важливий параметр, як наявність води. У дослідженні НПО «Центр судових експертиз» перевищення становить 80 мг/кг палива, тоді як результати досліджень, у Хіміко-Аналітичної лабораторії дають перевищення вже 788 мг/кг, тобто. майже вдесятеро більше.

Якщо припустити, що паливо в баку автомобіля дійсно неякісне, дані, надані різними лабораторіями, можуть мати похибку, що знаходиться в межах точності вимірювального обладнання, тобто. близько 5-7%. **Наявність десятикратної різниці у перевищенні кількості води в паливі в одночасно відібраних пробах палива у досліджуваному автомобілі може бути пояснена лише некоректністю взяття проб палива**. Основною помилкою є недотримання пункту “4.1. Перед пакуванням пробу нафти чи нафтопродукту перемішують. Пробу розливають у чисті сухі скляні пляшки. Пляшку заповнюють не більше ніж на 90% місткості» (ДСТУ 4488: 2005 «Нафта та нафтопродукти. Методи відбору проб»).

2.5.2 Особливості процесу взяття проб палива з бака досліджуваного автомобіля та аналіз причин розбіжностей результатів досліджень.

Необхідно розглянути причини, які можуть спричинити такі помилкові результати при відборі палива.

1. **Неправильно, не відповідно до ДСТУ 4488: 2005, підготовлена проба палива**. Проба, відібрана в різні місткості, перемішується і розливається в потрібну кількість

місткостей для проведення випробувань. У разі послідовного відкачування з бака палива безпосередньо в місткості для проб перша з них може мати істотно більший вміст води, ніж друга, оскільки на дні бака завжди збирається конденсат, кількість якого може бути значною внаслідок тривалого та неправильного зберігання палива.

2. **Непідготовлені згідно з ДСТУ 4488:2005 місткості для відбору палива**. Місткість для відбору проб палива має бути виготовлена з нейтрального матеріалу стосовно нафтопродукту та ретельно висушена. Однак, як відомо з матеріалів, проба палива відбиралася в місткості з-під дистильованої води, при цьому жодних відомостей щодо видалення води з місткостей для випробовування проб немає. Водночас наявність води в літровій місткості в кількості всього лише 0,7 грама (така кількість води легко залишається на стінках і в поглибленнях на дні тари після її довільного спорожнення) призведе після збовтування місткості до виявлення води в надзвичайно високих кількостях, що цілком відповідають граничному результату в 988 мг/кг, отриманому в Хіміко-Аналітичній лабораторії.

3. **Помилково поставлена мета дослідження палива**. Дві абсолютно однакові та взяті одночасно проби повинні давати та абсолютно однакові результати. Однак були отримані два абсолютно різні результати при дослідженні палива. Це може бути пояснено не тільки неправильною підготовкою місткостей для проб, але й помилково поставленою метою дослідження – при зберіганні палива у відкритій паливній системі та в не повністю заповненому баку протягом 3,5 місяців у перехідний осінній період неможливо визначити вихідний вміст води в паливі, яке було за 3,5 місяці до взяття проби – внаслідок природної зміни кількості розчиненої у паливі води та виділення та осадження емульгованої води. Метою подібного дослідження може бути лише визначення поточного стану палива з метою оцінки придатності його до подальшого використання.

Причина неможливості оцінки вихідного стану палива полягає в утворенні в паливному баку конденсату, що виникає внаслідок тривалого зберігання в невідповідних умовах (відкрита паливна система, неповне заповнення паливного бака). Згідно з наявною у матеріалах Акта відбору палива для проведення експертизи від 14.11.2019, відбір проводився 14 листопада 2019 року при температурі 0^0С, коли від моменту заправки паливом до відбору проб минуло 3,5 місяці. За період зберігання паливо в баку автомобіля, заповненому на ¾ об'єму, піддавалося природним впливам природного характеру. Так, за час зберігання палива температура повітря змінювалася в межах від $+30^0$ до -6^0С (нічні температури на липень-листопад 2019 року), а добові коливання температури від максимуму до мінімуму досягали 15^0С. Такі зміни зовнішніх умов при зберіганні у відкритій системі **неминуче призводять до утворення конденсату в паливному баку у вигляді крапель, які щодня стікають зі стінок палива**.

При недотриманні всіх вищезазначених умов результати дослідження виходять недостовірними, оскільки за ними неможливо сказати, скільки ж води насправді міститься в паливі на момент відбору палива в баку автомобіля, і скільки води утримувалося там на момент відмови за 3,5 місяці до відбору. Таким чином, помилкове формулювання завдання дослідження, невстановлені умови відбору проб та очевидна суперечливість результатів аналізу по воді говорять про недостовірність та помилковість отриманих результатів аналізу палива в цілому.

Як відомо з ремонтної практики, при тривалому зберіганні автомобіля з частково заповненим паливним баком кількість води (конденсату) може досягати значних величин (1 літр і більше), що пов'язано з періодичним щодобовим утворенням конденсату на стінках усередині бака при перепадах температури та стіканням крапель води стін у паливо. Значна кількість води, що утворюється, зобов'язує вдаватися до спеціальних заходів для забезпечення

подальшої працездатності автомобіля. Це зняття, промивання та просушування паливного бака гарячим сухим повітрям.

У більшості сучасних автомобілів, що експлуатуються, пристрій паливного бака такий, що трубка паливоприймача розташована в спеціальному поглибленні на дні паливного бака. Трубка паливоприймача не дістає до днища близько 1-1,5 см. Оскільки вода важча дизельного пального, вона осідає на дні місткості, опускається в нижню точку паливного бака і накопичується саме там, звідки здійснюється забір палива з бака.

Паливна система досліджуваного автомобіля влаштована таким чином, що при виробленні палива з бака його обсяг вище за рівень палива заповнюється атмосферним повітрям. При зберіганні автомобіля при зміні погодних умов повітря, що має природну вологість і знаходиться в паливному баку в кількості ¼ від місткості бака (близько 17,5 літрів), постійно заміщається – при підвищенні температури він розширюється і виходить з бака, а при зниженні температури, навпаки, надходить у бак. Внаслідок цього відбувається природна вентиляція надпаливного простору в паливному баку. Виробники автомобілів намагаються мінімізувати процеси заміщення повітря у надпаливному просторі паливного бака спеціальними засобами, виконуючи конструкцію паливної системи закритою та сполученою з атмосферою лише у разі великого перепаду тиску. Однак паливна система досліджуваного автомобіля при демонтажі двигуна не герметизувалась, тому процес заміщення повітря в ній проходив досить інтенсивно.

Таким чином, у паливному баку автомобіля, що стоїть на стоянці, цілком могло утворитися достатня кількість конденсату для того, щоб перша проба палива, відкачана з бака через паливоподаючу трубку, мала підвищений вміст води. Після цього паливо, насичене водою, у заглибленні біля паливоприймача в паливному баку заміщається відносно нормальним паливом з верхніх шарів. Тому друга проба цілком могла мати вміст води у 5-10 разів менше. Якщо припустити, що в подібних умовах буде взято відразу і третю пробу палива, то вміст у ній води вже може не перевищити нормальних значень.

Даний приклад показує, що при тривалому зберіганні автомобіля, особливо з відкритою паливною системою, необхідно враховувати підвищене утворення конденсату. Для подібних випадків дослідження вмісту води в паливі з метою виявити якийсь вихідний стан палива за 3,5 місяці до дослідження взагалі некоректне в принципі, оскільки отримані результати взагалі не можуть відповідати вмісту води на момент його заправлення. Але навіть у разі дослідження даного параметра, наприклад, з метою оцінки якості палива для його подальшого використання, відбір проб повинен виключати попадання конденсату в пробу, для чого необхідно заздалегідь завантажити частину палива, яке може містити конденсат, і тільки після цього виконати відбір проб з дотримання всіх необхідних правил.

Таким чином, взяття проб палива з неповністю заповненого бака досліджуваного автомобіля з розібраною паливною системою після тривалої стоянки протягом 3,5 місяців у тару, що не пройшла теплової обробки, без попереднього звантаження частини палива, що містить конденсат, без перемішування відібраного палива та без фіксації умов Проведення відбору в акті не може вважатися коректним. **Дослідження вмісту води в паливі, що зберігалося в сполученому з атмосферою бака протягом декількох місяців у перехідний сезон при значних коливаннях температури, може мати на меті лише оцінку якості даного палива для подальшого використання, а ніяк не здійснюватися з метою оцінки вихідного його стану на момент заправки в бак за 3,5 місяці до відбору проби**.

Внаслідок зазначених причин усі виконані раніше в НПО «Центр Судових експертиз» та в Хіміко-Аналітичній лабораторії дослідження палива щодо висновків про вміст води є повністю недостовірними і не відповідають вихідному стану палива на момент заправки автомобіля.

2.6. Фільтрування води в паливній системі автомобіля.

Як відомо, елементи ДПА, зокрема ПНВТ та розпилювачі форсунок, змащуються паливом. Для того, щоб забезпечити надходження чистого палива до прецизійних пар, на вході до ДПА завжди ставиться паливний фільтр тонкого очищення (ФТО).

Фільтр виконує 3 основні функції:

1) очищує паливо від дрібних механічних частинок,

2) відокремлює (сепарує) воду від палива, якщо паливо містить воду у вільному або диспергованому стані,

3) зберігає відокремлену від палива воду з метою недопущення її проходження до ДПА.

Для виконання 1-ї функції паливний фільтр має спеціальний фільтроелемент, який перешкоджає проходу дрібних частинок до ДПА. Для забезпечення 2-ї та 3-ї функцій фільтр, крім спеціальних водовідштовхувальних властивостей фільтроелементу, забезпечується і спеціально профільованим відстійником, в який потрапляє і де осідає вода, що міститься в паливі, що проходить фільтр.

У сучасному автомобілі при двигуні, що працює, паливо забирається з паливного бака паливним насосом і подається через паливний фільтр до паливної апаратури ДВЗ. Надлишки палива з паливної апаратури зливаються назад у бак через зворотну магістраль. У двигунів Mercedes-Benz серії OM601-603 (до цієї ж серії відноситься і досліджуваний двигун) насос, що підкачує, забезпечує прокачування палива через фільтр і повернення його в бак в кількості до 1 літра у хвилину при роботі на холостому ходу.

Очищення палива від води в паливному фільтрі здійснюється у фільтрувальному елементі з багатошарових синтетичних матеріалів, який має водовідштовхувальні властивості та не пропускає воду, значна частина якої затримується, відокремлюється від палива в спеціальному сепараторі та стікає у відстійник. Завдяки цьому **паливний фільтр відокремлює не менше 90-95% води, що знаходиться в паливній системі, включаючи вільну та емульговану** (розчинену в паливі воду паливний фільтр взагалі не затримує, але кількість цієї води нехтує мало порівняно з іншими видами води в паливі).

Вода при стіканні збирається у відстійник паливного фільтра та поступово заповнює його. Час (пробіг) до заповнення відстійника фільтра водою залежить від об'єму відстійника та кількості води, що міститься в паливі – чим менше об'єм та більше води, тим раніше заповниться відстійник фільтра.

Паливний фільтр досліджуваного автомобіля здатний за своїми характеристиками в середньому режимі затримати таку кількість води, яка утворюється в системі при середньостатистичному пробігу, що дорівнює інтервалу заміни паливного фільтра (близько 20000 км). Тобто, за деякого середнього вмісту води в паливі обсяг відстійника достатній для затримки води протягом заданого пробігу.

У разі, якщо води в паливі більше, ніж це допустимо, а також при несвоєчасній заміні фільтра відстійник може бути переповнений, внаслідок чого вода у вільному стані почне надходити до ПНВТ та форсунок (на частині дизельних двигунів у паливному фільтрі встановлено спеціальний сигналізатор, що повідомляє водію, що у паливі з'явилася вода, проте досліджуваний автомобіль такою системою не обладнаний).

Виходячи з цих принципів, у паливній системі двигуна відбувається:

1) **практично повне відокремлення води від палива незалежно від кількості води**, що міститься у паливі у вільному та/або диспергованому вигляді – до моменту повного заповнення відстійника паливного фільтра. При цьому абсолютно незалежно від вмісту води в паливі вода в диспергованому або вільному стані до елементів ДПА не надходить,

2) **повне проходження через фільтр до ДПА всієї розчиненої в паливі води**, кількість якої зневажливо мала в порівнянні з можливою кількістю вільної та диспергованої води, внаслідок чого вплив даного виду води на процеси в ДПА та двигуні можна не враховувати,

3) **надходження вільної води разом із паливом до ДПА** – але у разі переповнення відстійника паливного фільтра водою. В цьому випадку тиском підкачування насоса воду продавить через фільтроелемент.

Таким чином, **сам факт наявності вільної та диспергованої води в паливному баку в тих чи інших кількостях ще не говорить про можливість виникнення будь-яких несправностей або порушення роботи двигуна, оскільки для здійснення будь-якого впливу на двигун вода не тільки повинна потрапити в паливо, що знаходиться в баку, але і пройти паливний фільтр і потрапити до елементів ДПА**.

2.7. Аналіз роботи досліджуваного двигуна при попаданні води з паливом у паливну апаратуру та двигун.

Для відповіді на запитання, поставлені перед експертом, необхідно розглянути, як впливає вода у паливі на двигун досліджуваного автомобіля та його паливну апаратуру у разі переповнення паливного фільтра водою. Очевидно, при цьому вода, що надходить у фільтр з паливом, вже не сепаруватиметься, затримуватиметься відштовхувальними шарами фільтроелементу і стікатиме у відстійник, а продавлюватиметься тиском підкачування насоса і надходитиме до ДПА.

Існують **3 види впливу води на роботу ДПА при попаданні води в ПНВТ та форсунки**:

1) безпосередній вплив води на роботу паливної апаратури внаслідок відсутності у води змащувальних властивостей,

2) корозійний вплив води на сталеві деталі плунжерних пар ДПА та розпилювачів форсунок.

3) безпосередній вплив води на процес згоряння при надходженні її з паливом у форсунки.

Безпосередній вплив води на роботу паливної апаратури внаслідок відсутності у води змащувальних властивостей характеризується такими ознаками:

1. Нерівномірність у роботі ДПА.
2. Стук від роботи розпилювачів форсунок (зависання розпилювачів).
3. Значна втрата потужності.
4. Димність вихлопу.
5. Проблема або навіть неможливість запуску.
6. Заклинювання та відмова плунжерної пари ПНВТ, зупинка двигуна.

При порушенні роботи ДПА внаслідок безпосереднього впливу води відбувається в 1 чергу підклинювання плунжерних пар (вода не має змащувальних властивостей), порушення процесу подачі та згоряння – паливо подається неправильно, в результаті не розпорошується форсунками, не займається і не згоряє належним чином, створюючи димність вихлопу, втрату потужності та стукіт. Продовжувати рух автомобіля із високою швидкістю стає неможливо. При цьому прогар деталей малоймовірні або навіть неможливі у зв'язку з малою кількістю тепла, що виділяється в камерах згоряння при таких порушеннях процесу згоряння.

З іншого боку, відомі порушення роботи ДПА, які спричиняють прогар деталей. Відповідно до досвіду експлуатації надзвичайно великої кількості дизелів, узагальненого виробниками компонентів дизельних двигунів – всесвітньо відомими німецькими фірмами Mahle та Kolbenschmidt, за наявності несправностей ДПА основне теплове навантаження

припадає не стільки на головку блоку циліндрів, скільки на поршень, в якому виникають задираки та плавлення. При цьому ніяких прогарів у ГБЦ не відзначається, що має логічне пояснення – умови охолодження високотеплопровідних алюмінієвих стінок ГБЦ, що безпосередньо омиваються ОР, істотно краще, ніж умови охолодження днища поршня, який охолоджується, головним чином, передачею тепла через поршневі кільця. циліндра. Однак ніяких прогарів поршнів у досліджуваному двигуні не зазначено, а сліди оплавленого алюмінію на вогневому поясі поршня №3 швидше пов'язані не з плавленням днища, а з попаданням розплавлених частинок алюмінію з ГБЦ.

Подальше **заклинювання плунжерних пар** при надмірній кількості води може мати миттєвий характер, проте йому завжди передує ті чи інші порушення процесу згоряння, що викликають зазначені вище ознаки втрати потужності, підвищення димності, стукіт і т.д.

Всі перелічені вище ознаки №№ 1-5 безпосереднього впливу води на ДПА і заклинювання плунжерних пар взагалі не відзначені на досліджуваному автомобілі після його заправки – позивач продовжив рух і розвивав при цьому значну швидкість (див.нижче), що говорить про відсутність будь-яких ознак, які можна було б пов'язати з прямим впливом води, аж до моменту відмови двигуна.

Іншими словами, прямий вплив води спричиняє порушення роботи ДПА, погіршення згоряння, падіння потужності та неможливість рухатися з високою швидкістю, а якщо автомобіль все ж таки розвиває значну швидкість, і при цьому згоряння палива відбувається настільки ефективно, що на деталях виникли прогари, то це говорить лише про відсутність впливу води.

Таким чином, ознаки прямого впливу води не відповідають ознакам несправності двигуна, потрапляння води в паливну апаратуру та двигун не є причиною відмови.

Наявність великої кількості води в паливі викликає корозію сталевих деталей, головним чином прецизійних плунжерних пар ДПА. Корозійна дія води на сталеві деталі плунжерних пар має ознаки, практично повністю аналогічні до прямої дії води, проте відмови виникають не від відсутності мастильних властивостей у води, а від корозії деталей, втраті ними рухливості внаслідок їх розмірної зміни та подальшого заклинювання:

1. Нерівномірність у роботі ДПА.
2. Стук від роботи розпилювачів форсунок (зависання розпилювачів).
3. Втрата потужності.
4. Димність вихлопу.
5. Труднощі або навіть неможливість запуску
6. Відмова плунжерної пари ПНВТ внаслідок корозії та заклинювання.

Відмінність корозії від прямої дії води полягає в п.6 – при попаданні великої кількості води в ДПА заклинювання плунжерної пари можливе при роботі двигуна і русі автомобіля, у той час, як при корозії деталей заклинювання і відмова виникає, як правило, при запуску двигуна після тривалої стоянки автомобіля.

Причина того, що корозія не призводить до раптової відмови ПНВТ при роботі двигуна, полягає в тому, що для виникнення корозії потрібен значний час впливу води, що вимірюється цілодобово або навіть місяцями, що пов'язано з відсутністю кисню повітря у внутрішніх порожнинах ПНВТ та форсунок, заповнених паливом.

Швидкість корозії сталі у питній воді залежить багатьох чинників, у своїй однією з основних є наявність кисню повітря, який буде необхідний реакції окислення заліза. В результаті виходить гідрооксид заліза (іржа) – гідратований окис заліза. Хімічна формула іржі – $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ (іноді пишуть просто Fe_2O_3).

Залізо в кислому середовищі з показником pH > 5,5 утворює важкорозчинний гідрат закису заліза, що має білий колір:

Fe_2+mH_2O + 2OH- = mH_2O + $Fe(OH)_2$↓.

При взаємодії гідрату закису заліза з розчиненим киснем у воді утворюються ще більш важкорозчинна сполука – гідрат окису заліза (бурий колір):

$2Fe(OH)_2$ + 1/2 O_2 + H_2O = $2Fe(OH)_3$↓.

Вторинні продукти корозії (**$Fe(OH)_2$** і **$Fe(OH)_3$**) можуть і надалі перетворюватися з утворенням гідратованих оксидів $FeO•Fe_2O_3•nH_2O$ – іржі.

З наведених рівнянь видно, формування продуктів корозії обумовлено одночасною наявністю води та кисню повітря. Очевидно, відсутність повітря знижує швидкість корозії, але не виключає її повністю, оскільки кисень міститься у воді у розчиненому вигляді.

Прискорення процесу корозії може дати сірка, що міститься у паливі. В цілому корозійна агресивність дизельного пального, пов'язана з сіркою та її сполуками, стосовно металу паливної апаратури незначна, оскільки активна група сірчистих сполук (сірчистий і сірчаний ангідриди SO_2 і SOз), утворюються вже після розпилювання палива форсунками при згорянні палива у двигуні. Однак присутність у паливі так званої меркаптанової сірки (сірководень H_2S та його похідні) у присутності води та кисню повітря різко прискорює корозію та знос плунжерних пар ПНВТ та голок розпилювачів форсунок. Тому вміст меркаптанової сірки допускається в паливі в дуже малих кількостях, і до того ж даних з'єднань в паливі досліджуваного двигуна за результатами аналізу у 2-х незалежних лабораторіях не зазначено. Таким чином, сірка більше впливає на корозію, знос і довговічність деталей самого двигуна, ніж паливної апаратури, у зв'язку з чим докладний розгляд даного питання виходить за рамки цього експертного дослідження.

Усі зазначені хімічні процеси корозії є порівняно повільними, які потребують значного часу. При звичайній експлуатації корозія не може виникнути раптово на взаємно рухомих деталях паливної апаратури двигуна, що працює, оскільки безперервне омивання поверхонь паливом перешкоджає тривалому контакту поверхонь з водою. Однак при двигуні, що не працює, деталі знаходяться в нерухомому стані, при якому краплі води мають можливість тривалого впливу на поверхні. Внаслідок цього корозія на деталях ДПА має характерний точковий характер – у місцях безпосереднього, тривалого та нерухомого контакту з дрібними краплями води.

Спочатку на поверхні плунжерних пар у місцях контакту з водою утворюється надзвичайно тонка, товщиною частки мікрона плівка корозії. Якщо стоянка автомобіля не є тривалою (не тижні та не місяці), то при наступному запуску корозійна плівка стирається з поверхні деталлю у відповідь. У плівці знаходяться дрібні частки окису заліза, що мають абразивну дію. Крім того, перетворення заліза в окис та подальше видалення окису призводить до зменшення розміру деталі. У результаті виникає так званий корозійний знос пар, що труться, що викликає помітне зменшення їх ресурсу.

Очевидно, цей вид впливу води на ДПА ніколи не носить миттєвого характеру, не може виникнути раптово протягом хвилин чи годин і впливає, головним чином, лише на ресурс ДПА, що становить сотні тисяч кілометрів пробігу та тисячі годин роботи. Виходячи з цього, **корозійна дія води за надмірно короткий для виникнення корозії проміжок часу в 1 годину 22 хвилини з моменту заправки до відмови та при двигуні, що працює неможливо в принципі та не є причиною несправності**.

Відповідність причинно-наслідкового зв'язку відмови двигуна з корозією деталей ДПА від попадання води підтверджує також той факт, що **ознаки несправностей від корозії паливної апаратури при попаданні води не відповідають ознакам несправності досліджуваного двигуна**.

Внаслідок зазначених причин **корозія паливної апаратури досліджуваного двигуна від попадання води під час заправки обводненого палива та подальшої безперервної роботи двигуна неможлива і не є причиною відмови двигуна**.

Безпосередній вплив води на процес згоряння при надходженні її з паливом у форсунки дає такі ознаки:

1) підвищення ефективності згоряння,

2) зниження максимальної потужності,

3) зниження витрати палива,

4) зниження теплонапруженості (температури) деталей,

5) зниження токсичності вихлопу.

Якщо вода при працездатної ДПА в помітних кількостях потрапляє у двигун, вона знижує температуру процесу в КЗ двигуна, оскільки вода не горить, а, навпаки, вимагає витрат енергії для переходу з рідкого стану в парову фазу. Цей ефект проявляється відразу, як вода починає надходити до форсунок у підвищеній кількості.

Вода грає також позитивну роль кінетиці хімічних реакцій окислення вуглеводнів палива. Збільшення вмісту води в паливі сприяє підвищенню ефективності згоряння через краще дроблення і випаровування палива внаслідок позитивної дії води, що випаровується, але лише до певної межі, поки цей ефект перевищує від'ємний вплив води на температуру в зоні реакції коштом прихованої теплоти випаровування – відбувається очевидне зниження температури у КЗ. Останнє обумовлюється підвищенням витрат теплоти на випаровування води. Зі збільшенням вмісту води в паливі ці витрати швидко зростають і їх вплив на розвиток окислювальних процесів та зниження температури робочого тіла стає відчутним.

З іншого боку, необхідно відзначити, що випаровування води в повітрі, що надходить у циліндри, призводить до падіння температури повітря на впуску, що при незмінному тиску веде до зростання щільності повітря, що входить в циліндр. При цьому охолодження повітря зумовлює вищі антидетонаційні характеристики палива (у бензинових двигунів) і меншу температурну напруженість. На цьому навіть заснований ефект форсування (підвищення потужності) ДВЗ шляхом примусової подачі води, який широко застосовувався у минулому на потужних авіаційних двигунах для злітних режимів.

Таким чином, виходячи з вищесказаного, збільшення кількості води в паливі не тільки не може призвести до перегріву і прогар в ДВЗ, а навпаки, прямо веде до зменшення його температурної напруженості, що практично виключає можливість будь-яких прогарів у двигуні.

Крім цього, у світовому двигунобудуванні існує маса прикладів експлуатації дизельних двигунів на так званій водопаливній емульсії (ВДЕ). Даний тип палива застосовується в Німеччині, фактично є надзвичайно сильно обводненим паливом і припускає, що вода за допомогою спеціальних добавок міститься в емульгованому вигляді в кількості до 20% (!) загального обсягу. Така велика кількість води, яка перевищує встановлену в Хіміко-Аналітичній лабораторії приблизно у 200 разів, не тільки не викликає прогоряння будь-яких деталей, але навіть не призводить до заклинювання плунжерних пар. Навпаки, для даного виду палива характерне суттєве зниження теплової навантаженості дизелів і помітне поліпшення екологічних характеристик, що робить його перспективним як альтернативу традиційним видам дизельного пального.

Таким чином, **висновок про те, що наявність води в паливі призвело до якихось прогарів у ГБЦ досліджуваного автомобіля та інших пошкоджень, що не відповідає наявним ознакам несправності, суперечить практиці і є цілком хибним.**

2.8. Процес надходження та сепарування води в досліджуваному двигуні.

Розрахуємо, скільки води міг затримати паливний фільтр тонкого очищення досліджуваного двигуна при заправці обводненим паливом.

Загальний обсяг відстійника паливного фільтра для багатьох дизелів зазвичай становить 0,5-1,0 л. Приймемо, що фільтр досліджуваного двигуна має об'єм відстійника 0,5 л. Допустимо також, що при заправці паливо містило воду в максимальній кількості 1000 мг/л або 1 $см^3$/л (що перевищує навіть результати аналізу хіміко-аналітичної лабораторії). Кількість палива, заправленого в бак, становить 61,47 л, відповідно до цього припустимо, що в бак надійшло 61,47 $см^3$ води.

Витрата палива легкового автомобіля під час руху трасою оцінимо в 7 л на 100 км пробігу, а сам пробіг від моменту заправки до відмови – 144 км. Виходячи з цих даних, отримаємо, що за 144 км автомобіль витратив 7х144/100 = 10,1 л палива.

Час руху автомобіля на цій ділянці склав, згідно з матеріалами 12:00 – 10:38 = 1 година 22 хвилини. За цей час паливний насос із подачею 1 л/хв перекачав із бака через фільтр у зворотну магістраль 82 л палива, а також подав ще 10,1 л у двигун – тобто. через фільтр пройшло лише 92 л палива.

Допустимо, разом із паливом у паливний фільтр надійшла і вода, що потрапила в бак при заправці в кількості 1 $см^3$ на 1 л палива, всього 61,47 $см^3$. В результаті значну частину цієї води було затримано фільтром і сепаровано у відстійник. Однак у відстійнику виявилася не вся вода з бака, а лише її частина, оскільки при подачі зі зворотної магістралі до бака чистого відфільтрованого палива концентрація води в баку поступово зменшується. Орієнтовно в 1-му наближенні приймемо, що у фільтрі було затримано 70% усієї води, а 30% залишилося в баку, тоді кількість води, що надійшла у відстійник за 1 годину 22 хв та 144 км пробігу, становитиме 43 $см^3$.

З іншого боку, заміна фільтра була виконана згідно з/н W4112486 при пробігу 6011 км, а заправка паливом перед відмовою двигуна здійснювалася при пробігу 17443 км або через 11432 км після заміни ФТО.

Ресурс фільтра тонкого очищення палива для двигуна даного автомобіля, згідно [2], становить 40000 км пробігу. З іншого боку, фірма Mercedes-Benz у період випуску даного двигуна в Німеччині в 90-х роках минулого століття рекомендувала заміну ФТО через менший пробіг, а саме 20000 км, що було пов'язано з нижчою якістю дизельного пального і менш жорсткими стандартами, ніж у теперішній час.

Виходячи з цього, приймемо, що двигун досліджуваного автомобіля експлуатувався на паливі низької якості 11432 км, і ресурс паливного фільтра був знижений в результаті у 2 (два) рази – до 20000 км.

Приймемо також, що при повному виробленні ресурсу фільтр, окрім засмічення фільтрувального елементу дрібними частинками, має ще й повністю заповнений водою відстійник. Також припустимо, що відстійник на момент заправки був частково вже заповнений водою, що міститься в паливі у допустимих кількостях, відповідно до пробігу автомобіля з моменту заміни фільтра.

Для таких вихідних даних отримаємо, що відстійник об'ємом 0,5 л був заповнений водою на момент заправки на 11432/20000 = 57%, вільний об'єм відстійника становив 215 $см^3$. Тоді, виходячи з отриманих вище даних, при надходженні води в кількості 43 $см^3$ об'єм відстійника все ще не буде заповнений повністю, залишковий вільний об'єм складе 172 $см^3$ або 35% від повного об'єму, паливний фільтр збереже всі свої властивості, що фільтрують, і вода не надходитиме до ДПА та у двигун.

Таким чином, навіть при надмірно високій концентрації води в паливі, що становить 1000 мг/л, за час поїздки 1 годину 22 хвилини та пробігу 144 км та у двигун.

Це означає, що **будь-які теорії руйнувань та прогарів у досліджуваному двигуні внаслідок підвищеного вмісту води в паливі є фантастичними теоріями, які не мають жодного відношення до реальної практики. Отже, наявність води у паливі немає причинно-наслідкового зв'язку з несправностями досліджуваного двигуна, несправності двигуна мають іншу причину**.

2.9. Аналіз характеру пошкоджень та руйнувань досліджуваного двигуна.

Згідно з результатами огляду (див. вище), у двигуні є значні пошкодження, ключовими з яких є:

1. Численні прогари ГБЦ переважно в середній її частині.
2. Пошкодження (прогари) прокладки ГБЦ у тій же області.
3. Оплавлення та термічне перенесення матеріалу ГБЦ на поршні та стінки циліндра, найсильніші в середній частині БЦ.
4. Прихват стрижнів випускних клапанів у напрямних втулках.
5. Оплавлення датчика температури, що розташований ближче до середньої частини ГБЦ.

Подібне поєднання ознак має лише одну причину – **це типовий перегрів двигуна. Причому, згідно з зазначеними ознаками, перегрів мав локальний (виник у середній частині двигуна) і специфічний характер (сильні ушкодження ГБЦ при порівняно незначних БЦ)**.

Для розуміння характеру та причин такого специфічного процесу необхідно розглянути, як влаштована та працює система охолодження досліджуваного двигуна.

2.10. Влаштування та робота системи охолодження досліджуваного двигуна.

Система охолодження двигуна герметична, з примусовою циркуляцією та розширювальним бачком закритого типу (рис.44), служить для підтримки нормальної температури роботи двигуна. Вона включає радіатор з термостатом, патрубки й канали в блоці та головці циліндрів, в яких циркулює охолоджувальна рідина. Схема циркуляції охолоджувальної рідини залежить від її температури та регулюється термостатом.

При запуску холодного двигуна охолоджувальна рідина спочатку циркулює по малому контуру, який обмежується двигуном і системою підігріву, в результаті двигун розігрівається швидше. Радіатор підключається тільки тоді, коли охолоджувальна рідина досягне певної робочої температури. Цю температуру підтримує термостат – шляхом перекриття малого та відкриття великого кола циркуляції ОР у системі. Як тільки температура охолоджувальної рідини починає підійматися, термостат відкриває радіатор і одночасно закриває малий контур.

При робочій температурі охолоджувальна рідина циркулює по нижньому шлангу холодної рідини з лівого резервуара радіатора до водяного насоса, який нагнітає рідину в блок двигуна, охолоджувач масла та головку циліндрів. Більшість рідини потім через відкритий термостат по верхньому шлангу охолоджувальної рідини подається назад, до правого резервуара радіатора, а інша частина – в радіатор обігрівача салону автомобіля. Охолоджувальна рідина, що витікає знизу з радіатора, після проходу контуру розігрівається і в гарячому вигляді потрапляє зверху в радіатор. При проході вниз ламелями радіатора гаряча ОР охолоджується. Якщо при русі автомобіля температура води опускається нижче за задану робочу температуру, термостат знову перекриває прохід через радіатор, доки охолоджувальна рідина не нагріється достатньою мірою.

При нагріванні рідина розширюється, тому в систему включено розширювальний бачок. Бачок розташований вище радіатора, з'єднаний із системою охолодження 2-ма шлангами та закритий пробкою з подвійним клапаном. Клапан відкривається у бік виходу з системи, якщо тиск у системі перевищує 1,0 бар, що дозволяє підтримувати в системі підвищений тиск, необхідний для підвищення температури кипіння рідини (при такому тиску ОР закипає не при 100^0С, а при 125-130^0С), а також оберігати шланги системи від руйнування високим тиском. При охолодженні вимкненого двигуна в системі виникає розрідження, при якому клапан відкривається для впуску в систему повітря з навколишнього середовища.

Крім зазначених особливостей слід відзначити той факт, що прокладка ГБЦ має дренажні отвори в зоні стику гільз циліндрів, а основні отвори для проходу охолоджувальної рідини з блоку в головку блоку в передній частині двигуна мають менший діаметр. Така конструкція служить для спрямування потоків та поліпшення охолодження БЦ та ГБЦ шляхом відсутності застійних зон.

Конструкція системи охолодження двигуна свідчить про те, що це система охолодження традиційного типу [1, 6, 7], яка загалом характеризується такими особливостями:

• наявність малого (всередині двигуна за допомогою байпасного каналу від виходу з ГБЦ до входу в термостат і далі в насос) і великого (через радіатор) кіл циркуляції охолоджувальної рідини, керованих за допомогою 2-ходового термостата,

• розширювальний бачок закритого типу з пробкою, з клапаном подвійної дії для підтримки підвищеного тиску в системі при нагріванні ОР і повідомлення її з атмосферою при охолодженні,

• насос охолоджувальної рідини з приводом від колінчастого валу двигуна приводним ременем,

• датчик температури, встановлений на стінці головки блоку циліндрів,

• вентилятор (один або декілька) для примусового обдування радіатора у разі перевищення температури максимального заданого значення,

• керування включенням вентилятора за сигналом датчика температури,

• відбір рідини з виходу із головки блоку циліндрів для обігрівача салону автомобіля.

Таким чином, система охолодження досліджуваного двигуна за своїми основними принципами побудови **нічим не відрізняється від аналогічних систем традиційного типу**, які давно апробовані та експлуатуються багато десятиліть по всьому світу на мільйонах автомобілів переважної більшості автовиробників. Відповідно до цього, всі можливі дефекти системи охолодження досліджуваного двигуна не відрізняються від тих, які відомі з досвіду експлуатації інших двигунів з традиційними системами охолодження.

У системі охолодження досліджуваного двигуна контроль поточної температури здійснюється водієм за вказівником температури на панелі приладів. Перегрів двигуна діагностується водієм традиційним способом – за становищем стрілки на червоній зоні шкали приладу.

Водночас у системі охолодження досліджуваного двигуна відсутні деякі корисні функції. Так, система не має датчика рівня охолоджувальної рідини, який міг би своєчасно сигналізувати про витікання із системи та запобігти нештатній роботі системи на ранній стадії падіння рівня рідини. Переважна більшість автомобілів, що випускаються у світі, не обладнуються подібними датчиками, тому потреба в такому датчику для досліджуваного двигуна не є повністю обґрунтованою з точки зору повноти функцій, що виконуються системою, і може розглядатися тільки як подальший розвиток системи з метою її вдосконалення.

При виникненні несправностей у традиційній системі охолодження, у тому числі і в досліджуваному двигуні, таких як дефекти насоса, вентилятора, термостата, прокладки ГБЦ та

інші, відбувається підвищення температури рідини, що реєструється датчиком температури головки блоку циліндрів. Це дозволяє своєчасно виявити перегрів та запобігати його наслідкам.

Важливою особливістю системи охолодження у двигуні, що досліджується, є місце установки датчика температури – на стінці ГБЦ. Датчик за допомогою чутливого елемента, що омивається ОР, реєструє підвищення температури рідини, а в разі її відсутності (падіння рівня), при кипінні та проходженні пари ОР – підвищення температури стінки ГБЦ шляхом теплопровідності стінок і нагрівання корпусу датчика. Це дозволяє, на відміну від багатьох інших типів і моделей двигунів, реєструвати нагрівання та/або перегрів двигуна незалежно від наявності або відсутності в системі охолоджувальної рідини (при установці датчика у вихідному патрубку ГБЦ, як це нерідко зустрічається в конструкціях ДВЗ, контроль температури при перегріві двигуна, пов'язаному з недостатньою кількістю ОР, значно утруднений, оскільки датчик не реєструє перегріву).

При дефектах, пов'язаних з негерметичності системи та витіканням рідини, в системі охолодження зазвичай падає тиск [7], що викликає небезпечне для двигуна локальне кипіння ОР на сильно нагрітих поверхнях. Для подібних випадків у будь-якій традиційній системі, у тому числі й в системі охолодження досліджуваного двигуна, передбачено візуальний контроль рівня ОР у розширювальному бачку системи.

Таким чином, **система охолодження досліджуваного двигуна має традиційну конструкцію, аналогічну більшості систем охолодження переважної більшості двигунів інших марок та моделей. Однак внаслідок установки датчика температури на стінці головки блоку циліндрів контроль температурного режиму двигуна здійснюється за будь-яких несправностей системи охолодження, у тому числі при недостатній кількості охолоджувальної рідини**.

2.11. Основні ознаки перегріву ДВЗ.

Досвід експлуатації великої кількості двигунів різних типів дозволяє вказати **основні ознаки, що дозволяють однозначно встановити сильне перегрівання двигуна в експлуатації**. У міру посилення перегріву його ознаки вишиковуються так (від менш до сильнішого перегріву):

1. Деформація поверхні ГБЦ.

2. Ослаблення болтів ГБЦ.

3. Пластична деформація прокладки ГБЦ, сліди прориву газів у ній.

4. Плавлення стінок ГБЦ у форкамер і сідел випускних клапанів, можливе випадання сідел з гнізд.

5. Задири на поршнях у верхній частині вогневого пояса внаслідок попадання розплавлених частинок матеріалу ГБЦ у зазор між поршнями та циліндрами.

6. Вальцювання кілець у канавках поршнів внаслідок попадання розплавлених частинок у зазор між поршнем та циліндром.

7. Заклинювання (прихват) клапанів у напрямних втулках.

8. Задираки на поршнях у верхній частині вогневого пояса внаслідок термічного розширення днища та заклинювання його в циліндрі.

9. Сліди перегріву на внутрішній поверхні поршнів.

10. Плавлення верхньої частини поршнів через відсутність охолодження.

11. Деформація у верхній частині циліндрів.

12. Задираки на краях спідниць поршнів від надмірного теплового розширення поршня.

13. Задираки та деформація в середній частині циліндрів від спідниці поршнів.

Неважко помітити, що досліджуваному двигуну відповідають переважна більшість ознак із зазначених. Відсутність ознак, зазначених останніми у списку, показує, що **процес не був пов'язаний із загальним перегріванням двигуна, коли температурна дія поширюється вниз на блок циліндрів. В результаті перегрів в досліджуваному двигуні був локальним (середня частина ГБЦ), і пошкодження високої температури практично не поширилися на блок циліндрів**.

Аналіз всіх ознак стосовно досліджуваного двигуна дозволяє як однозначно встановити сам факт перегріву і визначити особливості його виникнення та розвитку, а й виявити причини локального перегріву ГБЦ, коли відсутні ознаки значного перегріву стінок циліндрів.

2.12. Процес перегріву досліджуваного двигуна.

Під час роботи двигуна під час перегріву відбувається нагрівання ОР до температури кипіння. При цьому кипіння починається локально в зонах з нагрітими деталями – зазвичай це найбільш нагріті стінки камери згоряння і випускних каналів в ГБЦ. Далі кипіння поширюється за об'ємом рідини – у міру розігріву деталей. Фактично кипіння рідини створює парову подушку між стінкою, що нагрівається газами, і охолоджувальною рідиною, що перешкоджає процесу відведення тепла від стінок в рідину.

Крім цього, кипіння рідини порушує її циркуляцію – як у сорочці охолодження, так і в радіаторі, оскільки відбувається частковий (при локальному кипінні) або повний (при об'ємному кипінні) розрив потоку рідини, що йде від насоса каналами в сорочці охолодження БЦ і ГБЦ далі у радіатор. Внаслідок такого порушення циркуляції не відбувається необхідного відведення тепла від рідини в навколишнє середовище, що також веде до подальшого нагрівання деталей.

І, нарешті, у режимі кипіння ОР та зростання температури деталей відбувається зростання тиску в системі. Цей процес обумовлений тим, що шланг, що з'єднує радіатор з розширювальним бачком, має невеликий переріз і не розрахований на викид великої кількості пари при інтенсивному кипінні. Очевидно, в такому випадку навіть при відкритому клапані пробки розширювального бачка тиск може підвищуватися, що може викликати розрив шлангів та пошкодження радіатора. Разом з парою через розширювальний бачок у довкілля буде викинута частина охолоджувальної рідини, забризкуючи підкапотний простір навколо бачка.

Реєстрація температури датчиком у досліджуваному двигуні має особливості. Так, при омиванні чутливої частини датчика рідиною датчик реєструє зміну температури ОР із високою швидкістю. Однак при омиванні чутливої частини датчика пором при кипінні ОР швидкість нагрівання датчика при підвищенні температури пари буде невеликий (теплопередача від пари до датчика в багато разів менш інтенсивна, ніж теплопередача від ОР), і показання датчика істотно відставатимуть від дійсної температури ОР.

З іншого боку, при кипінні рідини, очевидно, внутрішні стінки сорочки охолодження сильно нагріватимуться внаслідок відсутності охолодження. Коштом високої теплопровідності алюмінієвого сплаву передача тепла до зовнішніх стінок ГБЦ буде швидкою, і ці стінки також будуть відчувати сильне нагрівання, в тому числі та місце установки датчика температури, що призводить до швидкого нагрівання корпусу датчика та його чутливої теплопровідності.

В результаті датчик температури, встановлений у середній частині ГБЦ, обов'язково зареєструє нагрівання ОЖ і перегрів двигуна, що викличе швидке зростання температури на вказівнику панелі приладів до червоної зони шкали.

Якщо перегрів двигуна значний, нагрівання ГБЦ та датчика також буде сильним. На досліджуваному автомобілі пластиковий роз'єм датчика температури було розплавлено. Це підтверджує той факт, що **датчик температури на досліджуваному двигуні завжди**

реєструє перегрів і однозначно свідчить про те, що корпус датчика та чутливий елемент були нагріті до 200^0С (температура плавлення більшості пластиків, що використовуються в автомобілі). Таким чином, **індикація на панелі приладів автомобіля, що досліджується, безпосередньо перед відмовою однозначно показувала перегрів двигуна**.

Кипіння при перегріві в замкнутій герметичній системі охолодження йде при підвищеному тиску, тому температура початку кипіння також досить висока – 120^0С і більше, що буде видно на покажчику температури.

При тривалому впливі високої температури на механічну частину двигуна виникає низка пошкоджень [1, 6]. Оскільки алюмінієва головка блоку притягнута до блоку циліндрів сталевими болтами, зі зростанням температури відбувається сильне теплове розширення ГБЦ. Температурне розширення сталі болтів удвічі менше алюмінієвого сплаву ГБЦ, тому різко підвищується зусилля затягування болтів, що призводить до надмірного стискання та пластичної деформації прокладки ГБЦ, при цьому можлива також пластична деформація та витягування болтів ГБЦ.

У досліджуваному двигуні окантовка прокладки ГБЦ, як найбільш жорстка частина прокладки, була втиснута надмірним зусиллям болтів в привалкову площину головки на дуже велику глибину (0,7 мм). У звичайній експлуатації вдавлювання навіть за надмірної затяжки болтів, зазвичай, немає – витягуються і ламаються болти, деформується різьблення. Це говорить про те, що температура головки в момент перегріву була настільки високою, що матеріал головки блоку втратив міцність і пластично деформований.

У звичайній експлуатації температура стінок ГБЦ не перевищує 100-120^0С (внутрішні стінки можуть мати дещо вищу температуру в окремих локальних зонах з боку камери згоряння). Враховуючи, що температура втрати міцності алюмінію становить приблизно 400-450^0С, є всі підстави вважати, що до такої температури й була нагріта ГБЦ досліджуваного двигуна. Такий перегрів є дуже сильним і пов'язаний або з порівняно тривалою роботою двигуна з несправною системою охолодження на знижених режимах експлуатації, або з короткочасною роботою на підвищених обертах потужних режимах.

Далі, при падінні температури, у тому числі до робочої або температури навколишнього середовища, пластична деформація елементів ГБЦ неминуче призведе до послаблення затягування болтів (що підтверджено записом в акті обстеження від 28 липня 2011 року) і послаблення всього стику ГБЦ з блоком циліндрів, внаслідок чого прокладання ГБЦ повністю втратить герметичність.

Крайні циліндри в блоці та камери згоряння в ГБЦ при перегріві перебувають у кращих умовах, оскільки біля циліндра №1 знаходиться насос, а біля останнього циліндра – патрубок виходу з двигуна до радіатора. У разі перегріву та кипіння рідини в ГБЦ насос продовжує подачу рідини в БЦ і далі в ГБЦ, в результаті чого циліндр №1 та його камера згоряння принаймні частково обмиваються охолоджувальною рідиною.

При кипінні в ГБЦ частина рідини перетворюється на пару, але частина рухається до вихідного патрубка і далі в радіатор, тому циліндр №5 і його камера згоряння при перегріві двигуна так само матимуть краще охолодження, ніж середні циліндри та їх камери згоряння, оскільки буде так а хоча б частково омиватися рідиною.

Саме така картина спостерігається в досліджуваному двигуні – крайні циліндри №№ 1 та 5 та їх камери згоряння взагалі ніяк не постраждали від перегріву.

Найвища температура в середині ГБЦ призводить і до найбільших зусиль болтів у середині, крім того, нагрівання верхньої частини блоку циліндрів викликає й найбільших розширень блоку за привалкової площині та її деформацію. В результаті ГБЦ також деформується – її привалкова площина згинається і стає увігнутою, що і спостерігається у двигуні, що досліджується.

Тривале кипіння, що супроводжується перегріванням двигуна, повністю порушує та охолодження циліндрів, оскільки в сорочці блоку також розвивається бульбашкове кипіння. Відсутність необхідного охолодження циліндрів перешкоджає відводу тепла від поршнів, що веде до розширення по осі поршневого пальця [1, 6, 9]. Цей процес викликає 2 ефекти – задираки на верхньому вогневому поясі поршнів і задираки на краях спідниць поршнів поблизу отвору під палець, що супроводжуються ушкодженням у відповідь циліндрів поблизу вертикальної площини, що проходить через вісь колінчастого валу. Задири завжди супроводжуються стиранням антифрикційного покриття спідниці, сильним тертям та нагріванням відповідних перерізів на поршнях, що призводить до значної пластичної деформації спідниці – так, що розмір поршня стає значно на 0,3-0,5 мм, менший за номінальний [1, 9]. Характерні темні сліди перегріву від задирів у разі завжди видно на внутрішній стороні спідниці всередині поршня [1, 7].

У досліджуваному двигуні спідниці поршнів не мають характерних ушкоджень, хоча поршня №3 від впливу високої температури розмір спідниці дещо зменшився. Це говорить про те, що циркуляція рідини в блоці циліндрів була, і знімання тепла зі стінок циліндрів проводилося, а зона локального перегріву розташовувалася в середній частині двигуна вище циліндра №3.

За відсутності нормального охолодження ГБЦ також виникає перегрів клапанів. Оскільки тарілка клапана охолоджується шляхом передачі тепла в сідло і частково в стрижень, сильне нагрівання тарілки призводить до порушення охолодження, передачі значної кількості тепла в стрижень і, за відсутності охолодження в напрямній втулці, до істотної зміни розподілу температури по довжині клапана. Внаслідок перегріву стрижень термічно сильно розширюється і починає заклинювати в напрямній втулці. Саме така картина спостерігається на випускних клапанах досліджуваного двигуна, де тарілки мають характерний для надмірно сильного нагрівання колір, а на стрижнях у нижній частині сліди задирів та заклинювання.

Деформація площини нерідко призводить до порушення герметичності стику голівки та блоку ще на стадії перегріву двигуна [8]. Оскільки при роботі двигуна середній тиск в циліндрах істотно вищий за тиск пари в системі охолодження, відбувається викид вихлопних газів з циліндрів в систему охолодження, змішання їх з парою і викид далі в розширювальний бачок. На окантовці прокладки в місцях прориву газів буде видно характерні сліди прогару, що і спостерігається в такому випадку.

Зазвичай викид газів з циліндра в систему охолодження призводить до внутрішнього забруднення розширювального бачка нагаром та олією (у вигляді масляної плівки на стінках), а також запаху вихлопних газів у бачку. Однак у досліджуваному двигуні в системі охолодження застосовано розширювальний бачок закритого типу, через який безперервно циркулює рідина. Така особливість конструкції системи охолодження у разі перегріву двигуна призводить до заповнення бачка рідиною та виходом її з бачка, але при цьому циркуляція рідини у системі через бачок зберігається. В результаті частки нагару та оливи розносяться по всій системі охолодження рівномірно, що не дає помітного осадження частинок на стінках бачка.

У випадках тривалого та сильного перегріву, що супроводжується кипінням рідини в порожнинах ГБЦ, можливе також руйнування стінок камери згоряння – плавлення матеріалу стінок у зоні максимальних температур, в першу чергу у форкамер та у сідел випускних клапанів. Далі розплавлені частинки алюмінію потрапляють у зазор між поршнем і циліндром, викликаючи характерні задираки у верхній частині циліндра та на вогневому поясі поршня, а також залягання поршневих кілець.

Саме така картина спостерігається і в досліджуваному двигуні, причому на різних циліндрах є різні фази процесу плавлення стінки камери. Так, початок процесу ілюструє вид

камери згоряння №4, де добре видно ділянки плавлення стінки у сідла та передкамери. Продовження процесу дає камера згоряння №2 – там зони плавлення біля сідла та передкамери розширилися, з'єдналися та заглибились. І нарешті, фінальна стадія процесу – це камера згоряння №3, де відбулося наскрізне плавлення стінки між передкамерою та сідлом випускного клапана.

Оскільки температура плавлення алюмінію 650^0C істотно перевищує робочу температуру ГБЦ, прокладка не могла в таких умовах утримувати герметичність поблизу зони плавлення і прогоріла між циліндрами №№ 2 і 3. Перетікання газів у зоні прогару прокладки за відсутності охолодження пропалу у цій зоні.

2.13. Причини виникнення перегріву ГБЦ досліджуваного двигуна.

Оскільки в досліджуваному двигуні не було загального перегріву з кипінням рідини по всьому об'єму (циліндри не постраждали), очевидно, що відмова двигуна відбулася через перегрівання, що мало специфічний характер. Специфіка умов визначається, в першу чергу, поєднанням надзвичайно високої температури деталей головки блоку циліндрів із відносно низькою температурою блоку циліндрів та циліндро-поршневої групи. Отже, є конкретна причина, яка викликала такий характер перегріву.

Згідно з замовленням-нарядом W4134493 від 08.07.2019, за 1089 км до відмови власник звертався на СТО з приводу пошуку течі експлуатаційної рідини (можливо, якби помічені ознаки течі ОР), є підстави вважати, що причина догляду рідини не була виявлена, і повільно (або регулярно, кожну зупинку) рідина втрачалася, що призвело до специфічного характеру перегріву двигуна, що досліджується.

Попередній аналіз головної особливості перегріву досліджуваного двигуна – надзвичайно сильний перегрів верхньої частини двигуна при його незначному характері в нижній частині, що дає наступні варіанти причин:

1. **Охолодження головки блоку циліндрів було порушено**, тоді як охолодження блоку циліндрів продовжувалося. Таке можливе за недостатньої кількості рідини в системі охолодження.
2. **Процес перегріву йшов дуже швидко**, при цьому, оскільки виділення тепла від згоряння палива в камерах згоряння головки блоку циліндрів тривало, відбувався інтенсивний підігрів стінок камери згоряння, але вирівнювання температури деталей і прогрівання нижньої частини двигуна не відбулося через локальність і швидкоплинність процесу.

Щоб встановити взаємозв'язок зазначених причин, необхідно оцінити час процесу. Для цього необхідно знайти розв'язання задачі нестаціонарного теплообміну для стінки головки блоку циліндрів та поршня в циліндрі, у яких відбулося порушення охолодження.

2.13.1. Нестаціонарне нагрівання стінки камери згоряння при порушенні охолодження.

Розв'язання задачі про час процесу нагрівання стінки камери згоряння зводиться до наступного. Є елемент стенці камери згоряння, що омивається зовні охолоджувальною рідиною, а зсередини – гарячими газами (рис.46). При роботі двигуна встановлюється теплова рівновага, коли кількість тепла, віддане газом у стінку, дорівнює кількості тепла, відданого стінкою в рідину, що охолоджує. В цьому випадку температура стіни буде постійною за часом.

Щоб визначити цю температуру, зробимо такі спрощувальні припущення:

- температура газів $\mathbf{T_г}$ постійна і дорівнює якійсь середній за цикл температурі в камері згоряння – 1400К (1137^0С),
- температура рідини $\mathbf{T_в}$ постійна і дорівнює 373К (100^0С),
- товщина стінки камери згоряння – 10 мм,
- теплообміну вздовж стінки камери немає, тепловий потік йде строго перпендикулярно до стінки (через стінку),
- обороти двигуна **n** = 3000 об/хв.

Ця задача може бути описана рівняннями теплового балансу [13, 14, 16]:

$$\mathbf{Q_г = Q_{ст} = Q_в},$$

де $\mathbf{Q_г}$ – кількість тепла, що віддається газом у стінку, $\mathbf{Q_{ст}}$ – кількість тепла, що проходить через стінку, $\mathbf{Q_в}$ – кількість тепла, що віддається стінкою в ОР.

Відповідно до зроблених вище припущень, площа стінки, через яку проходить тепловий потік, однакова зовні та всередині. Тоді маємо наступні співвідношення для питомого теплового потоку **q**, рівного кількості тепла, що відводиться, віднесеного до площі перерізу стінки – для теплообміну всередині та зовні [14]:

$$\mathbf{q = \alpha_г\,(T_г - T_{ст1}) = \lambda(T_{ст1} - T_{ст2})/\delta = \alpha_в\,(T_{ст2} - T_в)\ ,}$$

де: $\mathbf{\alpha_г}$ – коефіцієнт тепловіддачі від газу до стінки, $\mathbf{T_{ст1}}$ – температура стінки з боку газу, $\mathbf{T_{ст2}}$ – температура стінки з боку ОР, $\mathbf{\lambda}$ – коефіцієнт теплопровідності стінки (200 Вт/м•К для алюмінію), $\mathbf{\alpha_в}$ – коефіцієнт тепловіддачі від стінки в рідину.

Формула для теплового потоку через стінку може бути записана в загальному вигляді – як питомий тепловий потік від газу в рідину з урахуванням теплопровідності стінки [14]:

$$\mathbf{q = (T_г - T_в) / (1/\alpha_г + \delta/\lambda + 1/\alpha_в).} \quad (1)$$

Коефіцієнт тепловіддачі газу ДВЗ може бути приблизно розрахований за формулою Ейхельберга [10]:

$$\mathbf{\alpha_г = 7{,}8\cdot \sqrt[3]{C_m}\,\sqrt{(p_г\cdot T_г)}\ ,}$$

де $\mathbf{C_m}$ – середня швидкість поршня ($\mathbf{C_m = S\cdot n/30}$), $\mathbf{p_г}$ – середньоефективний тиск (для середніх режимів $\mathbf{p_г}$ = 4 бар), **S** – хід поршня (0,096 м), звідки приблизно $\mathbf{\alpha_г = 1{,}25\cdot 10^3}$ Вт/м^2·К

Відповідно до [12] коефіцієнт тепловіддачі для води в сорочці охолодження ДВЗ може бути приблизно прийнятий рівним $\mathbf{\alpha_в = 10^4}$ Вт/м^2·К. Підставляючи зазначені значення формулу (1), отримаємо приблизно $\mathbf{q = 1{,}08\cdot 10^6}$ Вт/м^2, звідки:

$$\mathbf{T_{ст1} = T_г - q/\alpha_г = 535К = 262^0С,\ \ T_{ст2} = T_в + q/\alpha_в = 481К = 208^0С.}$$

Тепер припустимо, що охолодження стінки раптово зникло внаслідок порушення подачі охолоджувальної рідини (відведенням тепла з парою в 1-му наближенні нехтуємо). Для цього випадку скористаємось рівнянням теплового балансу, записаним для виділеного елемента стінки [15]:

$$\mathbf{q\cdot F\cdot d\tau = C\cdot m\cdot dT\ ,} \quad (2)$$

де **q** – питомий тепловий потік від газу стінку, **F** – площа поверхні елемента стінки, **C** – питома тепломісткість металу, **m** – маса елемента стінки, $\mathbf{d\tau}$ – відрізок часу, протягом якого температура стінки підвищується на величину **dT**.

Рівняння (2) показує зростання внутрішньої енергії елемента стінки під час підведення тепла протягом заданого проміжку часу та відсутності охолодження.

Далі, оскільки

$$\mathbf{q = \alpha_г \cdot (T_г - T_{ст1})},$$

отримаємо рівняння, що зв'язує збільшення температури стінки з інтервалом часу:

$$\mathbf{dT = (\alpha_г \cdot F/C \cdot m) \cdot (T_г - T_{ст1}) \cdot d\tau}, \qquad (3)$$

звідки:

$$\mathbf{T_{ст1} = T_{ст10} + \int (\alpha_г \cdot F/C \cdot m) \cdot (T_г - T_{ст1}) \cdot d\tau}, \qquad (4)$$

де $\mathbf{T_{ст10}}$ – початкове значення, що відповідає нормальному режиму охолодження.

Рівняння (4) легко інтегрується у заданому відрізку часу як аналітично, так і чисельно. Для чисельного інтегрування з кроком часу 1 сек, враховуючи, що **C = 1000** Дж/кг К, маса елемента розміром 10х10 мм **m = 0,0027** кг, а площа поверхні **F = 0,0001** м2, отримаємо такі дані (табл.5):

Табл.5. Зміна температури стінки камери згоряння за часом.

Час з моменту припинення охолодження, с	**Температура стінки, К**	**Температура стінки, ^{0}C**
0	535	262
1	576	303
2	606	333
3	644	371
4	677	404
5	712	439
6	746	479
7	779	506
8	810	537
9	840	567
10	868	595
11	895	622
12	**Плавлення стінки камери згоряння**	

Таким чином, у разі раптового порушення охолодження стінки камери згоряння вона почне плавитися вже через 12 секунд роботи двигуна. Особливо небезпечною в цьому випадку буде ділянка камери згоряння, розташована між передкамерою та сідлом випускного клапана, оскільки ця ділянка невелика, але нагрівається гарячими газами відразу з 3-х сторін (камера згоряння, передкамера та випускний канал), в той час, як охолодження підводиться тільки з одного боку. Оскільки при розрахунку не були враховані всі фактори, що впливають (теплопровідність вздовж стінки, відведення тепла від стінки в пару та інші), можливо, що реальний час процесу буде більшим, але в будь-якому випадку час до плавлення стінки ГБЦ за відсутності її охолодження обчислюватиметься секундами.

Порівняємо отриманий час з часом, протягом якого нагріватиметься поршень у циліндрі.

2.13.2. Нестаціонарне нагрівання поршня в циліндрі при порушенні охолодження.

Поршень в циліндрі (рис.47) нагрівається при згорянні палива і охолоджується головним чином шляхом передачі тепла через поршневі кільця в стінку циліндра і далі в рідину, що охолоджує [1, 12]. Щоб приблизно розрахувати час нагріву поршня до критичної температури, при якій у циліндрі виникають задираки, необхідно зробити наступні зауваження та полегшення припущення:

- поршень нагрітий при роботі двигуна до якоїсь середньої температури,
- передача тепла від поршня в стінку циліндра і далі в ОР йде тільки через поршневі кільця,
- при порушенні рідинного охолодження циліндра передача тепла між поршнем і циліндром відбувається миттєво, температура поршня дорівнює температурі гільзи,
- охолодження стінки циліндра пором зневажливо мало,
- теплопровідність вздовж стін не враховується, тепло передається лише у напрямку поперек стін.

Як відомо, підвищення температури поршня викликає його розширення у циліндрі. У досліджуваному двигуні циліндр утворений чавунною гільзою. Зазор між поршнем і циліндром у зоні вогневого пояса поршня при нормальній температурі $\mathbf{T_0}$= 20^0C зазвичай дорівнює 0,50 мм. У разі нагрівання поршня до температури $\mathbf{T_1}$ його термічне розширення $\mathbf{\Delta}$ буде вищим, ніж у гільзи, відповідно до формули [19]:

$$\mathbf{\Delta = \alpha_п \cdot D_0 \cdot (T_1 - T_0),}$$

де $\mathbf{\alpha_п}$ – коефіцієнт температурного розширення алюмінієвого сплаву ($\mathbf{\alpha_п}$ =$20\cdot10^{-6}$ 1/град).

Звідси випливає, що діаметр поршня при температурі $\mathbf{T_1}$:

$$\mathbf{D = D_0 + \alpha_п \cdot D_0 \cdot (T_1 - T_0)\ .}$$

Розширення гільзи циліндра при нагріванні описуватиметься аналогічною формулою ($\mathbf{\alpha_г}$ = $10\cdot10^{-6}$ 1/град):

$$\mathbf{\Delta = \alpha_г \cdot D_{0г} \cdot (T_1 - T_0),}$$

звідси

$$\mathbf{D_г = D_{0г} + \alpha_г \cdot D_{0г} \cdot (T_1 - T_0).}$$

У разі коли діаметр поршня стане рівним діаметру гільзи, виникне задир. При цьому:

$$\mathbf{D_0 + \alpha_п \cdot D_0 \cdot (T_1 - T_0) = D_{0г} + \alpha_г \cdot D_{0г} \cdot (T_1 - T_0),}$$

$$\mathbf{T_1 = T_0 + 1/(\ 2D_0\ (\alpha_г - \alpha_г) - \alpha_п).}$$

Підставляючи це вираз діаметр верхньої частини поршня $\mathbf{D_0}$ = 0,089 мм і початкову температуру $\mathbf{T_0}$ =293К, отримаємо максимальну температуру поршня в циліндрі, при якій починаються задираки $\mathbf{T_1}$ = 857К або $\mathbf{t_1}$ = 584^0C.

Нормальна температура поршня під час роботи двигуна змінюється по перерізу – від 300-350^0C у середині днища до 120-150^0C нижньому перерізі спідниці [1, 11]. Для простоти приймемо середню температуру поршня, близьку до температури днища (оскільки ми досліджуємо цю частину поршня) $\mathbf{T_п}$ = 300^0C. Тоді для того, щоб у циліндрі був задир, поршень повинен нагрітися за відсутності охолодження циліндра на 284^0C. Однак насправді така температура надмірно висока, і задираки зазвичай відбуваються вже при нагріванні на 150-180^0C, оскільки торкання циліндра на перекладках у мертвих точках і тертя в циліндрі при

такому нагріванні значно зростають. Тому в 1-му наближенні критичний нагрів поршня слід вибрати близько 150^0C.

Для поршня в циліндрі може бути застосовано вираз, аналогічний (3):

$$\mathbf{dT = (\alpha_г \cdot F_п / C \cdot m) \cdot (T_г - T_п) \cdot d\tau}$$

Тут уточнення потрібно для маси – приблизно вважаємо, що в процесі бере участь лише відносно товста верхня частина (50% маси) поршня і частина гільзи циліндра в межах ходу поршня. Тоді при товщині стінки циліндра 0,01 м та довжині 0,1 м, а також орієнтовній масі поршня 0,350 кг приблизно розрахункова маса ділянки буде близько **m** = 1 кг, а площа поршня $\mathbf{F_п}$ = 0,00608 м^2. Коефіцієнт тепловіддачі αг розраховується аналогічно до того, як це зроблено вище для камери згоряння.

Результати розрахунку нагрівання поршня при порушенні охолодження циліндра представлені в таблиці 6.

Таким чином, **при порушенні охолодження циліндра поршні отримають пошкодження щонайменше через вдвічі більше часу, ніж стінка камери згоряння**. З іншого боку, при тривалій дії перегріву, як це випливає з результатів розрахунку, ушкодження отримають усі деталі – головка блоку циліндрів, і циліндро-поршнева група. Розглянутий **випадок, коли поршні майже не отримали перегріву, а головка блоку сильно пошкоджена, можливий тільки при короткочасному та швидкоплинному процесі перегріву, причому час дії перегріву до відмови повинен лежати в межах 12-25 с від його початку**.

2.13.3. Визначення причин перегріву двигуна.

Причин виникнення локального перегріву у двигуні, що досліджується, може бути кілька:

1. Забруднення радіатора сторонніми частинками (ґрунт, листя, пух, інші різні забруднювачі).
2. Відмова термостата двигуна.
3. Відмова вентилятора охолодження.

Табл.6. Зміна температури поршня за часом.

Час з моменту припинення охолодження циліндра, с	**Температура поршня, К**	**Температура поршня, ^{0}C**
0	573	300
1	579	306
2	585	312
3	591	318
4	597	324
5	603	330
6	609	336
7	615	342
8	621	348
9	627	354
10	633	360
11	639	366
12	645	372

13	651	378
14	657	384
…	…	…
21	699	426
22	705	432
23	711	438
24	717	444
25	**Задираки на вогневому поясі**	

4. Відмова помпи ОР та припинення циркуляції ОР у двигуні.
5. Дефект прокладання ГБЦ або самої ГБЦ (мікротріщина).
6. Раптова істотна втрата охолодної води системою охолодження ДВЗ внаслідок механічних пошкоджень чи послаблення кріплення патрубків.
7. Відмова пробки розширювального бачка системи охолодження ДВЗ, падіння тиску в системі охолодження ДВЗ.
8. Недостатній рівень ОР у системі охолодження.

Усі зазначені причини вимагають детального аналізу. Тоді, виходячи з основних ознак перегріву, що є в досліджуваному двигуні, можна визначити причину перегріву ГБЦ. Тому ми розглянемо всі зазначені причини докладніше.

1. Забруднення радіатора сторонніми частинками, такими як ґрунт, листя, пух, різні забруднювачі тощо могло призвести до недостатнього відведення тепла від ДВЗ. Однак радіатор досліджуваного двигуна був оглянутий і забруднений не має, тому ця причина не могла викликати перегріву двигуна, що досліджується.

2. Відмова термостата системи охолодження є досить поширеною причиною перегріву. Якщо термостат не відкрився і не пустив ОР по більшому колу циркуляції, або був приватно перекритий на режимах, близьких до максимальних, виникло б кипіння рідини по всьому об'єму. Про відсутність такого режиму кипіння свідчить відсутність ознак значного перегріву БЦ, тому очевидно, що відмова термостата не є причиною перегріву.

3. Відмова вентилятора охолодження двигуна має фатальні наслідки, якщо автомобіль рухається з невеликою швидкістю та має також забруднений радіатор. Досліджуваний автомобіль рухався зі швидкістю близько 140 км/годину тривалий час, рух з такою швидкістю забезпечує настільки інтенсивний обдув радіатора охолодження потоком повітря, що набігає, що включення вентилятора навряд чи було можливе. Таким чином, відмова вентилятора охолодження не є причиною перегріву ГБЦ.

4. Відмова помпи системи охолодження є порівняно рідкісним дефектом і зазвичай пов'язані з провертанням крильчатки на валу. Кипіння ОР у такому разі виникає у всій ГБЦ і далі поширюється на весь обсяг, що знову ж таки спростовується наведеними вище фактами. Отже, відмова помпи не є причиною відмови.

5. Заводський дефект прокладки ГБЦ. У практиці експлуатації двигунів дефект прокладки виявляється у початковий період експлуатації двигуна. Випадки прояву дефекту прокладки після пробігу 10000-15000 км практично рідкісні. Пошкодження прокладки найчастіше не є причиною, а наслідком перегріву. Таким чином, заводський дефект прокладки ГБЦ, ймовірно, не є причиною перегріву ГБЦ, а пошкодження прокладки ГБЦ виникли внаслідок перегріву.

6. Мікротріщина в ГБЦ має аналогічні особливості – дуже рідко виникає на малих пробігах і, як правило, не причиною, а наслідком перегріву. Тому перегрів досліджуваного двигуна внаслідок мимовільної появи тріщини малоймовірний.

7. Раптова значна втрата охолоджувальної рідини системою охолодження ДВЗ виникає внаслідок механічних пошкоджень (попадання чи наїзд на сторонні предмети на дорозі) або ослаблення патрубків ОР. При цьому ОР, як правило, повністю випливає із системи, що зазвичай призводить до тотального ушкодження ГБЦ та БЦ. У дослідженому двигуні немає слідів температурного на циліндри двигуна, а циркуляція ОР в БЦ зберігалася практично до зупинки двигуна (відсутні значні деформації спідниць поршнів і стінок циліндрів). Крім того, під час огляду у м. Смоленську не вказано, що будь-які патрубки зірвані чи негерметичні, а на радіаторі не виявлено пошкодження та/або характерних місць течії ОР. Тому раптова втрата рідини, що охолоджує, не є причиною перегріву.

8. Відмова пробки розширювального бачка системи охолодження ДВЗ є дуже поширеною причиною несправності системи охолодження. Однак прямо перевірити та отримати коректні результати працездатності пробки розширювального бачка системи охолодження досліджуваного двигуна нині неможливо. Це з тим, що у момент відмови двигуна пробка розширювального бачка піддавалася впливу гарячих пар і газів, що утворилися у процесі розплавлення (прогару) ГБЦ. За таких впливів клапан і ущільнення пробки завжди незворотно ушкоджуються, і перевірка працездатності втрачає сенс.

Проте слід розглянути, яким чином при експлуатації автомобіля проявляється несправність пробки розширювального бачка. Як відомо, пробка, крім ущільнення розширювального бачка, виконує функцію підтримки в системі охолодження підвищеного тиску. У закритих системах охолодження під тиском ОР має температуру кипіння, що становить більше 120^0С. При зупинці двигуна після режиму підвищених обертів та навантажень циркуляція ОР у системі припиняється. У зоні максимальних температур ГБЦ, у тому числі біля випускних клапанів і в районі передкамер, нагрівання ОР продовжуватиметься, оскільки стінки ГБЦ у цьому місці нагріті значно, і відбувається вирівнювання температур за обсягом ГБЦ. Внаслідок цього можливе поступове підвищення температури ОР до 110-115^0С, проте це не призведе до закипання рідини, якщо пробка підтримує надлишковий тиск у системі охолодження.

У разі несправності клапана в пробці розширювального бачка тиск у системі не тримається, і рідина закипає в тепло навантажених зонах (через кілька секунд після зупинки двигуна), внаслідок чого пари ОР, виходячи через несправний клапан, захоплюють та викидають із системи охолодження невелику частину рідини. Таким чином, щоразу, коли при несправній пробці двигун зупиняється, відбувається зменшення кількості ОР у двигуні. Це може бути досить тривалий процес, що триває кілька тижнів щоденної експлуатації, доки кількість рідини стане меншою від якоїсь критичної величини (приблизно 50-70% від норми), при якому може виникнути перегрів. Однак у разі, якщо водій контролює рівні експлуатаційних рідин згідно [2] перед кожною поїздкою, він має можливість своєчасно діагностувати втрату рівня та несправність пробки розширювального бачка.

У досліджуваному автомобілі є сліди викиду ОР із пробки розширювального бачка, причому деякі з них, у тому числі на лонжероні кузова нижче розширювального бачка, мають характер, відмінний від слідів викиду рідини білого кольору на щиті відсіку моторного (рис. 15). Це може свідчити, що несправність пробки розширювального бачка мала місце насправді та задовго до відмови двигуна. Така несправність сама собою не викликає перегрів, але однозначно призводить до недостатнього рівня ОР у двигуні.

1. Недостатній рівень ОР у системі охолодження. Згідно з Посібником з експлуатації [2], водій повинен перед кожною поїздкою перевіряти рівні експлуатаційних рідин. Однак при

далеких поїздках та зупинках тільки для заправки ця операція стає скрутною, тому що фактично поїздка одна і лише на велику відстань. У цьому випадку, як було зазначено вище, відмова клапана кришки розширювального бачка може призвести до недостатнього рівня ОР у двигуні.

За матеріалами, наданими позивачем, зокрема замовлення-наряд № W4134493 від 08.07.2019р., в автомобілі за 1089 км до відмови було діагностовано протікання робочих рідин і навіть виконувалося зняття захисту двигуна, проте не вказано, про які рідини йдеться і які роботи з усунення течі виконувались. У видатковій накладній зазвичай вказуються замінені у зв'язку з усуненням течі деталі та долиті рідини, проте запис про це також відсутній. Тобто, запис у замовлення-наряді виглядає таким чином: за зверненням клієнта зі скаргою на витікання та/або догляд якоїсь рідини СТО намагалося знайти місце течі, але це не вдалося, і було проведено лише доливання цієї рідини.

Усього робочих рідин у досліджуваному автомобілі шість, це:

1) - моторна олива,
2) - трансмісійна олива,
3) - олива гідропідсилювача рульового управління,
4) - гальмівна рідина,
5) - олива з холодоагенту кондиціонера,
6) - охолоджувальна рідина.

Для визначення, протікання якої рідина могла бути виявлена, необхідно розглянути особливості прояву течі всіх зазначених рідин.

Витік масла (моторного, трансмісійного, гідропідсилювача керма) є досить поширеним дефектом. Виходячи з практики ремонту автомобілів на СТО, у разі витікання оливи проводяться заходи щодо усунення течі. Ці заходи характеризуються тим, що проводиться заміна будь-яких ущільнень – прокладок та сальників, та доливання відповідної оливи. Крім цього, витік масла завжди має явно виражений характер (темний колір замасленої поверхні від пилу та бруду), а місце течі, як правило, легко визначається. Також при записі несправності, пов'язаної з течією оливи, на СТО заведено писати в документах "витік оливи", а не "витік робочих рідин".

Виходячи з цього, є всі підстави вважати, що причиною звернення на СТО текти олії не було. Непрямо про відсутність течі олії говорить відсутність підтікань олії на двигуні під час огляду.

Витік гальмівної рідини взагалі не допускається в автомобілі за умовами безпеки руху, і при поводженні клієнта з доглядом (течією) гальмівної рідини персонал СТО, безсумнівно, зробив би запис у замовлення-наряді про те, що відбувалася діагностика течії гальмівної рідини, а у разі неможливості усунення – відмітку у тому, що експлуатація автомобіля заборонена. Як і у випадку з моторною оливою, витік гальмівної рідини має явний характер, не помітити її неможливо, але запис про роботи з усунення течі гальмівної рідини відсутня. Це означає, що протікання гальмівної рідини не було причиною звернення власника на СТО.

Витік холодоагенту кондиціонера зазвичай викликає добре видиме замаслювання місця течі, а для пошуку місця течі не проводиться зняття захисту картера двигуна, як це зазначено в наряді. З появою течі холодоагента, у відміну від інших систем, кондиціонер швидко перестає працювати, тому скарга клієнта у разі повинна була формулюватися як "не працює кондиціонер", а чи не "витікання робочих рідин". Для усунення несправності кондиціонера СТО проводить досить дорогі заходи щодо пошуку течі із застосуванням спеціального обладнання (галоїдний течошукач), усуває несправності та робить дозаправлення системи кондиціювання. За даними [5], діагностування витікання з системи та її дозаправлення з трудовитрат займають 0,5 години, а у разі виявлення несправності її усунення займе не менше

часу, проте запис про це на замовлення вбрання також відсутній. Внаслідок вказаних причин є підстави вважати, що витік холодоагента не може бути причиною звернення на СТО.

Витікання охолоджувальної рідини, на відміну від усіх вищеперелічених, завжди має неявний і погано діагностований характер у зв'язку з тим, що ОР не замаслює поверхні, поступово висихає і залишає на них малопомітні сліди. Крім цього, витік викликає ознаки несправності двигуна (перегрів) не відразу, а при втраті значної частини рідини.

На думку експерта, роботи з пошуку течі експлуатаційної рідини зі зняттям захисту двигуна були пов'язані безпосередньо з пошуком течі з моторного відсіку. Виходячи з результатів аналізу ознак витік різних рідин та можливих дій персоналу СТО, найбільш ймовірно, що відбувався саме пошук течі ОР із двигуна, але несправність так і не була визначена. Про це говорить відсутність запису в замовлення-наряді про усунення несправності, а також той факт, що витікання всіх інших рідин не могли бути причиною звернення на СТО.

У зв'язку з цим найбільш ймовірно, що **причиною звернення на СТО за 1089 км до відмови та причиною несправності двигуна в цілому було саме витік охолоджувальної рідини, а її недостатній рівень був викликаний дефектом пробки розширювального бачка. При подальшій експлуатації рівень рідини в системі охолодження безупинно падав, що за відсутності своєчасного контролю з боку водія призвело зрештою до перегріву та відмові двигуна.**

2.14. Дослідження режимів експлуатації двигуна перед відмовою.

Для більш точного визначення причин виходу досліджуваного двигуна необхідно визначити режими експлуатації двигуна безпосередньо перед відмовою.

Виходячи з інформації, отриманої з матеріалів, позивач 28 липня 2019 року о 10 годині 38 хвилин здійснив заправку автомобіля на АЗС «XXXX-АЗС», далі проїхавши 144 км на 308 км а/д Е-95, приблизно о 12 годині двигун автомобіля зупинився.

Розглянемо маршрут докладніше. Для того, щоб проїхати цей маршрут при строгому дотриманні правил дорожнього руху, включаючи швидкісний режим та дотримання всіх вказівок дорожніх знаків, необхідний час складе 2 години 8 хвилин (128 хвилин або 2,13 години), а середня швидкість на маршруті 144/2,13 = 67,5 км/год. Однак, як це випливає з наведених вище даних, позивач пройшов маршрут за значно менший час, а саме, за 1 годину 22 хвилини (82 хвилини або 1,37 години). Звідси випливає, що насправді середня швидкість автомобіля склала 105 км/год, що більш ніж у 1,5 раза більше за середню швидкість за дотримання ПДР.

Швидкість, розрахована з умови дотримання ПДР, передбачає, що поза населеними пунктами підтримується швидкість 90 км/год, а у населених пунктах 60 км/год. В результаті середня швидкість становитиме 67,5 км/год. Тобто максимальна швидкість перевищує середню у 1,33 раза. У 1-му наближенні це співвідношення можна використовувати та для руху досліджуваного автомобіля (середня швидкість на маршруті завжди істотно нижча за ту, яку намагається підтримувати водій). Тоді для того, щоб пройти маршрут із середньою швидкістю 105 км/год, необхідно в русі підтримувати швидкість в 1,33 раза більше, а саме 105х1,33 = 140 км/год.

За такої високої швидкості руху виникають 2 проблеми, які самі не є прямою причиною перегріву, але у разі його виникнення швидко призведуть до катастрофічних руйнувань у двигуні:

1. **Двигун безперервно працює на підвищених оборотах та високому навантаженні**. Такий високонавантажений режим роботи ДВЗ вимагає ефективного охолодження, тому будь-який навіть незначний дефект системи охолодження на такому режимі однозначно призведе

до перегріву двигуна. Як показано вище, на такому режимі для прогару головки блоку достатньо лише 12 секунд руху без достатнього охолодження.

2. **Водій повністю сконцентрований на дорожній ситуації**. За такої швидкості (перевищення дозволеної швидкості в 1,5 раза) водій без спеціальної підготовки не може своєчасно встежити за змінами у показаннях приладів, оскільки його увага зосереджена на обгонах/випередженні попутного транспорту, у тому числі великовантажного (завантаженість траси Е-95 висока), відстеження маневрів зустрічних автомобілів, розташування постів та патрульних автомобілів тощо. Крім того, **досліджуваний автомобіль за своїм типом (легкий повнопривідний позашляховик) ніяк не є швидкісним легковим автомобілем, що має відбиватися на його погіршеній стійкості та керованості на високих швидкостях, а це вимагає від водія ще більшої концентрації уваги на керуванні, а не на показаннях приладів**. У таких умовах водій практично не має можливості вчасно помітити показання індикатора температури двигуна.

Як зазначено вище, при виникненні перегріву двигуна покажчик температури на панелі приладів однозначно показував, що двигун перегрітий, і водію необхідно негайно зупинити автомобіль і вимкнути двигун [2]. Однак **у зв'язку з рухом із надмірно високою швидкістю показання покажчика температури не були своєчасно помічені водієм, внаслідок чого він продовжував рух на перегрітому двигуні аж до виникнення катастрофічних ушкоджень**.

З іншого боку, при своєчасному контролі перегріву двигун практично не отримує пошкоджень, і причина перегріву може бути усунена з мінімальними витратами часу та коштів. Отже, **причиною катастрофічних пошкоджень двигуна є недотримання водієм дозволеного швидкісного режиму та невиконання вимог Посібника з експлуатації автомобіля**.

3. Визначення вартості ремонту та запасних частин для відновлення досліджуваного двигуна.

Виходячи з результатів огляду, досліджуваний двигун не отримав при відмові серйозних пошкоджень блоку циліндрів та кривошипно-шатунного механізму, тому він може бути відновлений шляхом виконання відповідних ремонтних робіт та заміни запасних частин.

1. Роботи, необхідні для відновлення двигуна:

Трудовитрати (оцінювалися в доларовому еквіваленті) з демонтажу, розбирання, діагностики механіки ДВЗ, складання двигуна, згідно [5], становлять 23 нормогодини. Вартість 1 нормогодини з обслуговування та ремонту даного двигуна в ОД у липні 2019 року становила 30,5 USD (копія з/г № W4134493 від 8 липня 2019 року, надана позивачем). Таким чином, вартість робіт зі зняття, розбирання збирання та встановлення даного двигуна станом на 2019 рік становитиме 23х30,5 = 701,5 USD.

Крім робіт, позначених у [5], для ремонту двигуна необхідно виконати роботи з механічної обробки блоку циліндрів та колінчастого валу. У середньому ціна даних робіт з 2019 року наразі залишилася незмінною.

Так, виходячи із середньої ціни [6], **вартість механічних робіт** становитиме:

• Розточування та хонінгування блоку циліндрів – 178,5 USD.

• Шліфування та полірування КВ – 128,3 USD.

• Обробка площини блоку циліндрів – 66,2 USD.

Вартість робіт з діагностування стану ДПА [7] складає:

• Діагностика ТНВС – 107,7 USD.

• Діагностика 5 (п'яти) форсунок – 15,4 USD.

РАЗОМ всі роботи з ремонту двигуна – 1 194,5 USD.

2. Вартість запасних частин.

За даними [8], середня вартість необхідних запасних частин для ремонту двигуна, що досліджується, зараз становить (табл.7):

Табл.7. Орієнтовний перелік запасних частин для ремонту двигуна.

№п/п	Найменування	Артикул	К-сть	Ціна (USD)	Примітка
1	ГБЦ не в зборі	6620103520	1	1395,98	
2	Клапана впускний	6610533001	5	118,10	
3	Клапана випускний	6610503027	5	146,6	
4	Датчик температури	6615423017	1	19,31	
5	Гідрокомпенсатори	6010500725	10	193,95	
6	Прокладання ГБЦ	6620163220	1	31,66	
7	Набір прокладок	746.411	1	186,31	Повний
8	Вкладиші шатунні	77219600	К-кт	118,02	
9	Вкладиші корінні	87418600	К-кт	41,29	
10	Поршні ремонтні	8774310700	5	408,90	З поршневими кільцями
11	Болти ГБЦ	HBS059	К-кт	20,54	Примітка

Усього вартість запасних частин 2 680,53 USD за станом ринку запчастин на липень 2019 року.

Таким чином, виходячи з наявних даних щодо цін на роботи та запчастини, вартість ремонту двигуна (роботи із запасними частинами) станом на липень 2011 року становить приблизно 3 499,7 USD. Точно вказати ціну ремонту не уможливлюється у зв'язку з різницею цін на роботи та запчастини в різних ремонтних та торгових організаціях, а також у зв'язку з тим, що експертиза двигуна здійснюється з метою встановлення причини несправності, а не його дефектування для подальшого ремонту.

РЕЗУЛЬТАТИВНА ЧАСТИНА.

1. Попереднє формулювання відповідей на питання експертизи та висновків про причину несправності.

Відповідь на запитання №1 експертизи:

1. *Чи є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXXX, кузов № XXXT3B1EPAH007808, 2010 року випуску, якщо є, то які?*

Двигун DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX, кузов № XXXT3B1EPAH007808, 2010 року випуску має серйозні пошкодження та руйнування:

- Головка блоку циліндрів має найбільш значні пошкодження в зоні камери згоряння №3: вигоряння матеріалу між циліндрами №№ 2 і 3, наскрізний отвір на привалковій площині в сорочку охолодження з поширенням зони прогару до сідла впускного клапана камери №2, вигоряння матеріалу в зоні передкамери з поширенням прогару до сідла випускного клапана.

- Вигоряння матеріалу в камері №2 між сідлом випускного клапана та передкамерою. Аналогічний процес, але у початковій стадії, спостерігається в камері №4.
- Деформація площини ГБЦ у зоні камер №№ 2 і 3, локальна пластична деформація (пром'яття) матеріалу на прівалковой площині в місці прилягання окантовки прокладки ГБЦ досягає 0,70 мм.
- Прокладка ГБЦ має прогари, значні пошкодження окантовки та основного матеріалу в циліндрах 2-4, зі слідами прориву газів у систему охолодження та витікання ОЖ із сорочки.
- Датчик температури ГБЦ, встановлений між камерами №№ 3 і 4, має сліди розплавлення клемної частини.
- На випускних клапанах циліндрів №№ 2, 3 та 4 явні сліди перегріву на робочих фасках та ознаки температурного прихвата (заклинювання внаслідок перегріву) стрижнів у напрямних втулках.
- Поршні №2-4 мають сліди сильного нагріву вогневого поясу, на поршні №3 сліди плавлення вогневого пояса.
- Поршневі кільця на поршні №3 завальцьовані та заклинені у канавках.
- Циліндри двигуна №№2-4 у верхній частині мають налипання розплавленого металу з задирами, що розповсюджуються вниз, особливо значні в циліндрі №3.

Відповідь на запитання №2 експертизи:

2. *Якщо є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX, то які причини їх виникнення.*

Всі виявлені пошкодження у двигуні DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX є наслідком сильного перегріву двигуна, що мав локальний (виник у середній частині двигуна) і специфічний характер (сильні пошкодження головки блоку циліндрів при порівняно незначних). У зв'язку з великим часом зберігання автомобіля з розібраним двигуном і значними пошкодженнями деталей у процесі перегріву, подальшого руйнування та зберігання встановити точно причину перегріву неможливо. Однак за всіма наявними технічними ознаками причиною перегріву двигуна є дефект пробки розширювального бачка, який спричинив втрату тиску в системі охолодження, поступову втрату рідини із системи та призвів до несправності – перегріву двигуна.

Відповідь на запитання №3 експертизи:

3. *Чи є несправності у двигуні DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX, наслідком виробничого дефекту, робіт з технічного обслуговування (ремонту) автомобіля або/і інших дій у тому числі дій власника і т.д., чи несправності двигуна є результатом неправильної експлуатації автомобіля?*

За наявними технічними ознаками несправність двигуна DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX викликана виробничим дефектом пробки розширювального бачка. Дефект не був своєчасно виявлений і усунений на СТО при виконанні сервісних робіт за скаргою власника на витікання за 1089 км та виконання вимог Посібника з експлуатації з боку водія про негайну зупинку двигуна призвело зрештою решт до пошкоджень та відмови двигуна.

Причинно-наслідкових зв'язків несправності із встановленням протиугінної сигналізації, тюнінгу та іншими причинами та діями не виявлено.

Відповідь на запитання №4 експертизи:

4. *Як впливає на експлуатацію та несправності двигуна автомобіля використання дизельного пального, вміст води в якому не відповідає ДСТУ?*

Загалом вода у паливі викликає заклинювання плунжерних пар паливної апаратури, їх корозію та зниження потужності двигуна. Однак ознаки прямого попадання води із заклинюванням та мимовільною зупинкою двигуна в досліджуваному автомобілі відсутні, для виникнення корозії паливної апаратури потрібен значний час впливу води, що вимірюється цілодобово або навіть місяцями нерухомого зберігання автомобіля. Навпаки, ознаки несправностей від корозії паливної апаратури при попаданні води не відповідають ознакам несправності досліджуваного двигуна, а збільшення кількості води в паливі, що подається форсунками в камери згоряння, не тільки не може призвести до перегріву і прогар у ДВЗ, але веде до зменшення його температурної. напруженості, що практично виключає саму можливість будь-яких прогарів у двигуні.

Сам факт наявності води в паливному баку в тих чи інших кількостях і станах взагалі не говорить про можливість виникнення будь-яких несправностей або порушення роботи двигуна, оскільки для здійснення будь-якого впливу на двигун вода повинна не тільки потрапити в паливо, що знаходиться в баку, але й пройти паливний фільтр та потрапити до елементів паливної апаратури, що за нормального стану паливного фільтра неможливо в принципі.

Таким чином, припущення про те, що наявність води в паливі призвело до якихось прогарів у ГБЦ та інших пошкоджень досліджуваного автомобіля, що не відповідає наявним ознакам несправності, суперечить практиці і є цілком хибним.

Відповідь на запитання №5 експертизи:

5. *Чи характерні пошкодження двигуна DB29 № 10000064R зазначеного автомобіля для тривалого використання неякісного дизельного пального?*

Характер пошкоджень двигуна DB29 № 10000064R зазначеного автомобіля показує, що відмова не має причинно-наслідкових зв'язків з якістю та тривалістю використання будь-якого палива. Будь-які теорії руйнувань та прогарів у досліджуваному двигуні внаслідок неналежної якості палива, включаючи підвищений вміст води в паливі, є фантастичними теоріями, які не мають жодного відношення до реальної практики.

Відповідь на запитання №6 експертизи:

6. *Чи могла одноразова заправка 61,47 літра дизельного пального з показниками води та фракційного складу, зазначеними у Протоколі випробувань №НП-З 0/484 від 24 листопада 2019 року Хіміко-аналітичною лабораторією та Висновку фахівця НПО Центр Судових експертиз №256/2019 від 29 листопада 2019 року, викликати відмову двигуна DB29 № 10000064R за час відповідного пробігу 144 км?*

Відповідно до попереднього пункту, одноразова заправка 61,47 літра дизельного пального з показниками води та фракційного складу, зазначеними в Протоколі випробувань №НП-3 0/484 від 24 листопада 2019 року та Висновку фахівця №256/2019 від 29 листопада 2019 року, не є причиною відмови двигуна DB29 № 10000064R за час, що відповідає пробігу 144 км, відмова двигуна сталася внаслідок перегріву від втрати охолоджувальної рідини.

Відповідь на додаткове запитання №8 експертизи:

8. Чи мав водій можливість запобігти відмову двигуна?

Водій мав технічну можливість запобігти пошкодженню та відмові двигуна за умови дотримання вимог Правил дорожнього руху в частині обмеження швидкості руху та вимог Посібника експлуатації щодо контролю рівня охолоджувальної рідини, її температури та негайної зупинки та вимкнення двигуна при його перегріві. Однак у зв'язку з надмірно високою для даного типу автомобіля швидкістю руху показання покажчика температури не були своєчасно помічені водієм, у результаті він продовжував рух на перегрітому двигуні до виникнення відмови.

Відповідь на запитання №7 експертизи:

7. Чи підлягає двигун ремонту та якою є вартість відновлення двигуна DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX, станом на дату його відмови, що сталася 28 липня 2019 року?

Двигун DB29 № 10000064R автомобіля «*SsangYong Korando*», реєстраційний знак XXXXXX не отримав при відмові серйозних пошкоджень блоку циліндрів та кривошипно-шатунного механізму, тому він може бути відновлений шляхом виконання відповідних ремонтних робіт та заміни запасних частин. Точно вказати ціну ремонту не уможливлюється у зв'язку з різницею цін на роботи та запчастини в різних ремонтних та торгових організаціях, а також у зв'язку з тим, що експертиза двигуна здійснюється з метою встановлення причини несправності, а не його дефектування для подальшого ремонту.

ВИСНОВКИ

1. Двигун DB29 № 10000064R, автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX, кузов № XXXT3B1EPAH007808, 2010 року випуску має серйозні пошкодження та руйнування:

- Головка блоку циліндрів має найбільш значні пошкодження в зоні камери згоряння №3: вигоряння матеріалу між циліндрами №№ 2 і 3, наскрізний отвір на привалковій площині в сорочку охолодження з поширенням зони прогару до сідла впускного клапана камери №2, вигоряння матеріалу в зоні передкамери з поширенням прогару до сідла випускного клапана.
- Вигоряння матеріалу в камері №2 між сідлом випускного клапана та передкамерою. Аналогічний процес, але у початковій стадії, спостерігається в камері №4.
- Деформація площини ГБЦ у зоні камер №№ 2 і 3, локальна пластична деформація (пром'яття) матеріалу на прівалковой площині в місці прилягання окантовки прокладки ГБЦ досягає 0,70 мм.
- Прокладка ГБЦ має прогари, значні пошкодження окантовки та основного матеріалу в циліндрах 2-4, зі слідами прориву газів у систему охолодження та витікання ОЖ із сорочки.
- Датчик температури ГБЦ, встановлений між камерами №№ 3 і 4, має сліди розплавлення клемної частини.
- На випускних клапанах циліндрів №№ 2, 3 та 4 явні сліди перегріву на робочих фасках та ознаки температурного прихвата (заклинювання внаслідок перегріву) стрижнів у напрямних втулках.
- Поршні №2-4 мають сліди сильного нагріву вогневого поясу, на поршні №3 сліди плавлення вогневого пояса.

- Поршневі кільця на поршні №3 завальцьовані та заклинені у канавках.
- Циліндри двигуна №№2-4 у верхній частині мають налипання розплавленого металу з задирами, що розповсюджуються вниз, особливо значні в циліндрі №3.

2. **Всі виявлені пошкодження у двигуні DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX є наслідком сильного перегріву двигуна**, що мав локальний (виник у середній частині двигуна) і специфічний характер (сильні пошкодження головки блоку циліндрів при порівняно незначних). У зв'язку з великим часом зберігання автомобіля з розібраним двигуном і значними пошкодженнями деталей у процесі перегріву, подальшого руйнування та зберігання встановити точно причину перегріву неможливо. Однак за всіма наявними технічними ознаками причиною перегріву двигуна є дефект пробки розширювального бачка, який спричинив втрату тиску в системі охолодження, поступову втрату рідини із системи та призвів до несправності – перегріву двигуна.

3. За наявними технічними ознаками **несправність двигуна DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX викликана виробничим дефектом пробки розширювального бачка**. Дефект не був своєчасно виявлений і усунений на СТО при виконанні сервісних робіт за скаргою власника на витікання за 1089 км та виконання вимог Посібника з експлуатації з боку водія про негайну зупинку двигуна призвело зрештою решт до пошкоджень та відмови двигуна. Причинно-наслідкових зв'язків несправності із встановленням протиугінної сигналізації, тюнінгу та іншими причинами та діями не виявлено.

4. Сам факт наявності води в паливному баку в тих чи інших кількостях і станах взагалі не говорить про можливість виникнення будь-яких несправностей або порушення роботи двигуна, оскільки для здійснення будь-якого впливу на двигун вода повинна не тільки потрапити в паливо, що знаходиться в баку, але й пройти паливний фільтр та потрапити до елементів паливної апаратури, що за нормального стану паливного фільтра неможливо в принципі. Таким чином, **припущення про те, що наявність води в паливі призвело до якихось прогарів у ГБЦ та інших пошкоджень досліджуваного автомобіля, що не відповідає наявним ознакам несправності, суперечить практиці і є цілком хибним**.

5. Характер пошкоджень двигуна DB29 № 10000064R зазначеного автомобіля показує, що **відмова не має причинно-наслідкових зв'язків з якістю та тривалістю використання будь-якого палива**. Будь-які теорії руйнувань та прогарів у досліджуваному двигуні внаслідок неналежної якості палива, включаючи підвищений вміст води в паливі, є фантастичними теоріями, які не мають жодного відношення до реальної практики.

6. Відповідно до попереднього пункту, одноразова заправка 61,47 літра дизельного пального з показниками води та фракційного складу, зазначеними в Протоколі випробувань №XXXXX від 24 листопада 2019 року та Висновку фахівця №256/2019 від 29 листопада 2019 року, не є причиною відмови двигуна DB29 № 10000064R за час, що відповідає пробігу 144 км, **відмова двигуна сталася внаслідок перегріву від втрати охолоджувальної рідини**.

7. **Водій мав технічну можливість запобігти пошкодженню та відмові двигуна за умови дотримання вимог Правил дорожнього руху в частині обмеження**

швидкості руху та вимог Посібника експлуатації щодо контролю рівня охолоджувальної рідини, її температури та негайної зупинки та вимкнення двигуна при його перегріві. Однак у зв'язку з надмірно високою для даного типу автомобіля швидкістю руху показання покажчика температури не були своєчасно помічені водієм, у результаті він продовжував рух на перегрітому двигуні до виникнення відмови.

8. Двигун DB29 № 10000064R автомобіля «SsangYong Korando», реєстраційний знак XXXXXX не отримав при відмові серйозних пошкоджень блоку циліндрів та кривошипно-шатунного механізму, тому він може бути відновлений шляхом виконання відповідних ремонтних робіт та заміни запасних частин. Точно вказати ціну ремонту не уможливлюється у зв'язку з різницею цін на роботи та запчастини в різних ремонтних та торгових організаціях, а також у зв'язку з тим, що експертиза двигуна здійснюється з метою встановлення причини несправності, а не його дефектування для подальшого ремонту.

Експерт, спеціаліст з конструкції,
робочим процесам та несправностям ДВЗ,
канд. техн. наук, старший наук. співробітник, _____ **О.Е.Хрулєв**

Додаток - 49 рис. на 28 стор.

Додатки
до ВИСНОВКУ ЕКСПЕРТА № 04-А від 25.08.2021 р.

Рис.1. Досліджуваний автомобіль.

Рис.2. Ідентифікаційний номер відповідає документам на автомобіль.

Рис.3. Номер двигуна автомобіля.

Рис.4. Моторний відсік автомобіля – двигун знятий.

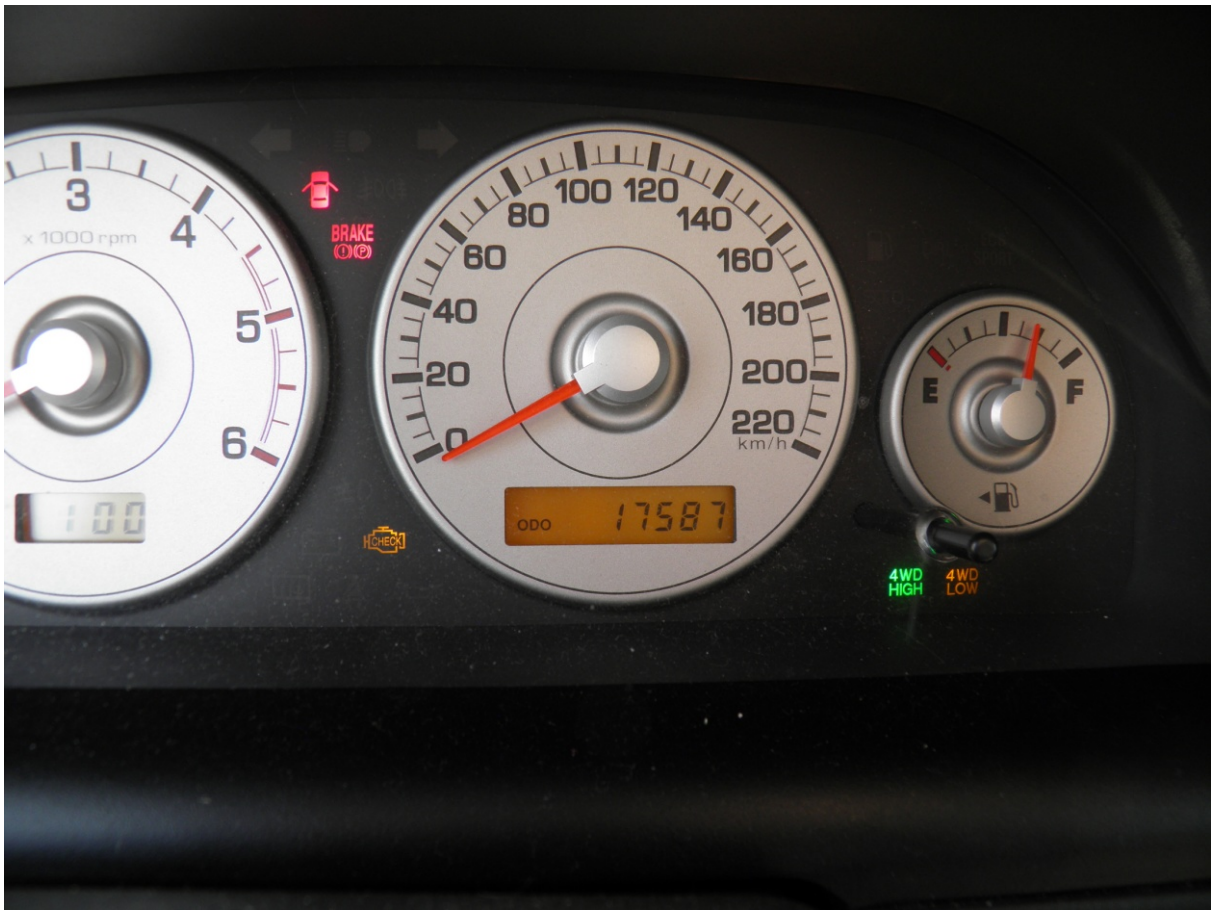


Рис.5. Показання одометра.

Рис.6. Досліджуваний двигун частково розібраний.

Рис.7. Частинки зносу в піддоні картера.

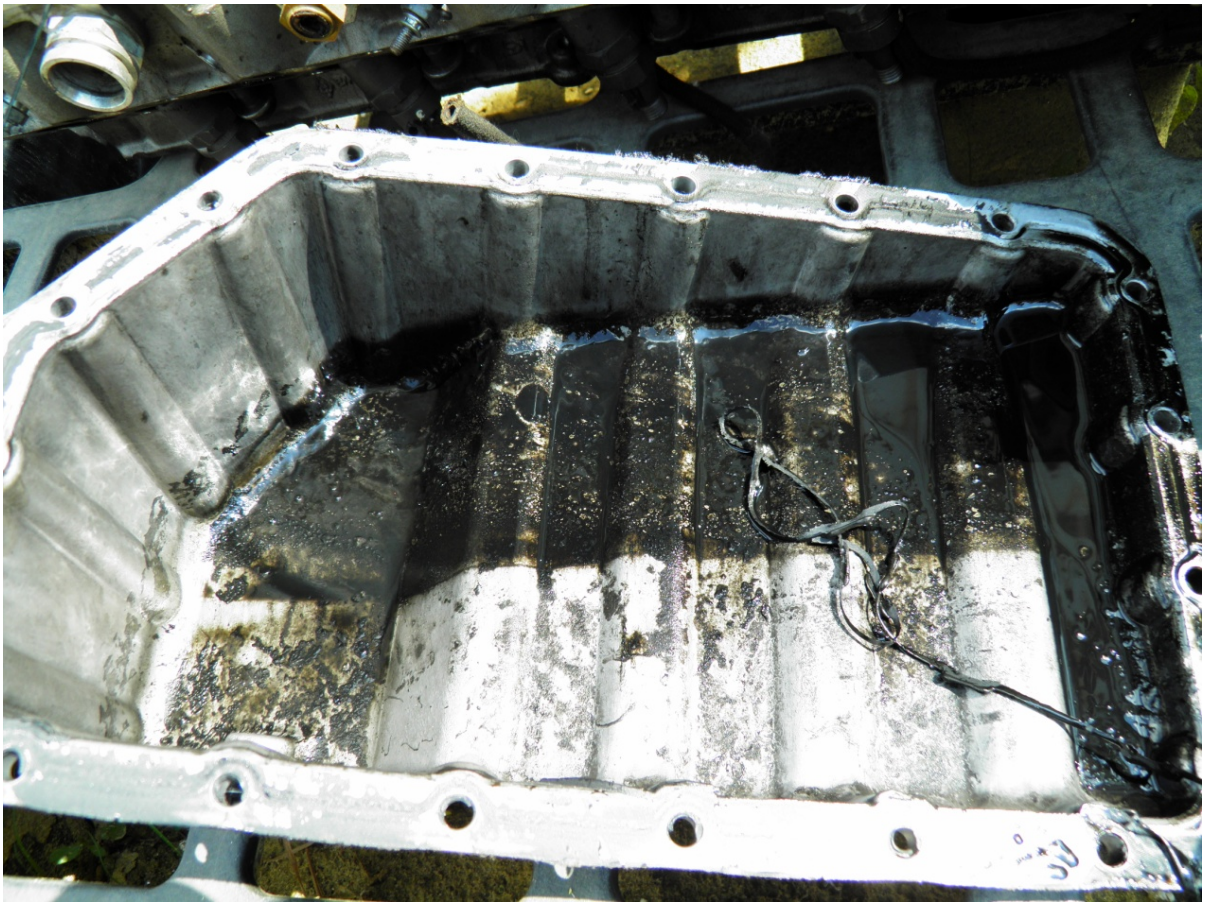


Рис.8. Те саме, у кришці піддону.

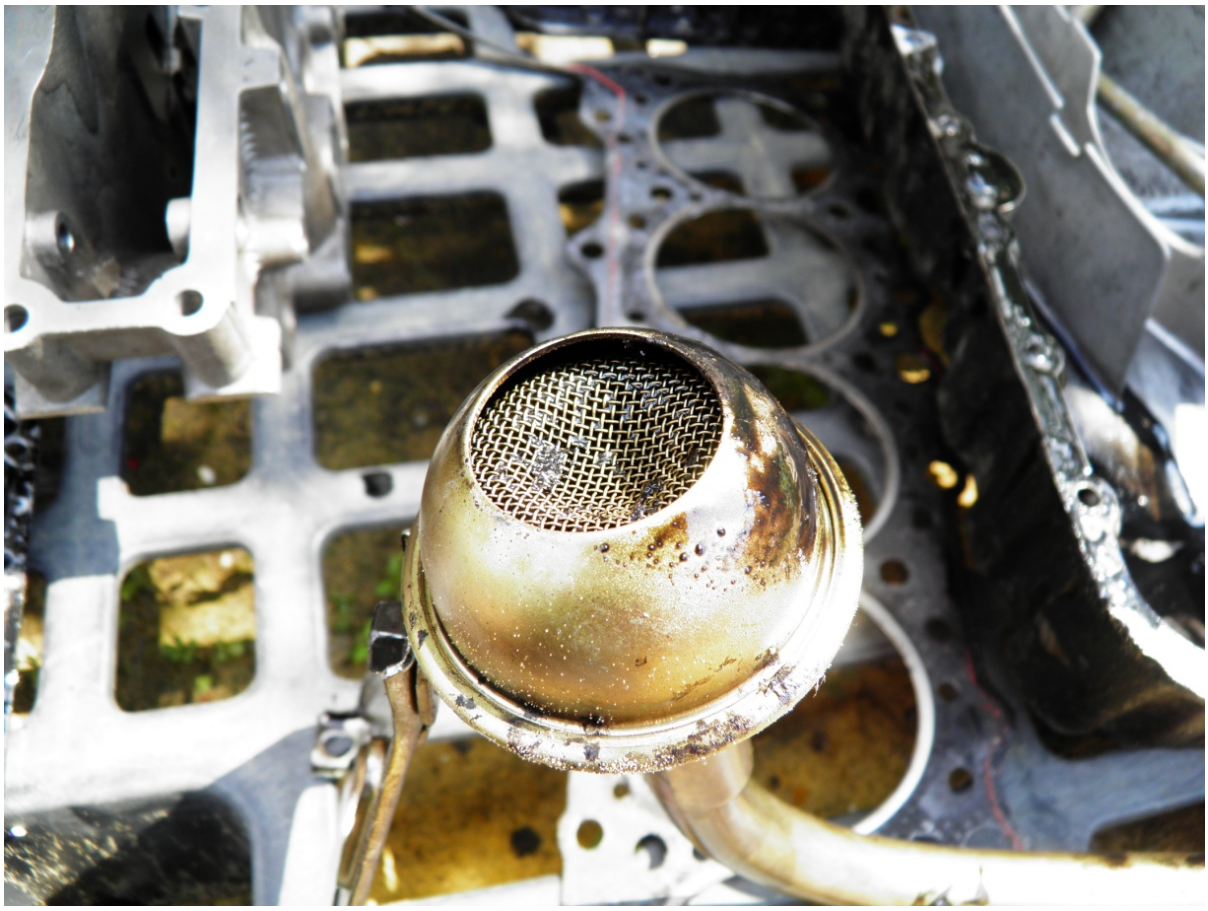


Рис.9. Маслоприймач з частинками забруднень на сітці.

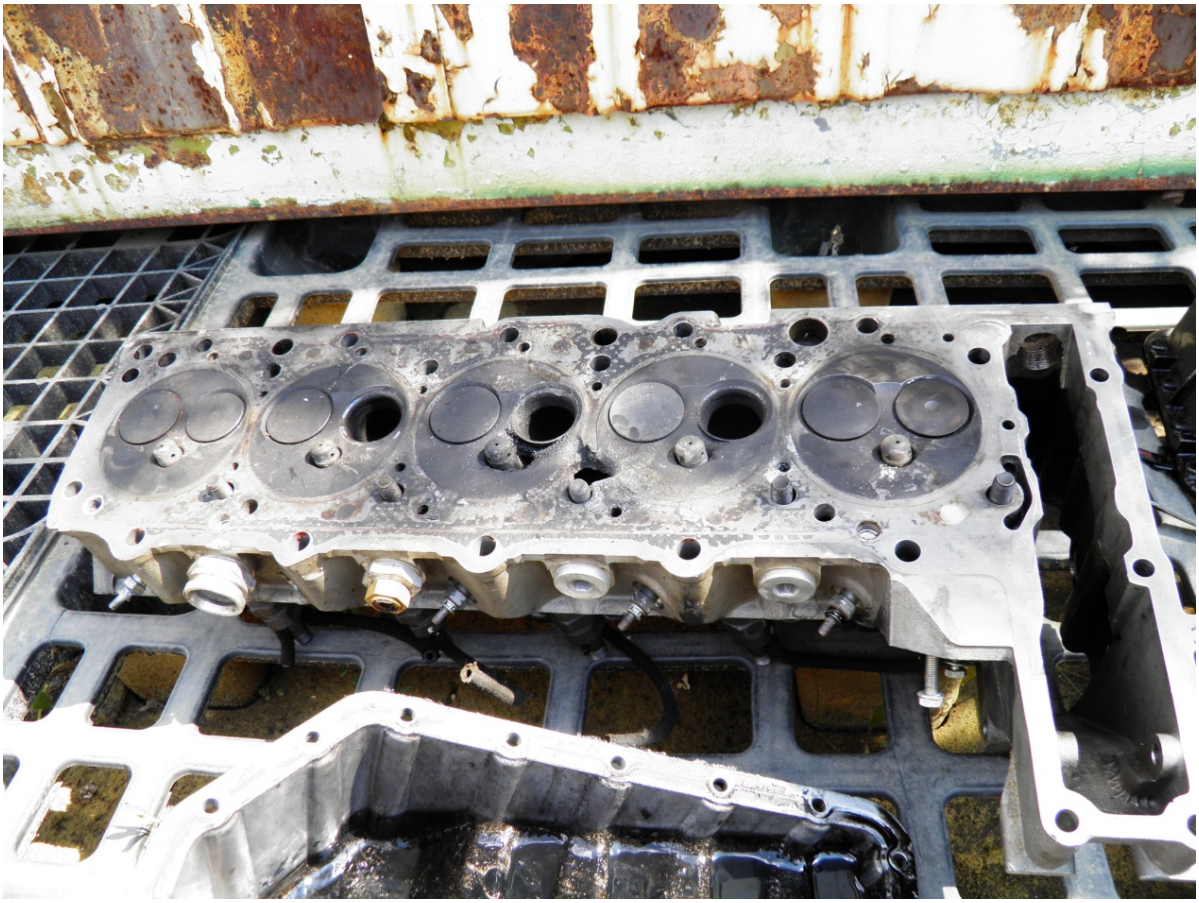


Рис.10. Головка блока циліндрів.

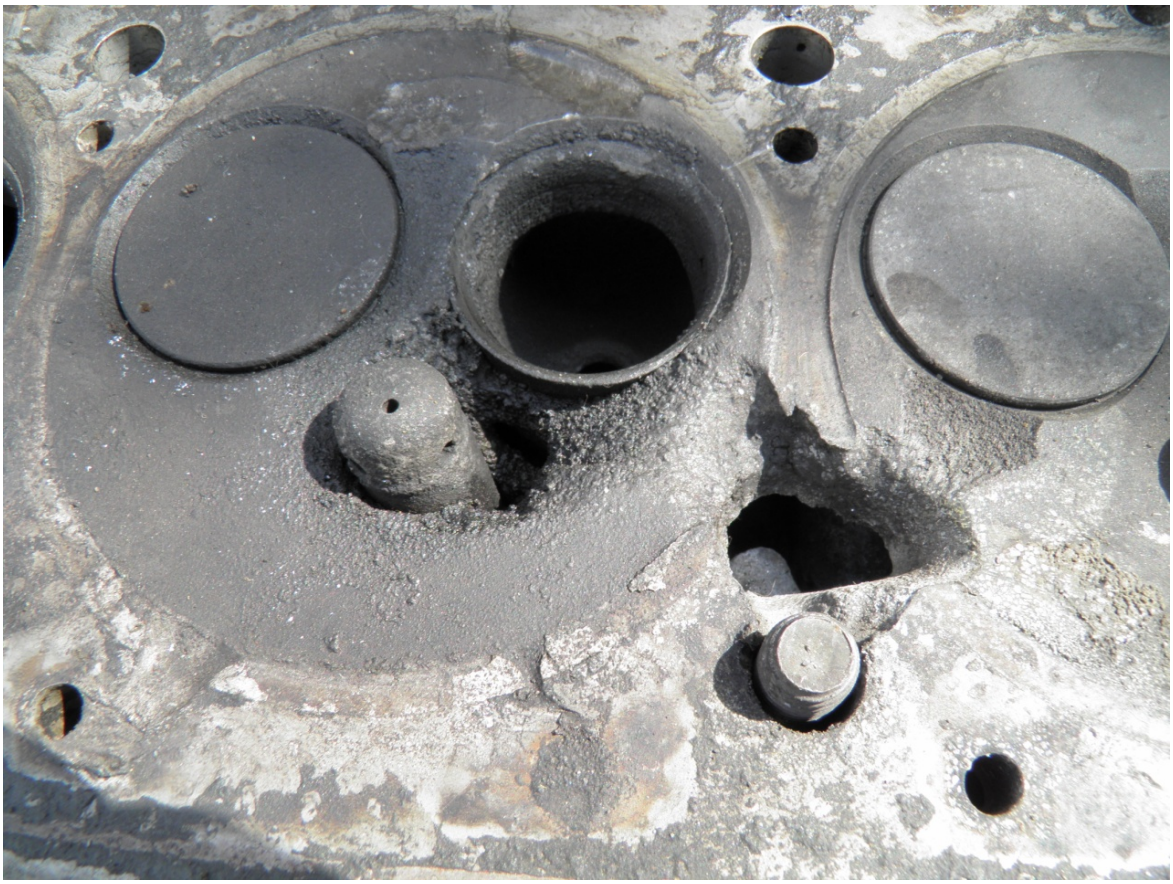


Рис.11. Пошкодження камери згоряння №3.

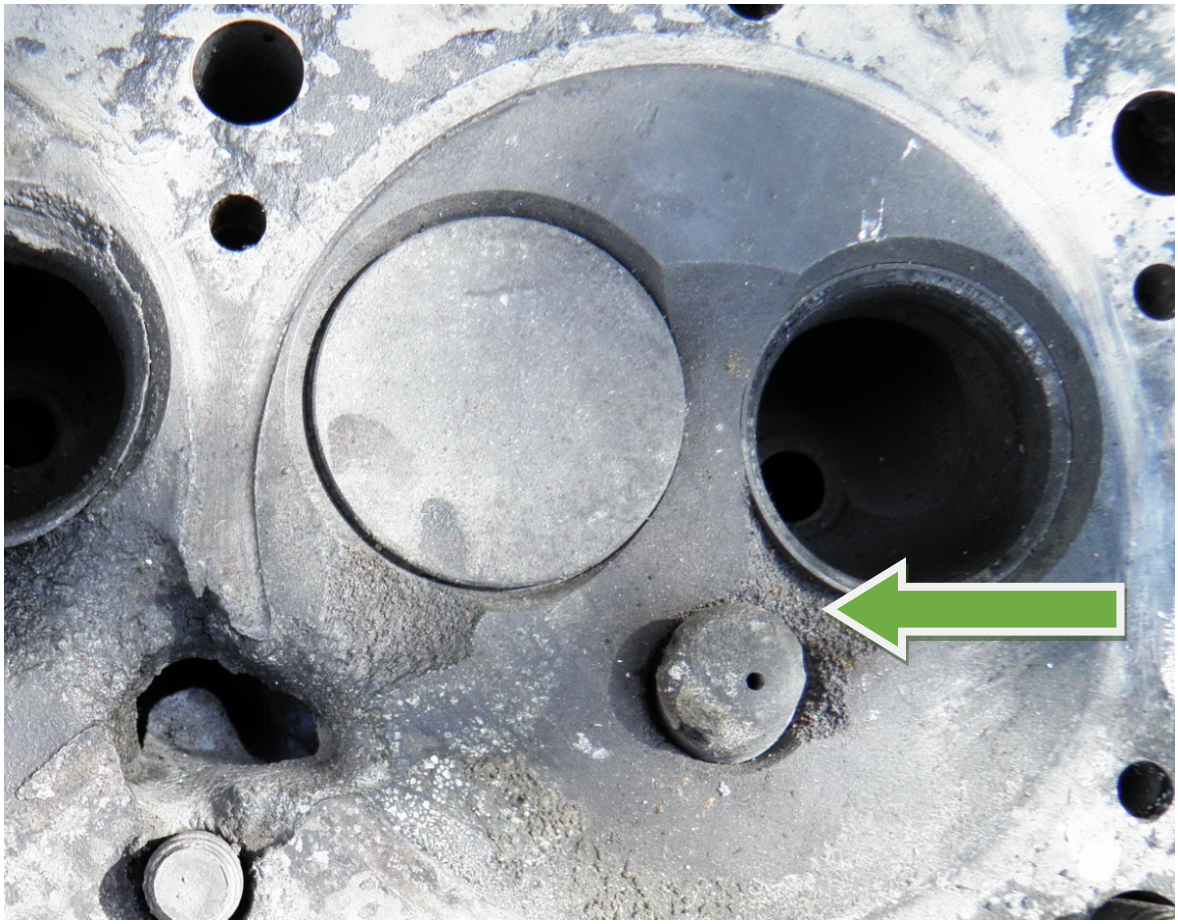


Рис.12. Камера згоряння №2 з ділянкою, що вигоріла, між предкамерою і випускним сідлом.

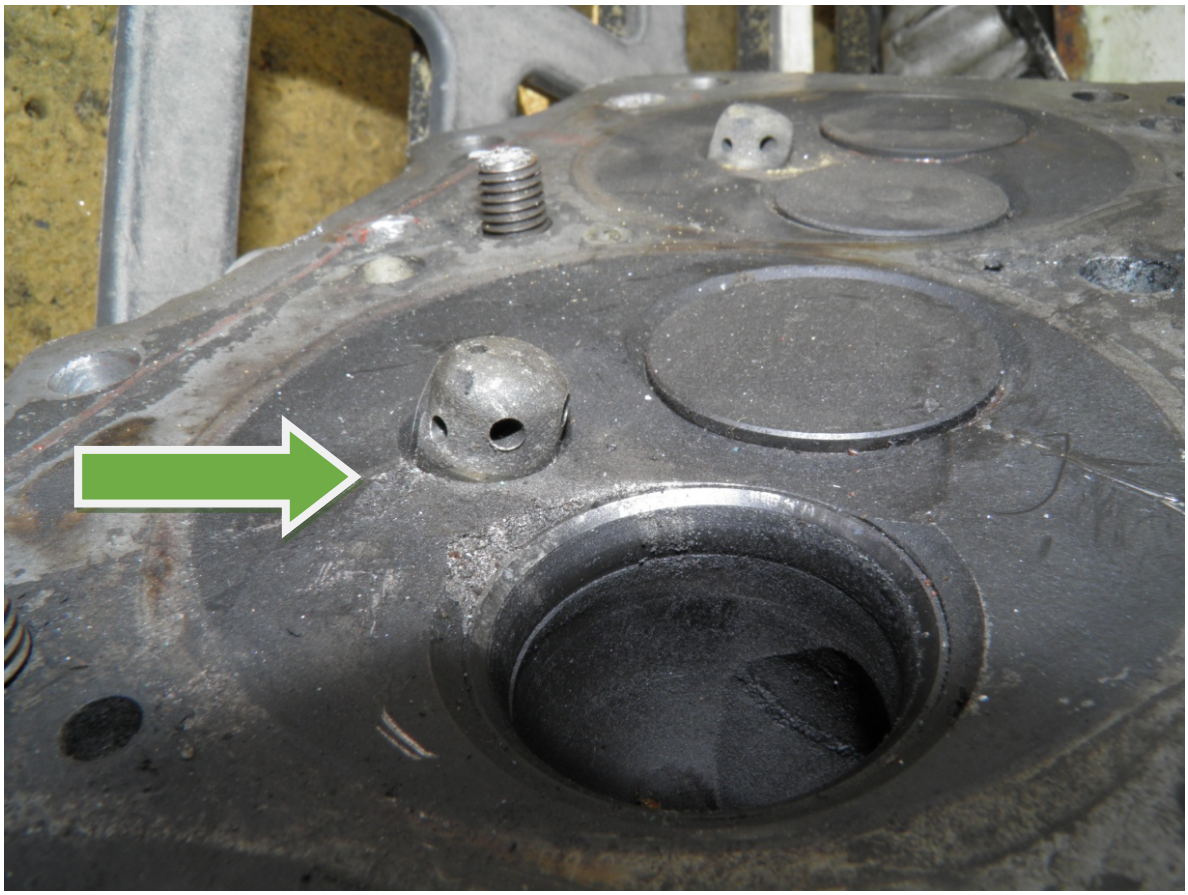


Рис.13. Початок плавлення стінки біля сідла та передкамери в камері №4.

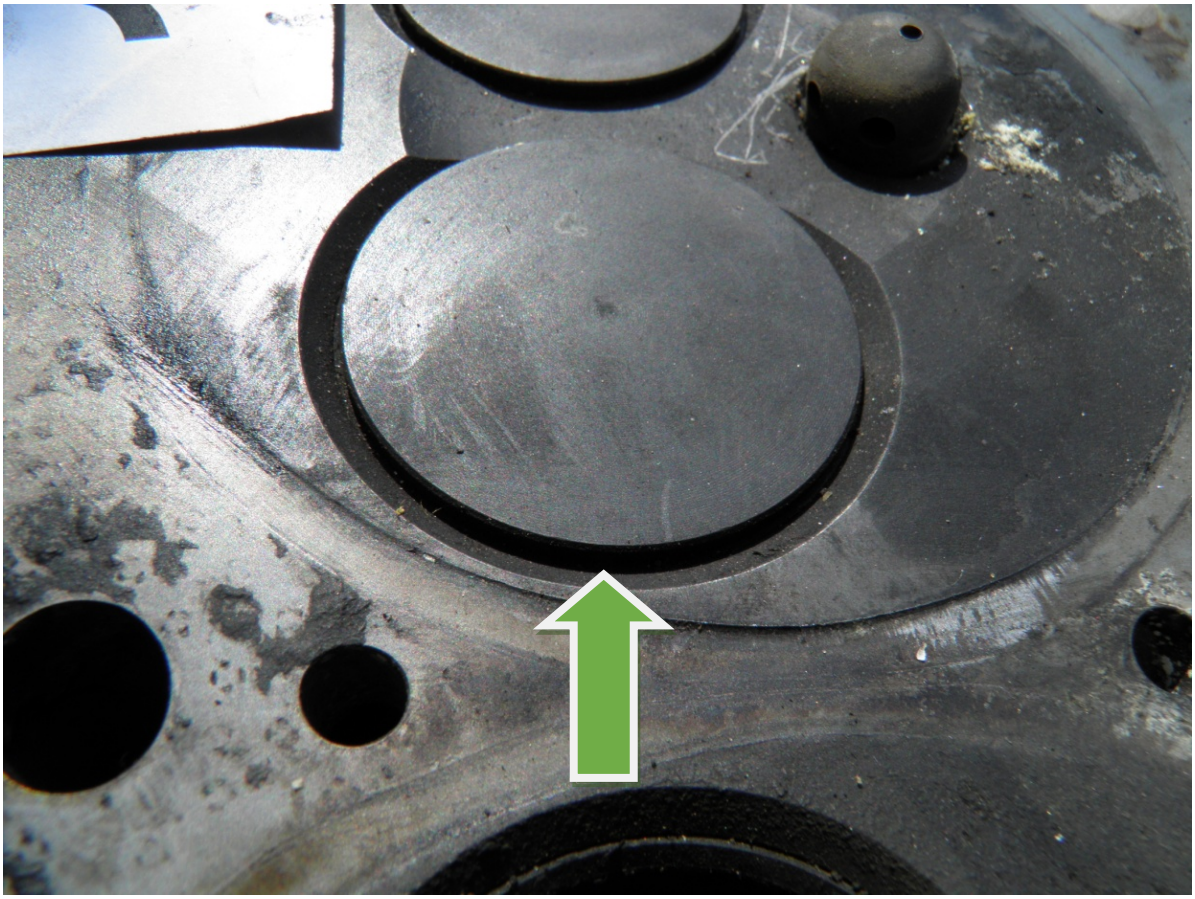


Рис.14. Продавлений слід від окантування прокладки ГБЦ у камері №1.

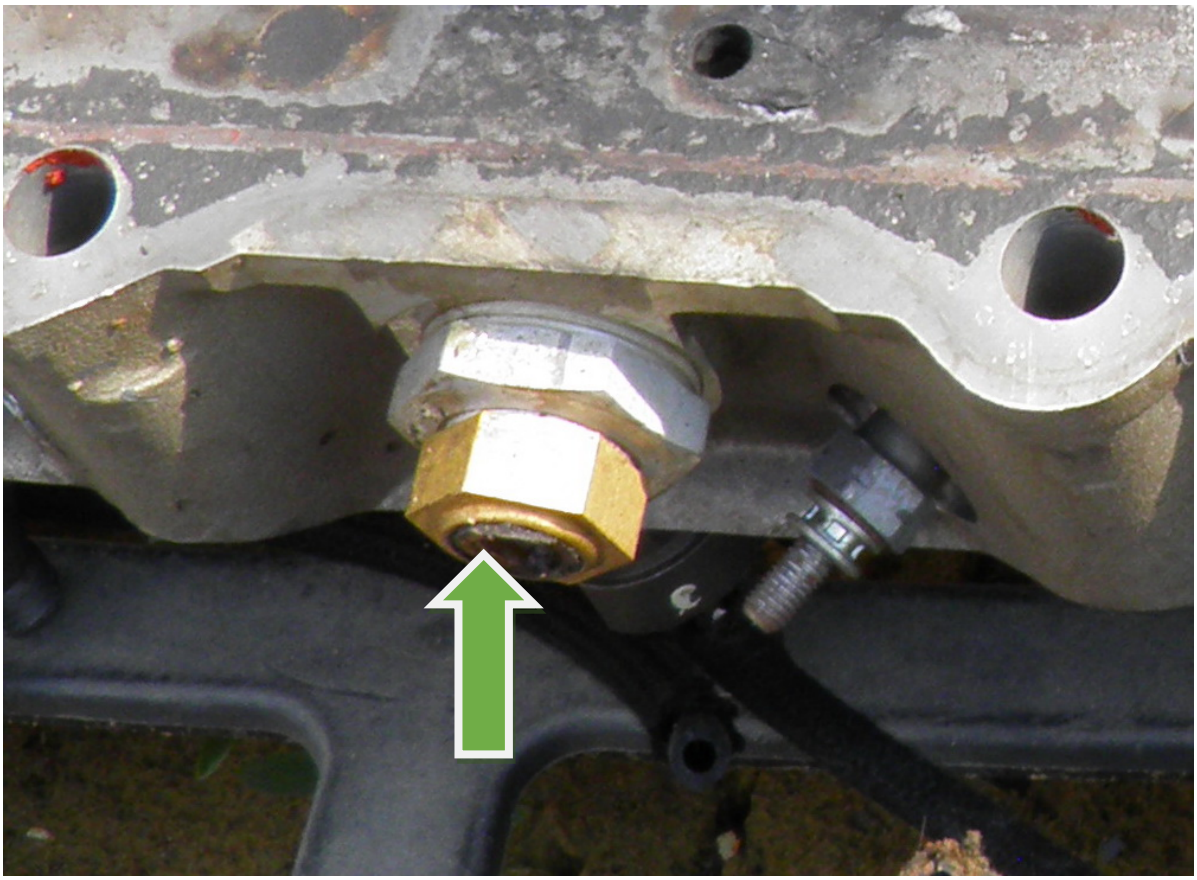


Рис.15. Датчик температури зі слідами плавлення пластикової клемної частини.

Рис.16. Задираки на стрижні випускного клапана.

Рис.17. Нагар на тарілці випускного клапана.

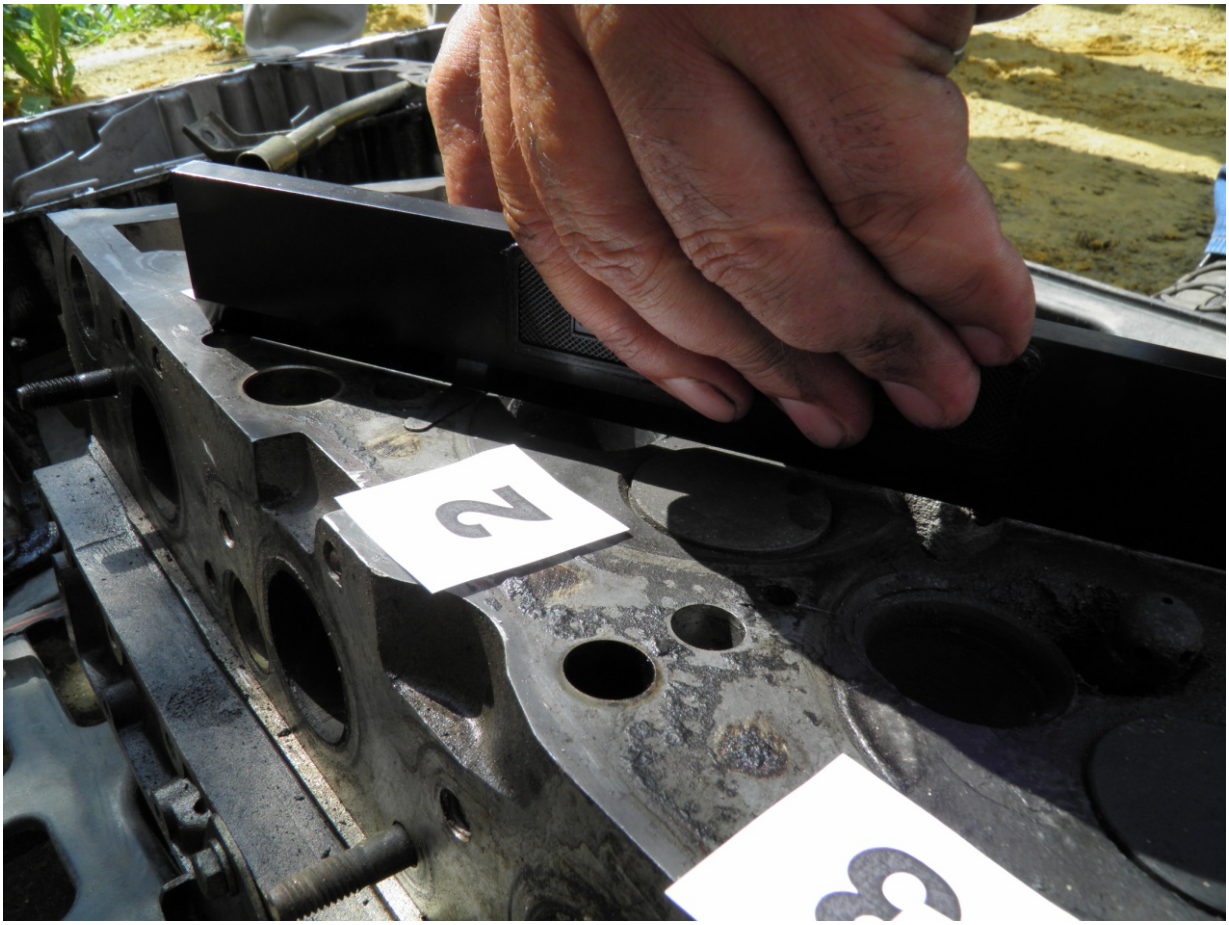


Рис.18. Перевірка деформації площини ГБЦ.

Рис.19. Прокладка ГБЦ.

Рис.20. Прогар прокладки в зоні циліндрів №№ 2 та 3.

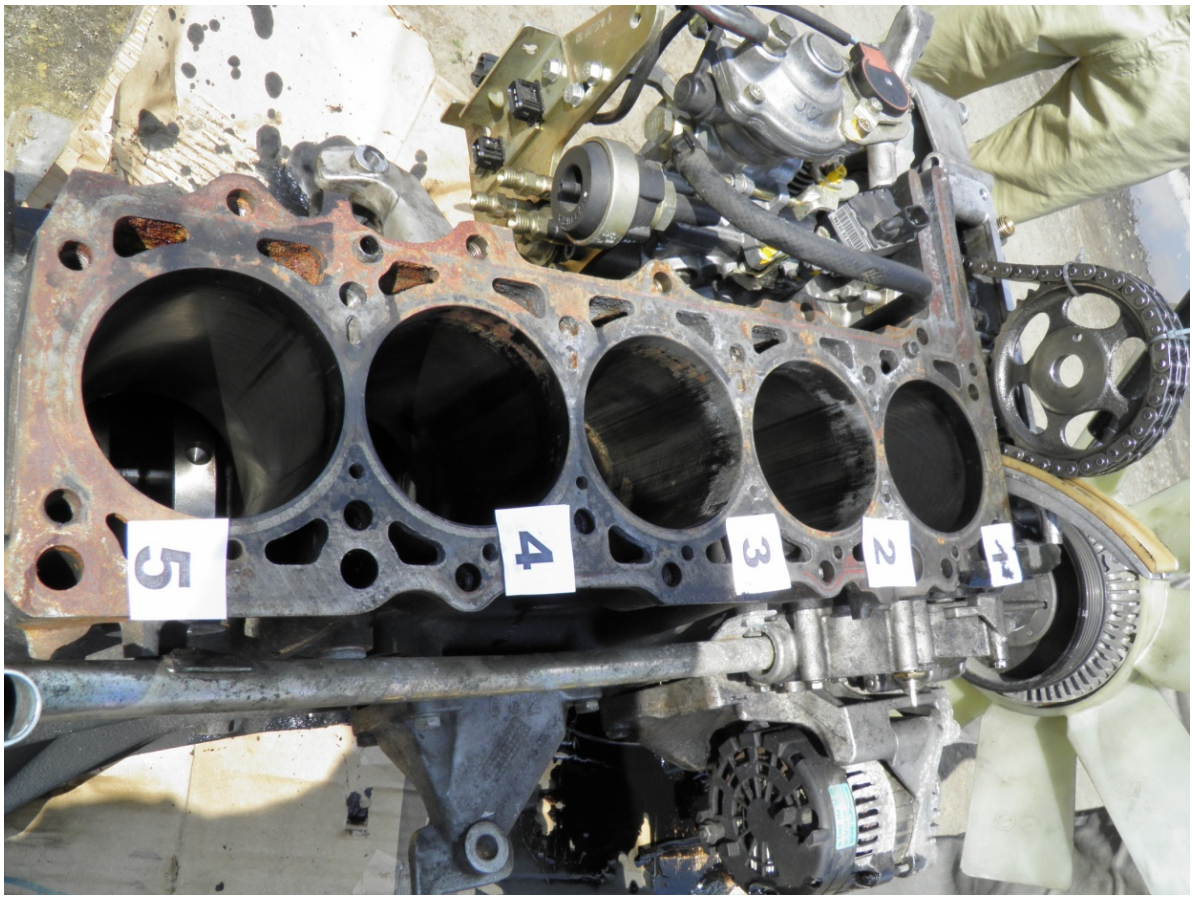


Рис.21. Блок циліндрів.

Рис.22. Найбільш сильно пошкоджений циліндр №3.

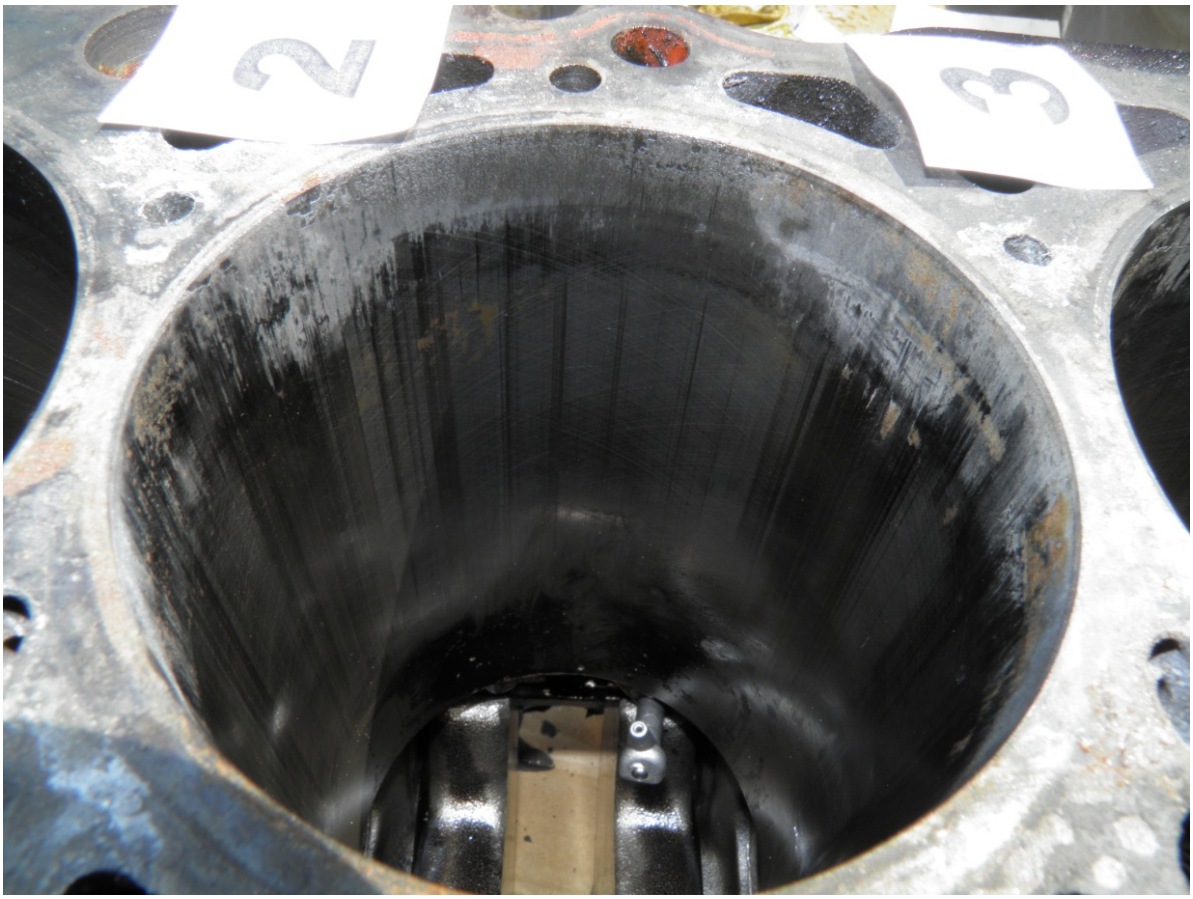


Рис.23. Пошкодження у циліндрі №2.

Рис.24. Пошкодження у циліндрі №4.

Рис.25. Цилиндр №1.

Рис.26. Цилиндр №5.

Рис.27. Поршень №1.

Рис.28. Поршень №2.

Рис.29. Поршень №3.

Рис.30. Поршень №4.

Рис.31. Поршень №5.

Рис.32. Впускний колектор.

Рис.33. Випускний колектор.

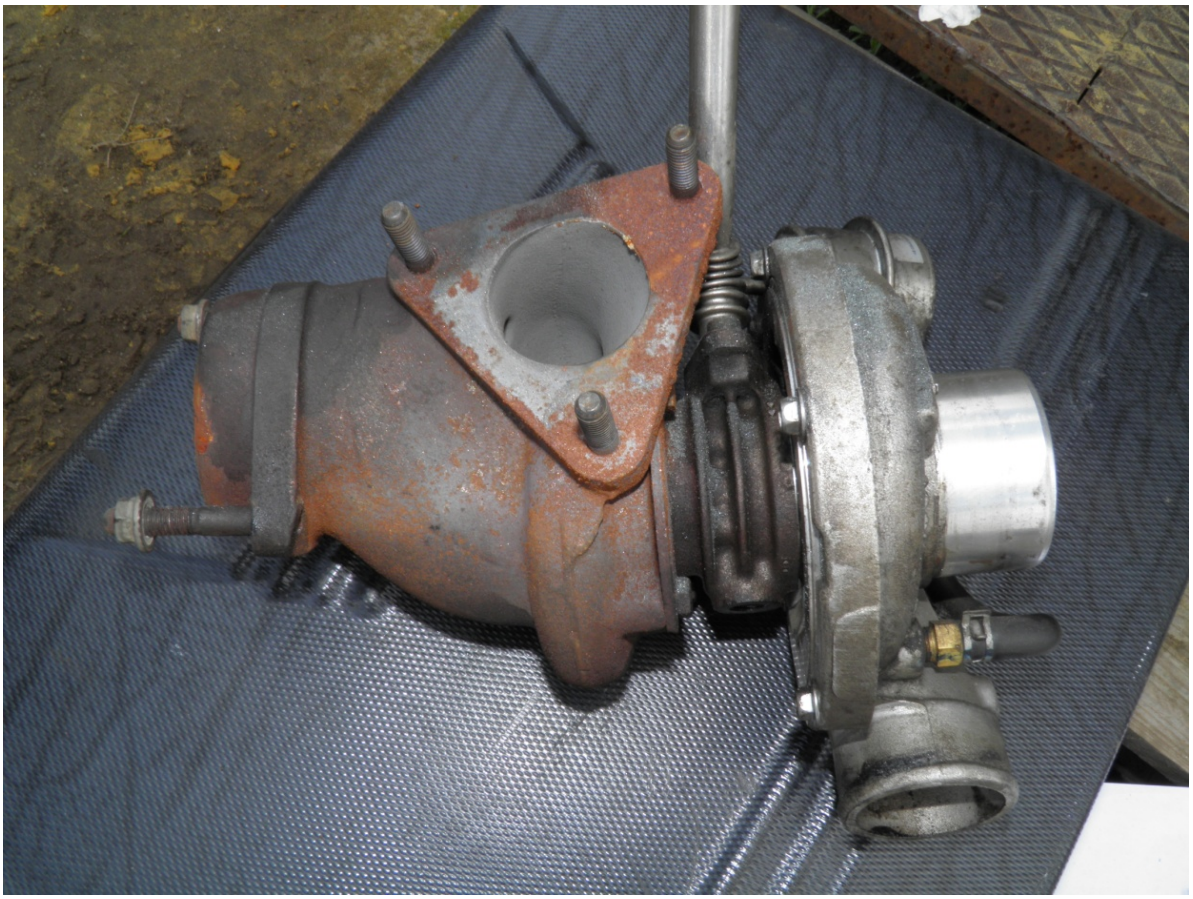


Рис.34. Турбокомпресор.

Рис.35. Стан колеса компресора – в нормі.

Рис.36. Перевірка працездатності мембранного приводу перепускного клапана ТКР.

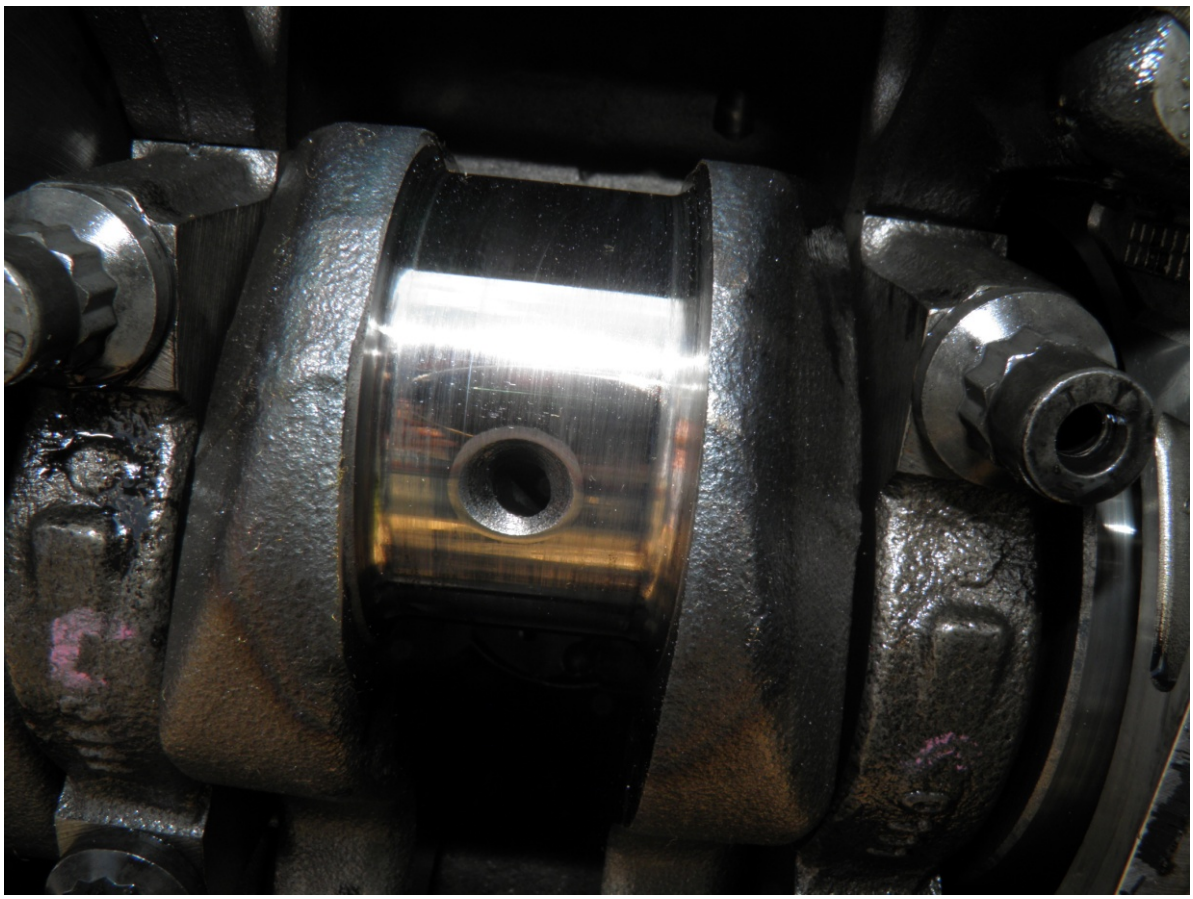


Рис.37. Стан шатунної шийки колінвалу.

Рис.38. Радіатор двигуна без явних слідів витікання рідини.

Рис.39. Засохлі краплі на розширювальному бачку та його кронштейні.

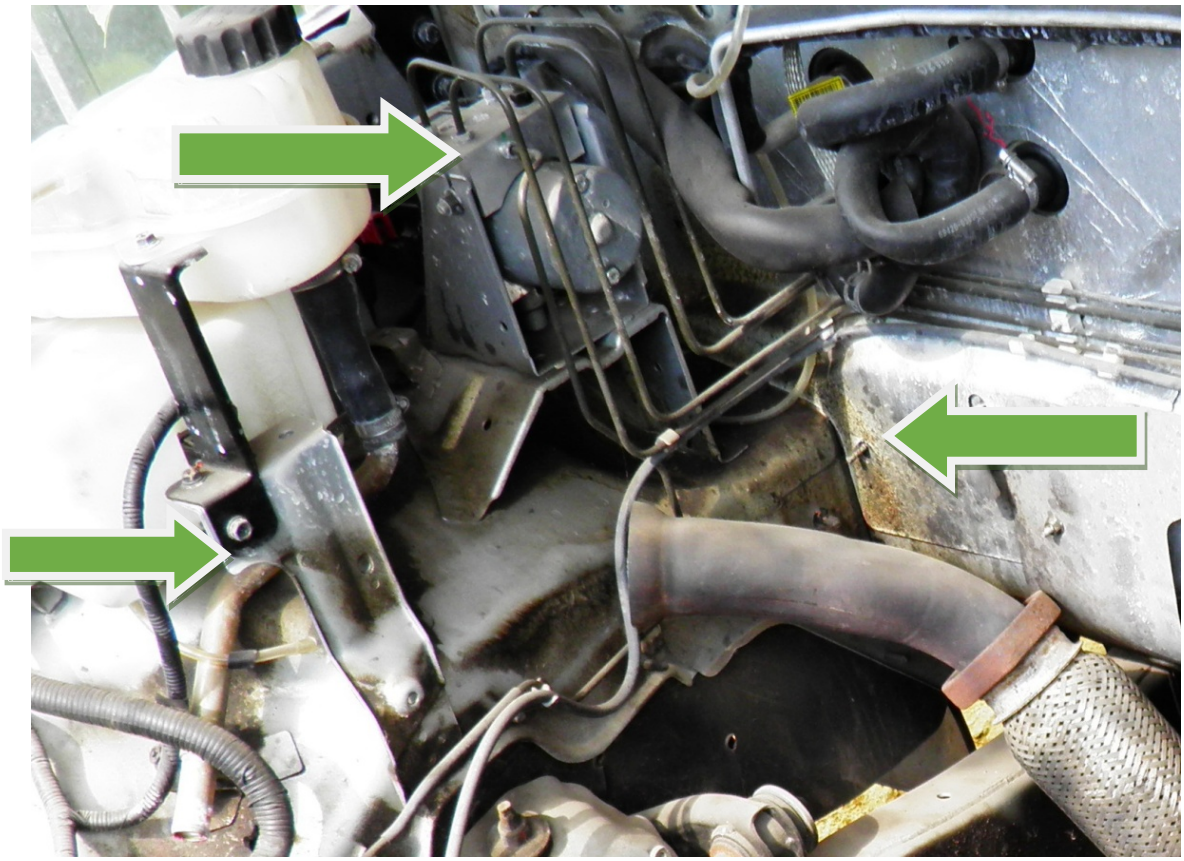


Рис.40. Засохлі краплі на правому лонжероні, кронштейні розширювального бачка та агрегаті ABS.

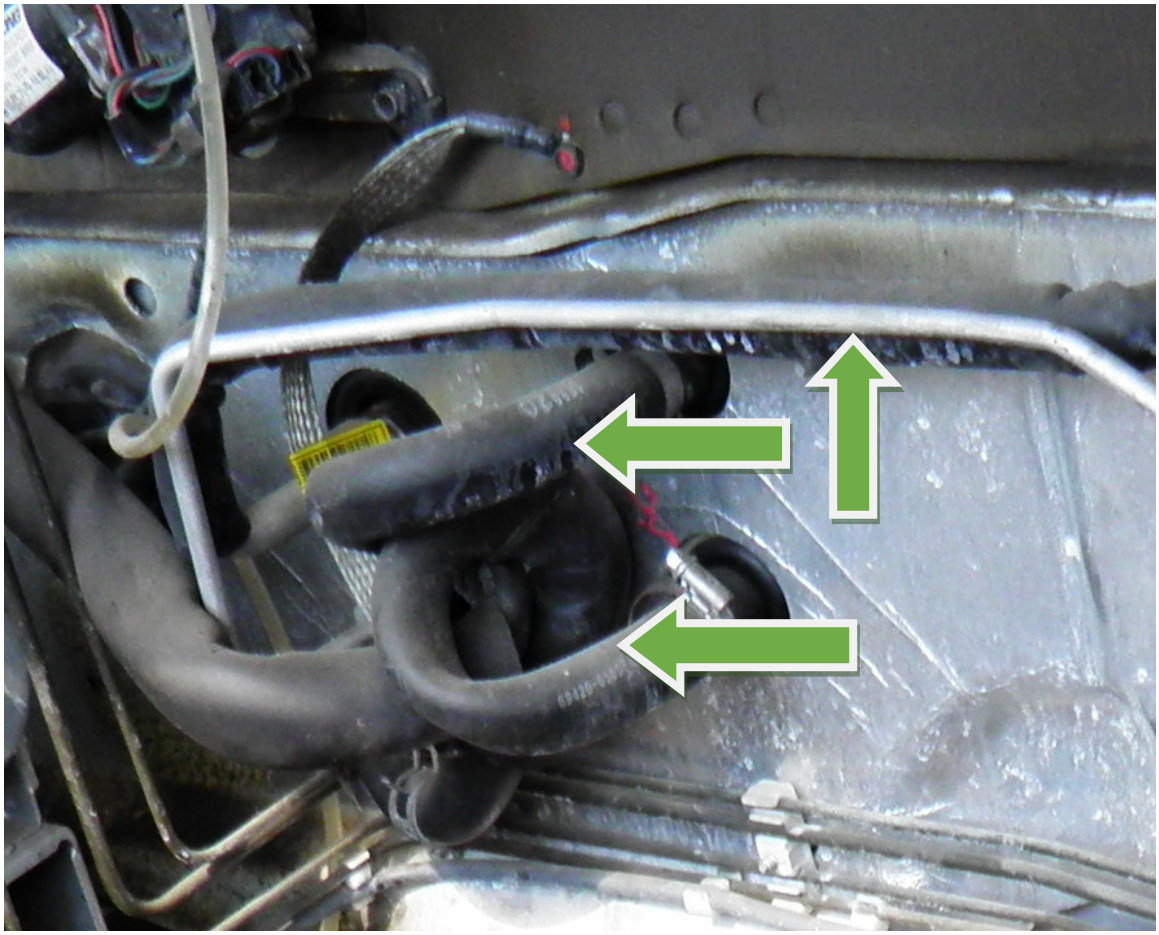


Рис.41. Висохлі краплі на шлангах нагрівника та трубках кондиціонера.

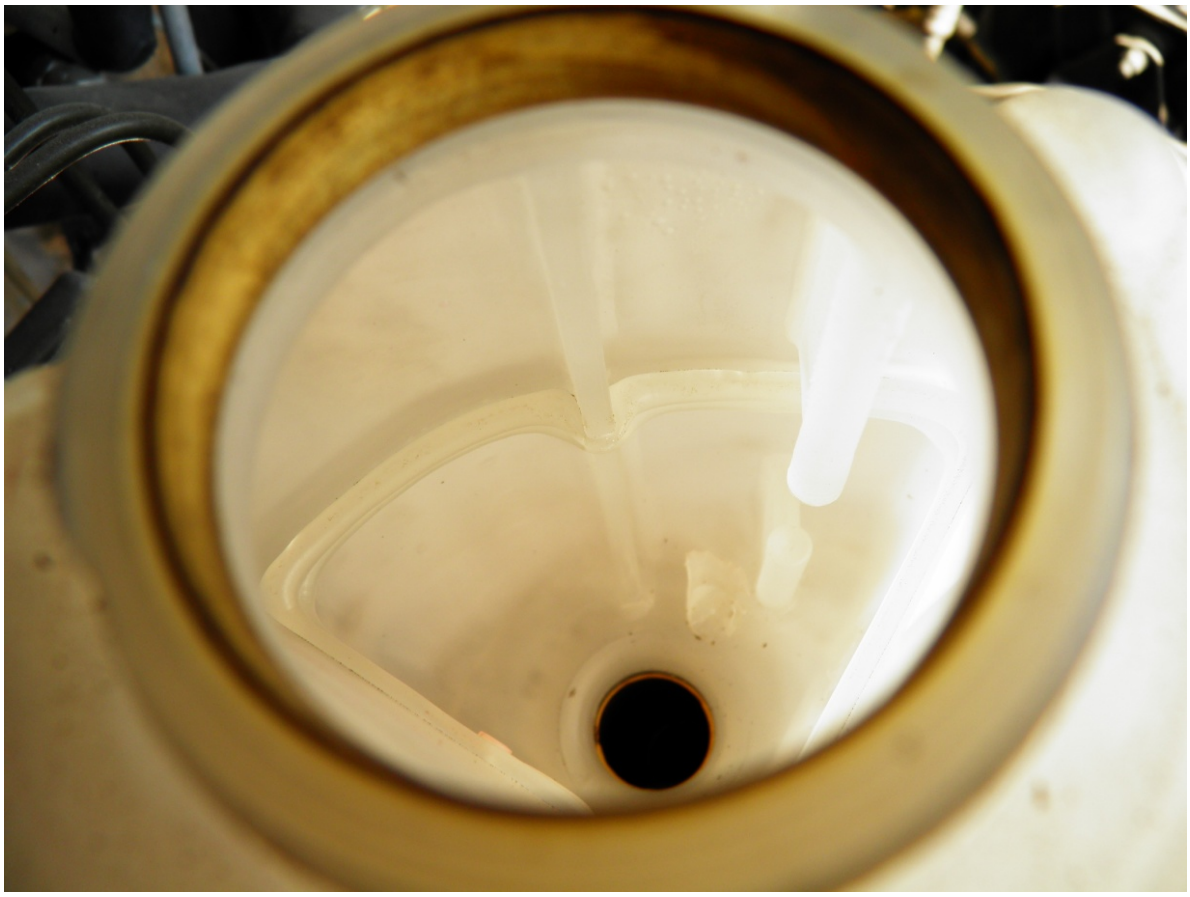


Рис.42. Залишки охолоджуючої рідини всередині розширювального бачка.

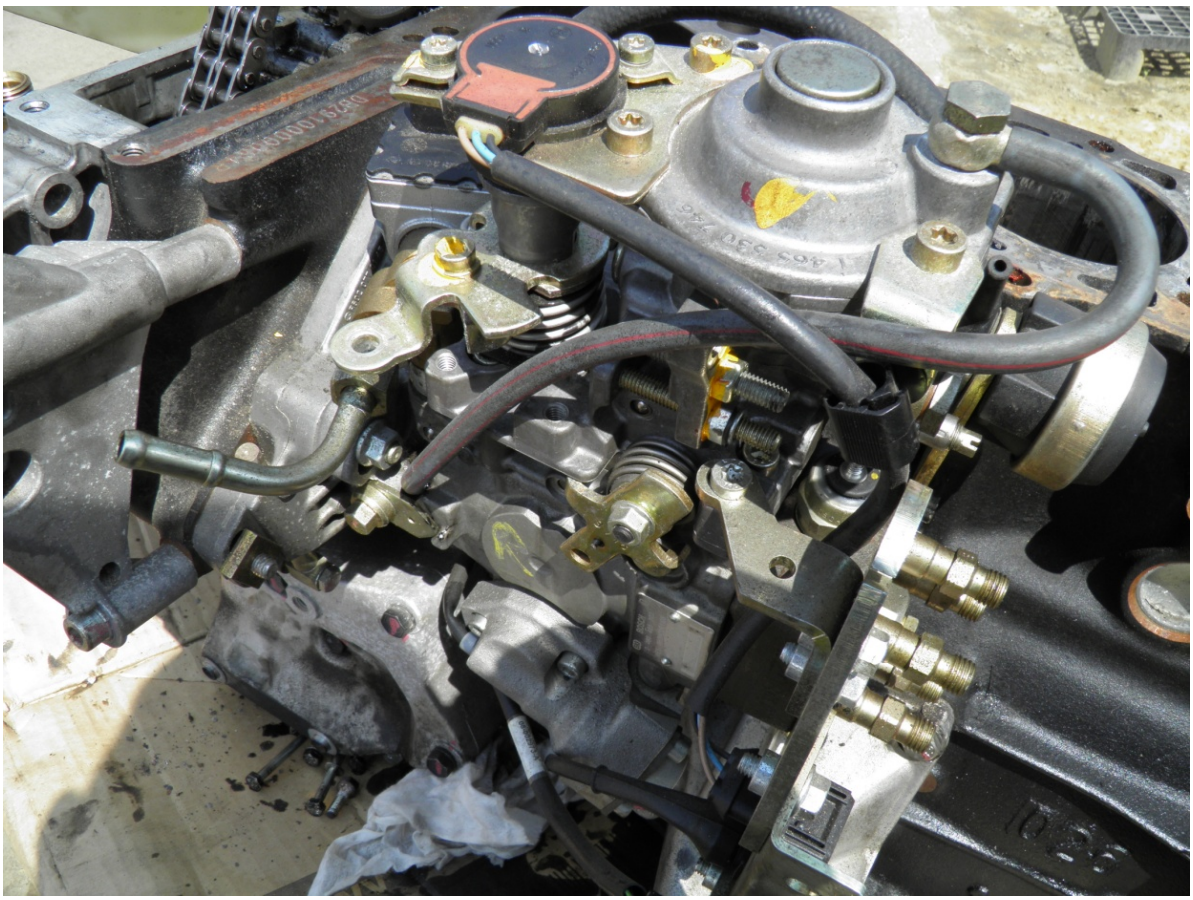


Рис.43. ПНВТ.

Рис.44. Паливний фільтр тонкого очищення.

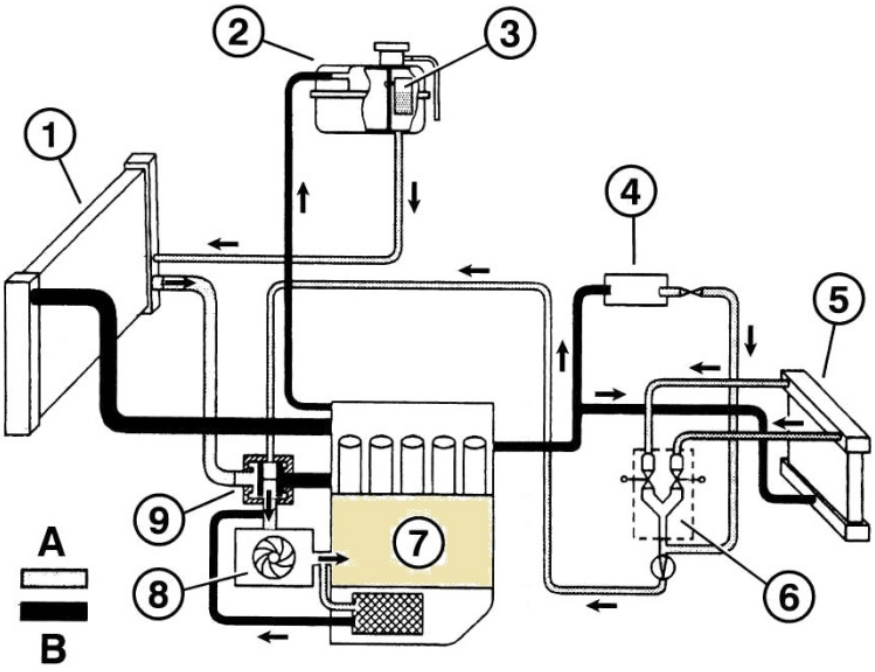


Рис.45. Схема системи охолодження досліджуваного двигуна:
1 – радіатор; 2 – розширювальний бачок із кришкою; 3 – силіконовий елемент; 4 – бачок рідини для склоочисника (обігрівається охолоджувальною рідиною); 5 – радіатор нагрівника салону; 6 – спарений вентиль регулювання обігріву; 7 – блок циліндрів; 8 – насос охолоджувальної рідини; 9 – термостат; А – подача; В – вихід

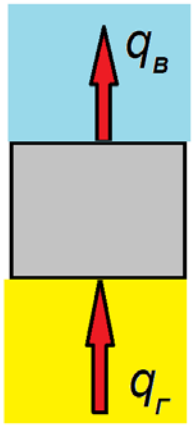


Рис.46. Розрахункова схема елемента стінки камери згоряння, що омивається гарячими газами та охолоджувальною рідиною

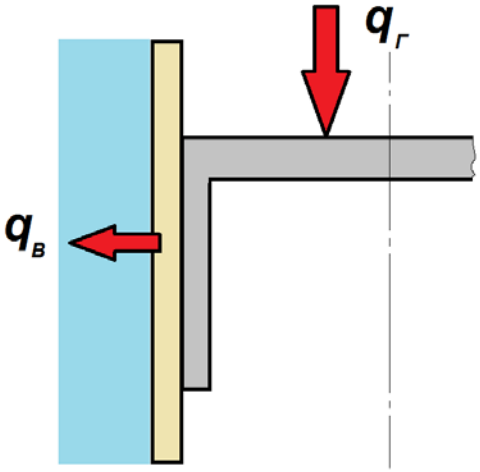


Рис.47. Розрахункова схема елемента днища поршня

Рис.48. Маршрут руху автомобіля від заправки паливом до відмови.

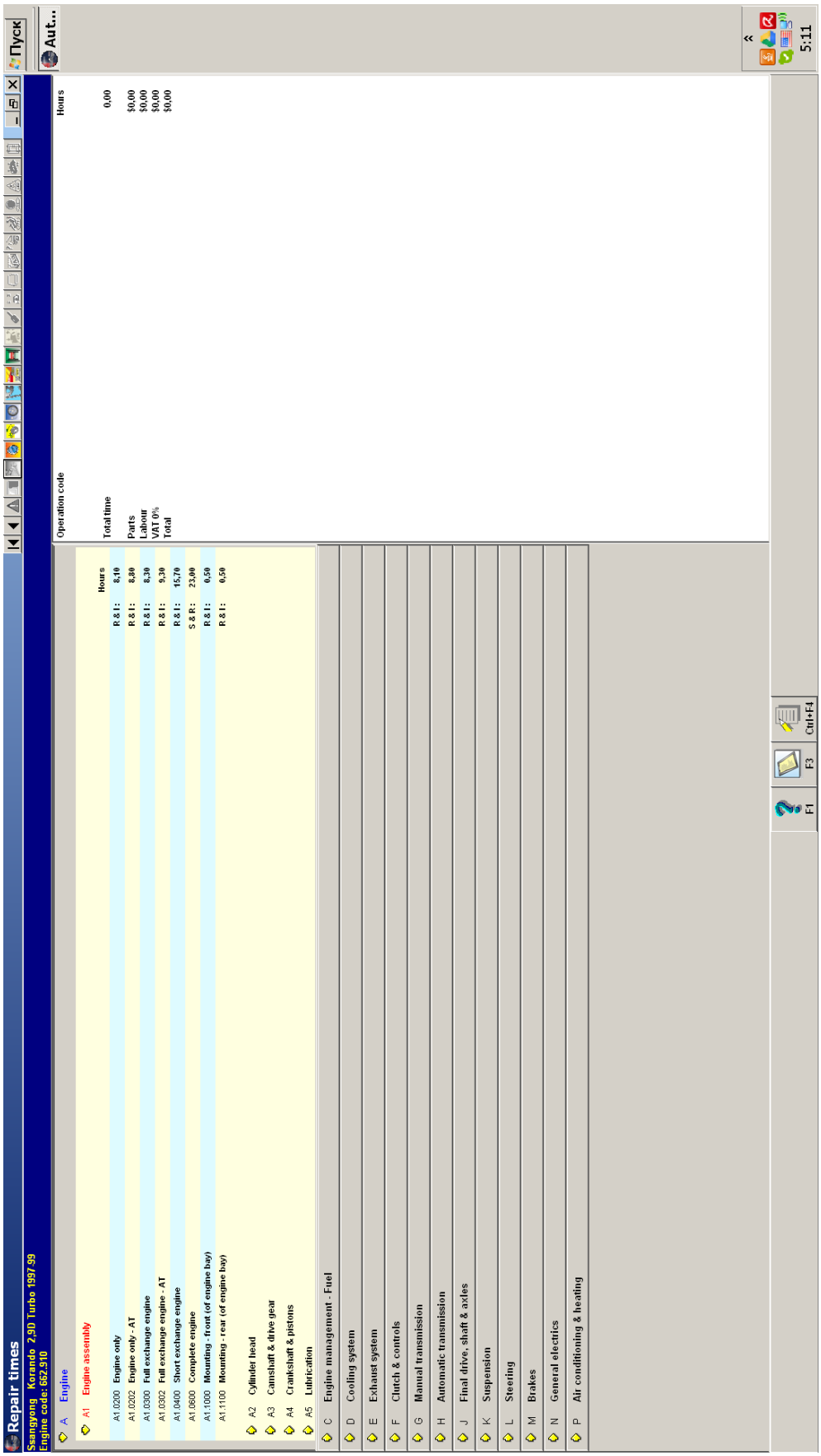


Рис.49. Трудомісткість робіт з ремонту двигуна в нормо-годинах.

Е.3 Висновок дослідження про причину виходу з ладу двигуна MERCEDES-BENZ CLA 200 (гідроудар)

ВИСНОВОК ЕКСПЕРТНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

технічного стану автотранспортного засобу

12.11.2019 № 01-А

ВСТУП

18.10.2019 до експерта Хрулєва О.Е. згідно договору № 01/03-А від 14.03.2018 надійшла заявка з проханням провести автотехнічне дослідження технічного стану автомобіля MERCEDES-BENZ CLA 200, VIN: WDDXXXXXN006631, рік випуску 2018.

Разом з листом надано:

1) Копія висновку експерта Б-ва А.В. від 21февраля 2019р.
2) Копія ремонтного замовлення № МН-0378348 від 13.08.2019р. на проведення діагностики через загоряння індикатора несправності двигуна і заміни датчика кисню в рамках гарантії на автомобіль.
3) Копія роздруківки Протоколу пам'яті системи управління на момент діагностики 13.08.2019р. за зверненням представника власника.
4) Копія роздруківки Протоколу узгодження заміни датчика кисню в рамках гарантії на автомобіль від 14.08.2019р.
5) Копія відповіді на звернення ТОВ «СК ДІАСКОН» в ТОВ «Мерседес-Бенц» від 17.03.2019г.
6) Копія претензії ТОВ «СК ДІАСКОН» до ТОВ «Анілон АГ» від 25 квітня 2019 р.

На вирішення експертного дослідження поставлені питання:

1. *Чи є несправності в двигуні автомобіля MERCEDES-BENZ CLA 200, VIN: WDDXXXXX1N006631, рік випуску 2013, і якщо так, то які конкретно?*
2. *Якщо несправності в двигуні є, то які причини їх виникнення?*
3. *Чи є несправності в двигуні автомобіля наслідком виробничого дефекту, робіт з технічного обслуговування (ремонту) автомобіля або / та інших дій, в тому числі, установки системи запобігання викраденню, тюнінгу і т.д., або результатом експлуатації автомобіля?*
4. *Чи могли дії власника і / або особи, яка керувала автомобілем, привести до таких несправностей?*

Проведення експертного дослідження доручено:

Хрулєв Олександр Едуардович – судовий експерт, спеціаліст у галузі конструкції, робочих процесів і несправностей двигунів внутрішнього згоряння, начальник Бюро моторної експертизи, що має право на проведення автотехнічних експертних досліджень (свідоцтво №

1923 від 20 лютого 2018 р. за спеціальністю «Дослідження технічного стану транспортних засобів»), освіта вища (Московський авіаційний інститут, факультет «Двигуни літальних апаратів», 1979р.), кандидат технічних наук (1985р.), старший науковий співробітник за спеціальністю «Теплові двигуни», автор книги «Ремонт двигунів закордонних автомобілів» та понад 150 статей з моторної тематики, стаж роботи зі спеціальності (теорія, конструкція, експлуатація та ремонт двигунів внутрішнього згоряння) – 28 років, з них експертом – 10 років.

При проведенні експертного дослідження використовувалися наступні інформаційні джерела:

Законодавчі, нормативні акти і методики експертних досліджень:

1. Закон України "Про судову експертизу" (введено в дію з дня опублікування — 21 квітня 1994 року згідно з Постановою Верховної Ради України від 25.02.1994 № 4038а-XII, останні зміни внесено: Закон України від 24.12.2015 № 911-VIII).
2. Інструкція про призначення та проведення судових експертиз та експертних досліджень (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 08.10.1998 за № 53/5, зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства юстиції України від 27.07.2015 за № 1350/5).
3. Інструкція про особливості здійснення судово-експертної діяльності атестованими судовими експертами, що не працюють у державних спеціалізованих експертних установах (затверджена Наказом Міністерства юстиції України 12.12.2011 № 3505/5).
4. ПРАВИЛА надання послуг з технічного обслуговування і ремонту автомобільних транспортних засобів. Наказ Міністерства транспорту України від 11.11.2002 за N 792.
5. ЗАКОН УКРАЇНИ "Про захист прав споживачів". Відомості Верховної Ради УРСР (ВВР), 1991, N 30, ст.379.
6. "Правила дорожнього руху". Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 10 жовтня 2001 р. за № 1306.
7. Державний Стандарт України ДСТУ 2860-94. "Надійність техніки. Терміни та визначення". Чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. К.: Держстандарт України, 1995. 92 с.
8. ДСТУ 3649:2010. Колісні транспортні засоби. Вимоги щодо безпечності технічного стану та методи контролювання. Видання офіційне. Київ: Держстандарт України, 2011. – 30 с.

Науково-технічна та довідкова література.

Література по досліджуваного автомобілю і двигуну:

1. Mercedes-Benz CLA-Class. Інтерактивний посібник з експлуатації. Mercedes-Benz. Мережа «Интернет» http://www.mercedes-benz.de.
2. Двигун 270.910 M270 E16; R4 GASOLINE ENGINE M270 E16. Каталог автозапчастей Mercedes-Benz. Мережа Інтернет, Інтернет-магазин Exist. www.exist.ua.
3. База даних Autodata 3.38. Посібник з ремонту, обслуговуванню та діагностики всех марок автомобілей. Версія: CDA3.38, Hotline Number: 01628 688150. Autodata Ltd, 2010.

Література по конструкції і процесам в двигунах:

4. Workshop Manual CAMRY /ASV50, GSV50, ACV51, (RM19r1RU). TOYOTA MOTOR, «Technical documentation information portal Toyota-TechDoc», www.toyota-tech.eu.
5. TOYOTA CAMRY. User's Guide. TOYOTA MOTOR CORPORATION, Publication No.OM33867R, Part No.01999-33867, Japan. 564c.
6. Road vehicles — Diagnostic communication over Controller Area Network (DoCAN). Part 4: Requirements for emissions-related systems. http://www.iso.org/iso/ru/home/store/.
7. Чабанний В.Я. Ремонт автомобілів / В.Я.Чабанний, С.О.Магопець, О.Й.Мажейка та ін., ред. В.Я.Чабанного. Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2007. 348 с.
8. Абрамчук Ф.І. Автомобільні двигуни. 4-те вид. / Ф.І. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долганов и др. Київ : Арістей, 2009. 476 с.
9. ilipczyk J. Piston damages – case studies and possibilities of early detection / J. Filipczyk, Z. Stanik // Journal of KONES Powertrain and Transport. 2012. Vol.19. No.4. P. 179–184.
10. Piston Damage – Causes and Remedies. MAHLE GmbH, Stuttgart, Germany, 1999. 66p.
11. Broken stems of intake and exhaust valves. TRW Service Information No.SI 0015. MS Motor Service International GmbH, 74196 Neuenstadt, Germany, 2006. 2p.
12. Broken valve at end of stem. Valve timing errors are the principal cause / TRW Service Information No.SI 0028; пер. с англ. Neuenstadt: MS Motor Service International GmbH, 2011. 2 p.
13. Engine components and filters. Damage profiles, probable causes and prevention. Technical information MS3–1109. Farmington Hills: Mahle Aftermarket Inc., 2013. 76 p.
14. Писаренко Г.С. Опір материалів. 2-ге вид. / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський; За ред. Г.С.Писаренка. К.: Вища шк., 2004. 655 с.
15. Рудь Ю.С. Основи конструювання машин: Підручник для студентів інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. 2-е вид., переробл. Кривий Ріг: Видавець ФОП Чернявський Д.О., 2015. 492 с.
16. Hutchings I. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials. 1st ed. / Hutchings I., Shipway P., ed. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann; 1992. 165 p.
17. Askeland D.R. The Science and Engineering of Materials. Sixth Edition / D. R. Askeland, P. P. Fulay, W. J. Wright. Stamford: Cengage Learning, 2010. 923 p.
18. Budynas R.G. Shigley's Mechanical Engineering Design – 9th ed. McGraw–Hill Series in Mechanical Engineering / R. G. Budynas, J. K. Nisbett. New York: McGraw–Hill Companies, Inc., 2011. 1082 p.
19. Сукач М.К. Автомобільні експлуатаційні матеріали. Паливно-мастильні матеріали та спеціальні рідини. Частина 1 / М. К. Сукач та інші. К.: Університет "Україна", 2006. 256 с.
20. Raghuwanshi N.Kr. Failure Analysis of Internal Combustion Engine Valves: A Review / Naresh Kr. Raghuwanshi, Ajay Pandey, R. K. Mandloi / International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. 2012. Vol. 1. Issue 2. P. 173–181.
21. Engine Bearings. Failure & Analysis Guide. Clevite Issue. Ann Arbor: Mahle Clevite Inc., 2008. 32 p.
22. Silva F.S. Fatigue on engine pistons – A compendium of case studies / F. S. Silva // Engineering Failure Analysis. 2006. Vol.13. P. 480–492.
23. Engine Bearings: Failure Analysis and Correction. Farmington Hills: MAHLE Aftermarket Inc., 2014. 39 p.
24. Engine bearings. Catalogue. Kolbenschmidt. Neuenstadt: MS Motorservice International GmbH, 2013. 1776 p.
25. Premature Failures Manual. São Paulo: MAHLE Metal Leve S.A., 2014. 68 p.

26. Yamaha Parts Fauilure Identification Guide. LIT-11661-00-PF. Buena Park: Yamaha Motor Corporation, 2001. 72p.
27. Mohammed M.N. Failure Analysis of a Fractured Connecting Rod / M.N. Mohammed, M.Z. Omar, Z. Sajuri // Journal of Asian Scientific Research. 2011. V.2. P. 737–741.
28. Amaral Affonso L.O. Machinery Failure Analysis Handbook. 1st Edition / L. O. Amaral Affonso. Houston: Gulf Publishing Company, 2006. 308 p.
29. Damage diagnosis. Oil consumption and oil loss. Neckarsulm: MS Motorservice International GmbH, 2004. 24 p.
30. Основи судово-експертного дослідження технічного стану транспортних засобів (Судова автотехнічна експертиза. Частина III, Випуск I) / Упоряд. Г. В. Жилінський; під нав. ред. А. Б. Розумова. К.: НИИСЭ, 1987. 112 с.
31. Heyes A.M. Automotive Component Failures. Engineering Failure Analysis / A. M. Heyes // Elsevier Science Ltd. 1998. Vol.5. No.2. p. 129–141.

При проведенні дослідження використовувалися наступні методи, вимірювальні та технічні засоби:

1) **візуальний метод** – дослідження та оцінка якості об'єктів за допомогою органів зору;
2) **вимірювальний метод** – шляхом вимірювання параметрів елементів двигуна спеціальними вимірювальними приладами, в тому числі шляхом вимірювання розмірів деталей спеціальними вимірювальними приладами:
   • штангенциркуль ШЦ-1-150, зав.№80226004, свідоцтво про повірку №1012-201,
3) **розрахунковий метод** (непрямий вимірювальний метод) – шляхом розрахунків різних параметрів на основі результатів вимірювань і інших даних,
4) **експертний метод** (метод експертної оцінки) – сукупності операцій по вибору комплексу або окремих показників об'єкта, визначення їх дійсних значень і оцінкою експертом відповідності їх встановленим вимогам та / або технічної інформації.

Фотографування об'єкта здійснювалася цифровим фотоапаратом «Olimpus SP- 800UZ» з режимом супер макрозйомки при збільшенні зображення до 30: 1.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Основні терміни та визначення які випростовуються в дослідницькій частині:

Несправність (несправний стан) – стан двигуна (агрегату), при якому його параметри не відповідають хоча б одній з вимог, зазначених в нормативно-технічної та / або конструкторської документації.

Зношування (знос) – процес зміни розмірів (різниця розмірів, стан) деталі в результаті відділення з її поверхні частинок матеріалу.

Природний знос – знос деталей при нормальній експлуатації двигуна (агрегату) внаслідок природних причин.

Катастрофічний знос – стан двигуна (агрегату) в фінальній стадії експлуатації, що характеризується великим зносом і зазорами в сполученнях деталей, при яких поява ударних навантажень в сполученнях призводить до поломок деталей і виходу агрегату з ладу.

Пошкодження – подія (стан), що характеризується порушенням справного стану двигуна (агрегату) в експлуатації при збереженні його працездатності.

Дефект – невідповідність двигуна (агрегату, вузла, деталі) встановленим вимогам.

Застосовується для готової продукції промислового виробництва при контролі якості при її виготовленні і ремонті. Термін "дефект" не поширюється на подальше використання (експлуатацію) продукції.

Конструктивний дефект – дефект, викликаний порушенням встановлених норм проектування (конструювання) двигуна.

Виробничий дефект – дефект, викликаний порушенням встановленої технології виготовлення двигуна (агрегату).

Відмова (поломка) – порушення працездатності, вихід з ладу або поломка двигуна (агрегату) в процесі його роботи через неправильну експлуатацію, поганого обслуговування (ремонту) та / або конструктивно-виробничих дефектів.

Умовні позначення.

ДВЗ – двигун внутрішнього згоряння.

ЦПГ – циліндропоршневая група, що складається з поршня, поршневих кілець і циліндра.

ГРМ – газорозподільний механізм, включає розподільний вал, клапани, штовхачі, пружини і ін.

БЦ – блок циліндрів.

КВ – колінчастий вал.

РВ – розподільний вал.

КШМ – кривошипно-шатунний механізм

ГБЦ – головка блоку циліндрів.

НГШ – нижня (кривошипна) головка шатуна.

ВГШ – верхня (поршнева) головка шатуна.

ВМТ – верхня мертва точка, саме верхнє положення поршня в циліндрі.

НМТ – нижня мертва точка, саме нижнє положення поршня в циліндрі.

ТО – технічне обслуговування.

ТЗ – транспортний засіб.

ОД – офіційний дилер.

ОР – охолоджувальна рідина

АКБ – акумуляторна батарея.

OBD – бортова система самодіагностики.

DTC – діагностичний код несправності.

ECM – електронна система управління двигуном, електронний контрольно-діагностичний модуль (блок керування).

MIL – контрольна лампа несправності.

Опис двигуна як об’єкту дослідження, представленого на дослідження.

Двигун M270.910 автомобіля MERCEDES-BENZ CLA 200, VIN: WDDXXXX431N006631 є 4-циліндровий 16-клапанний рядний бензиновий двигун з робочим об'ємом 1,6 л, турбонаддувом, двома верхніми розподільними валами, фазовращателямі на впуску і випуску і механізмом зміни ходу впускних клапанів Camtronic. Гомогенне безпосереднє впорскування палива, регульований клапанний механізм газорозподілу і турбонаддув забезпечують найвищі показники крутного моменту і потужності. Крім того, при створенні двигуна вдалося значно знизити витрату палива, рівень викидів і шуму. У всіх варіантах двигуна – незалежно від коробки передач – застосовується функція «Старт-стоп ECO».

Більш високий ККД двигуна забезпечений уприскуванням палива під високим тиском за

допомогою високоточних п'єзоелектричних форсунок, а також удосконаленою системою згоряння з практично повним згорянням паливо-повітряної суміші, в результаті чого паливо витрачається більш економічно.

Більш ефективна технологія передбачає регулювання фаз газорозподілу, що забезпечує оптимальне наповнення циліндрів, а разом з цим і переваги в плані витрати палива, чому сприяють також зменшення маси компонентів, зменшення втрат на тертя і регулювання допоміжних агрегатів в залежності від навантаження.

Дбайливе ставлення до навколишнього середовища дає серійно встановлювана функція «Старт-стоп ECO», суть якої в тому, щоб двигун тимчасово відключався при простe автомобіля, і таким чином економити паливо. Крім того, індикатор ECO на комбінації приладів інформує водія про економічність його стилю водіння, спонукаючи його таким чином знизити витрату палива за рахунок внесення коректив в власний стиль водіння.

Табл.1. Технічні дані двигуна M270.910

Тип	Чотиритактний, бензиновий
Кількість циліндрів і їх розташування	рядний, 4-циліндровий
Робочий об'єм, л	1,595
Ступінь стиснення	10,3
Максимальна потужність, кВт (к.с.)	115 (156)
Максимальний крутний момент, Н.м	250
Клапанний механізм	16-клапанний з двома верхніми розподільними валами, подвійною системою зміни фаз ГРМ і механізмом зміни ходу впускних клапанів Camtronic
Наддув	Турбокомпрессор
Паливо	Бензин АИ-95
Система живлення	Гомогенний безпосереднє уприскування
Повітряний фільтр	Сухий, з синтетичним фільтруючим елементом
Система змащення	Під тиском, масляний насос з регульованою продуктивністю
Система охолодження	Рідинна, закрита з примусовою циркуляцією

Обставини справи.

Автомобіль Mercedes-Benz CLA 200 був придбаний 13.05.2018 ТОВ "Каркаде" і переданий ТОВ "СК Диякон" 27.05.2018 на підставі договору лізингу. Автомобіль застрахований в ТОВ "ВРК" за договором майнового страхування (КАСКО) від 08.05.2018.

26 вересня 2018 р при русі автомобіля по проїжджій частині водій почув хлопок, пролунав металевий звук, і двигун заглох. Вийшовши з автомобіля, водій виявив, що масло з двигуна витекло, після чого було викликано евакуатор і автомобіль був доставлений в ТОВ "Анілон АГ".

У гарантійному ремонті двигуна було відмовлено через наявність механічних пошкоджень пластикового кожуха захисту піддону картера двигуна, в зв'язку з чим було висунуто припущення, що причиною пошкодження двигуна є наїзд на перешкоду.

12 жовтня 2018 був проведений демонтаж і часткове розбирання двигуна. 15 жовтня

2013 р власником автомобіля був отриманий повторну відмову в проведенні гарантійного ремонту. 06 листопада 2013 року відбувся огляд автомобіля і демонтованого двигуна фахівцем ТОВ «ВРК», на підставі результатів якого було складено висновок від 10.12.2018; даними висновком встановлено, що причиною утворення всієї сукупності пошкоджень двигуна не є наїзд автомобіля на перешкоду; висунуто припущення про появу пошкоджень внаслідок технічної несправності двигуна.

11 січня 2018 був виконаний огляд автомобіля Mercedes-Benz CLA 200 VIN WDDXXXX431N006631 і демонтованого двигуна № 270910.30155488 експертом Б-ва А.В. в присутності представника власника і співробітників ТОВ "Анілон АГ". У висновку експерта Б-ва А.В. від 21.02.2019, підготовленого на підставі результатів огляду, зазначено, що пошкодження двигуна і генератора не могли виникнути при наїзді ТЗ на перешкоду. Найбільш імовірною причиною появи даних ушкоджень є заклинювання підшипника 1-й шатунной шийки, що виникло через недостатню подачі масла ("масляне голодування"), що пов'язано з порушенням роботи системи управління двигуном за рахунок установки додаткового обладнання – блоку "чіп-тюнінгу" і "бустера".

Дані огляду автомобіля та двигуна.

Огляд двигуна № 270910 30155488 автомобіля MERCEDES-BENZ CLA 200, VIN: WDDXXXX431N006631, рік випуску 2018, проводився в техцентрі ТОВ «Анілон». Початок огляду об 11.00 годині, закінчення о 17.00 годині.

На момент огляду автомобіль знаходиться на стоянці техцентру ТОВ «Анілон» (рис.1). Номерний знак, VIN-номер (під лобовим склом) відповідають зазначеним в документах (рис.2). Двигун демонтований з автомобіля до огляду (рис.3). Двері автомобіля, кришка багажника і лючок паливного бака не опечатано (рис.4).

Моторний відсік автомобіля зі слідами замасливания (рис.3). Механічних пошкоджень деталей і елементів підкапотного простору не виявлено. Підключення до автомобіля діагностичних приладів і фіксація показань одометра технічно неможливі внаслідок демонтажу проводки двигуна автомобіля.

Для огляду надані демонтовані деталі впускної системи, що знаходяться в багажнику автомобіля (рис.5), в тому числі, уламки деталей двигуна (рис.6). Радіатор охолодження двигуна (рис.7) і пластиковий захисний кожух двигуна (рис.8) перебували на місцях тимчасового зберігання знятих деталей в ремонтній зоні ТОВ «Анілон».

Двигун в частково розібраному стані зі знятим піддоном картера і генератором також знаходився на зберіганні в моторному ділянці техцентру (рис.9). На блоці циліндрів двигуна заводським способом завдано номер 270910 30155488 (рис. 10), що відповідає документам на досліджуваний автомобіль.

При огляді деталей автомобіля і двигуна встановлено:

- Корпус повітряного фільтра, патрубки интеркуллера і сполучні патрубки без пошкоджень (рис.11).
- **На внутрішніх поверхнях корпусу повітряного фільтра (рис.12) і в патрубку, що з'єднує корпус повітряного фільтра з турбокомпресором (рис.13), виявлені сліди випарувалися крапель води.**
- Елемент, що фільтрує повітряного фільтра (рис.14) без пошкоджень, але має незначне викривлення гофр.
- Пластиковий кожух (пильовик) двигуна має механічні пошкодження у вигляді подряпин і наскрізну пробоїну з відсутністю фрагмента матеріалу в правій частині (рис.15).

- Піддон двигуна демонтований. Має механічне пошкодження у вигляді наскрізної пробоїни (рис.16), більше 50% площі поверхні піддону зруйновано. Руйнування піддону відбувалося **в напрямку зсередини** картера двигуна, є характерні сліди на фрагментах піддону, що свідчать про направлення впливу (рис.17).
- Присутній фрагмент зламаного масляного насоса з керуючим електромагнітним клапаном (рис.18), частина корпусу масляного насоса відсутній.
- Успокоитель масла в картері двигуна має пошкодження в районі першого циліндра (рис.19).
- Генератор має механічне пошкодження задньої частини корпусу і пластикової захисної кришки (рис.20).
- Корпус масляного фільтра має пошкодження в районі кріплення до блоку циліндрів, також на ньому залишився закріпленим виламаний фрагмент блоку циліндрів (рис.21), теплообмінник масляного фільтра має механічні пошкодження у вигляді вм'ятин на корпусі.
- На поверхні фільтруючого елемента масляного фільтра є сліди забруднення дрібними металевими частинками (рис.22).
- Турбокомпресор двигуна в робочому стані без видимих ушкоджень.
- Випускні канали в ГБЦ покриті нагаром експлуатаційного характеру, в нормальному робочому стані. Впускні канали в ГБЦ в хорошому експлуатаційному стані, явних слідів масла в каналах не спостерігається (рис.23).
- Розподільні вали ГРМ (впускні та випускні), постели розподільних валів в ГБЦ без слідів зносу і пошкоджень (рис.24, 25). Шейки РВ мають робочий зовнішній вигляд. Постіль РВ має робочу поверхню зі слідами обертання РВ, в цілому відповідну робочого стану. Кулачки РВ мають сліди від нормального робочого зіткнення з штовхачами клапанів.
- **Шатун №1 зламаний в середній частині стержня** (рис.26). Вся поверхня шатуна пошкоджена при ударах об стінки блоку циліндрів, відсутній фрагмент шатуна. Нижня головка шатуна №1 слідів провороту вкладиша і перегріву не має (рис.27).
- **Поршень 1-го циліндра з поршневим пальцем відсутні**.
- **Шатунниє вкладиші 1-го циліндра мають місця з характерним діагональним зносом і задираками на краю вкладиша**, в середній частині поверхню вкладишів в робочому стані (рис.28).
- **Блок циліндрів двигуна має механічне пошкодження в зоні 1-го циліндра у вигляді наскрізного пролому лівої і правої стінки на 2/3 висоти блоку з боку картера двигуна і шириною близько 6 см**. При установці нижньої частини шатуна на шийку колінчастого вала пролом стінки блоку відповідає за формою стрижня шатуна (рис.29).
- **Циліндр №1 має значне пошкодження (пролом)** у нижній частині в площині обертання шатуна, сліди у вигляді вибоїн і подряпин по всій поверхні циліндра (рис.30). Циліндри №№ 2, 3 і 4 мають вертикальні ризики від попадання сторонніх предметів і частинок між поршнем і стінкою циліндра (рис.31-33).
- **На циліндрі №1 зверху є явний слід недохід поршня до ВМТ** (рис.34) в порівнянні з справними циліндрами і **нерівномірно односторонньо стертий нагар у верхній частині** в напрямку осі коленвала (рис.35). За вимірюванням величини недохід за допомогою штангенциркуля (рис.36-38) різниця в положенні поршнів №№1 та 2 в ВМТ (недохід поршня №1) становить 2,5 мм.
- Камера згоряння №1 сильно пошкоджена (рис.39), електрод свічки запалювання 1-го циліндра деформований. Стан камер згоряння №№ 2, 3, 4 робоче. Кількість нагару

відповідає експлуатаційної нормі (рис.39). Електроди свічок з робочим нагаром, без пошкоджень. У всіх камерах згоряння присутні сліди від зіткнення зі сторонніми предметами у вигляді вибоїн і вм'ятин на поверхні і на тарілках клапанів, кількість пошкоджень зменшується в сторону циліндра №4.

- На порушених №№ 2, 3, 4 (рис.40) на поверхні над верхнім компресійним кільцем є сліди у вигляді подряпин від потрапляння сторонніх предметів між поршнем і циліндром двигуна (рис.41). На юбках поршнів є характерні сліди у вигляді потертостей середини поверхні, відповідні нормальній роботі поршнів. Днища поршнів мають невеликі пошкодження сторонніми частинками (рис.42), причому ступінь пошкодження зменшується в сторону поршня №4. Поршневі кільця поршнів №№ 2, 3, 4 без видимих дефектів, вільно без заїдання обертаються в канавках. Поршневі канавки на порушених без видимих слідів пошкодження.
- Шатунниє вкладиші циліндрів №№ 2, 3, 4 в робочому стані, але мають пошкодження ризиками і незначний знос, задирів і плавлення робочого шару немає (рис.43). Шатуни і вкладиші шатунів циліндрів №№ 2, 3, 4, а також колінчастий вал в нормальному робочому стані, шатунні шийки в нормі (рис.44), на противагу шатунной шийки №1 пошкодження від зіткнення зі сторонніми предметами (рис.45).

Отримані результати показують, що сліди, що вказують на причину поломки двигуна, локалізуються у 1-го циліндра, в той час як ЦПГ, ГРМ і КШМ двигуна в цілому не мають помітного експлуатаційного зносу і відповідають робочого стану до моменту виходу двигуна з ладу.

Аналіз приналежності представлених деталей досліджуваного двигуна.

На момент огляду демонтовані деталі впускної системи, перебували в багажнику автомобіля в неопечатаних вигляді. Двигун зі знятим піддоном і генератором, радіатор охолодження двигуна, защіна (пильовик) двигуна і інші демонт рова раніше деталі знаходилися на місцях тимчасового зберігання знятих деталей в ремонтній зоні також в неопечатаних вигляді.

На блоці циліндрів двигуна заводським способом завдано номер 270910 30155488, що сответствует номером, вказаним в документах на автомобіль. Деталі й вузли, розташовані на двигуні, в тому числі, головка блоку циліндрів, турбокомпресор, впускний і випускний колектори, повітропровід, привід ГРМ, колінвал і ін., Які раніше не демонтувались. Виходячи з цього, двигун і всі встановлені на ньому деталі належать досліджуваного автомобілю.

Деталі, демонтовані раніше при виконанні огляду експертом Б-ва А.В. і представлені на огляд, а саме:

- половини шатуна циліндра №1,
- шатунні вкладиші,
- піддон картера,
- захист (пильовик) двигуна,
- заспокоювач масла,
- генератор,

по виду і ознаками (характер пошкоджень) повністю збігаються. Крім того, пролом в стінці блоку циліндрів повністю збігається з нижньою частиною шатуна №1 (рис.46).

Таким чином, всі зазначені деталі належать досліджуваного двигуна.

Точно встановити приналежність всіх деталей впускної системи, що зберігалися в неопечатаних багажнику, досліджуваного автомобілю, не представляється можливим. Однак є однаковий характер слідів крапель води на внутрішній поверхні корпусу повітряного фільтра,

що зберігався в багажнику (рис.12), і на внутрішній поверхні воздуховода, що з'єднує корпус повітряного фільтра з турбокомпресором (рис.13). Оскільки однакові сліди є унікальним ознакою, в подальших дослідженнях умовно прийнято, що деталі, які зберігалися в багажнику, також належать досліджуваного автомобілю.

Історія автомобіля.

Історія автомобіля складається з метою визначення подій в експлуатації автомобіля, які могли вплинути на виникнення та розвиток несправності. Історія досліджуваного автомобіля складена на підставі наявних копій замовлення-нарядів (табл.2).

Табл.2. Історія автомобіля

№ п/п	Вид ТО, ремонту, причина звернення	Дата	Пробіг	Пробіг від попередньої події	Документ, наряд №	ПРИМІТКИ
1	Діагностика. Горить індикація несправності двигуна	17.06.2018	5285	н/у	300383-1	ТОВ «МБ»
2	Установка доп. обладнання	10.08.2018	12482	7197	МН-0377763	ТОВ «Анілон АГ». Установка блоку на педаль газу Sprintbooster
3	Діагностика. Горів Check. Стирання помилок.	13.08.2018	12786	304	МН-0378348 перший етап	ТОВ «Анілон АГ». Помилка P014100 Несправність підігріву кисневого датчика, виявлена раніше 04.07.2013 при пробігу 7470км. Датчик змінювався. Дані з ESKULAB-запиту від 14.08.2014
4	Заміна датчика кисню після каталізатора	19.09.2018	19546	6760	МН-0378348, другий етап	
5	Поломка двигуна при русі автомобіля	26.09.2018	20168	623		Висновок експерта Блінова А.В. від 21 лютого 2014 р.
6	Діагностика. Текти масла з двигуна. За словами клієнта-під час руху стався хлопок. Текти масла ДВЗ сторонній звук при роботі ДВЗ.	27.09.2018	20168	0	МН-0385824	Нижня захист ДВЗ пошкоджена зовні всередину з боку масляного картера ДВЗ (імовірно наїзд на перешкоду) вимагайте заміна ДВЗ. Відмова в гарантійному ремонті - зовнішній вплив.

З історії автомобіля слід, що поломка двигуна сталася 26.09.2018 при пробігу 20168 км. Для визначення причин несправності необхідно виконати детальний аналіз стану механічної частини двигуна в частині ознак, які мають деталі двигуна.

Аналіз даних, отриманих під час огляду двигуна.

Згідно з результатами огляду, для дослідження був представлений двигун в зборі зі встановленою ГБЦ і навісним обладнанням все основні деталі досліджуваного двигуна, в тому числі:

- Піддон двигуна і його фрагменти.
- Дві частини шатуна 1-го циліндра.
- Генератор.
- Корпус масляного фільтра.
- Деталі впускної системи.

При проведенні огляду не перевірялося наявність допоміжних і кріпильних деталей (болти, гайки, шайби, кронштейни та ін.) В зв'язку зі значною складністю і трудомісткістю подібної перевірки, однак при поверхневому огляді всі основні деталі двигуна, включаючи кріпильні елементи, були в наявності.

Таким чином, **на огляд був представлений повністю комплектний двигун, за винятком поршня з поршневим пальцем циліндра №1 і відсутніх фрагментів зруйнованого блоку циліндрів, масляного насоса і масляного піддону двигуна**.

Вироблений огляд, вимірювання та вивчення фотографій деталей двигуна дозволяють виявити такі основні ушкодження і поломки в досліджуваному двигуні:

1. **Блок циліндрів:**

- Наскрізний пролом лівій і правій стінки БЦ в площині гойдання шатуна №1.
- Сильне пошкодження в нижній частині і задираки, вибоїни, відколи на стінці циліндра № 1.
- Сліди недохід поршня до верхньої мертвої точки (ВМТ) в циліндрі №1 на 2,5 мм.
- Слід від руху поршня з перекосом в циліндрі у вигляді характерної потертості пояса нагару в верхній частині циліндра в місці контакту з поршнем в площині осі коленвала.

2. **Поршні:**

- Поршень №1 відсутня.
- Слід від контакту вогневого пояса циліндра №1 з поршнем.
- Подряпини на порушених № 2-3-4 вище першого компресійного кільця
- Пошкодження поверхні днища поршнів від зіткнення зі сторонніми предметами в камері згоряння.

3. **Колінчастий вал і шатуни:**

- Шатун №1 зруйнований в середній частині стержня.
- Шатунниє вкладиші шатуна №1 мають характерні сліди діагонального зносу по краях.
- Пошкодження противаги шатунной шийки №1 клонували від взаємодії з уламками.

4. **Головка блоку циліндрів:**

- Найбільше пошкодження поверхні камери згоряння циліндра №1, далі ступінь пошкодження камер зменшується в сторону циліндра №4.

5. **Піддон двигуна:**

- Пошкодження піддону у вигляді наскрізної пробоїни площею понад 50% поверхні піддону.
- Пошкодження успокоителя масла в зоні циліндра №1.

6. Інші деталі:

- Руйнування корпусу маслонасоса, розташованого в зоні циліндра №1.
- Корпус масляного фільтра зламаний в місці кріплення до блоку циліндрів
- Пошкодження корпусу і пластикової кришки генератора, розташованого на блоці в зоні циліндра №1.

7. Система впуску:

- Найбільше пошкодження поверхні камери згоряння циліндра №1, далі ступінь пошкодження камер зменшується в сторону циліндра №4.

Характер пошкодження деталей показує, що в двигуні є серйозні поломки, локалізовані в зоні циліндра №1 – **зруйнований шатун циліндра №1 з пошкодженням поверхні циліндра, пробоїнами в блоці циліндрів, пошкодженням поверхні камери згоряння, руйнуванням піддону двигуна, масляного насоса, корпуса масляного фільтра з теплообмінником, генератора**. Також ознаками несправності є характерні діагональні сліди на вкладишах шатуна №1 і сліди недохід поршня до ВМТ в циліндрі № 1, а також роботи поршня №1 з перекосом.

Дослідження пошкоджень механічної частини двигуна та визначення причини несправності.

Попередній аналіз видів поломок деталей ДВЗ і їх ознак стосовно до досліджуваного двигуна.

Згідно з результатами огляду, в двигуні є значні пошкодження в 1-м циліндрі, ключовими з них є наступні:

1. Відсутність поршня, імовірно що зруйнувався.
2. Наскрізні пробоїни БЦ в площині обертання 1-го циліндра.
3. Поломка шатуна №1.

Як це випливає з практики ремонту [10, 22-37], поломка тільки однієї окремо взятої деталі з цього списку тягне за собою значні пошкодження і / або поломки інших деталей. Причина такої пошкоджуваності пов'язана з неузгодженістю руху деталі при її поломки, коли виникають взаємні зіткнення уламків з іншими деталями, що тягнуть за собою і їх подальші поломки, що особливо характерно при роботі двигуна на підвищених обертах.

Очевидно, саме з цим пов'язана складність визначення причини несправності двигуна в досліджуваному випадку. Оскільки поломка будь-який з перерахованих деталей може викликати поломки інших, для встановлення причини необхідно розглянути і проаналізувати всі можливі причинно-наслідкові зв'язки між поломками окремих деталей, щоб однозначно визначити, що стало причиною, а що наслідком всіх поломок.

Для встановлення причини поломки необхідно визначити деталь, яка була зруйнована першою. З цією метою послідовно розглянемо ознаки руйнування деталей ДВЗ в цілому і ознаки первинного руйнування кожної деталі і їх можливі причини, зокрема.

Теорія, а саме, наукова дисципліна, яка називається «Опір матеріалів» [15], а також практика експлуатації та ремонту ДВЗ [10, 34] показують, що будь-яке руйнування може бути викликано в загальному випадку 3-ма (трьома) причинами:

1. **Руйнування внаслідок перевищення межі міцності матеріалу** при статичному (незмінному по часу) навантаженні деталі.

2. **Ударне руйнування** – руйнування деталі в результаті ударної дії, є аналогом руйнування при статичному навантаженні, але з урахуванням відповідної поправки на динамічний характер дії навантаження.
3. **Втомне руйнування** – руйнування в результаті перевищення втомної міцності (границі витривалості) деталі при її циклічному навантаженні з амплітудою дії навантаження, істотно меншою межі міцності матеріалу при статичному навантаженні.

Як відомо, руйнування деталі при статичному (незмінною за часом) навантаженні відбувається тоді, коли внутрішня напруга в матеріалі від дії сил перевищують так звану **межу тимчасової міцності матеріалу** [10, 15, 20, 21]. Ця характеристика матеріалу показує, при якій постійно доданої силі деталь із заданою площею поперечного перерізу буде зруйнована.

На практиці всі деталі і вузли ДВЗ працюють в умовах циклічного знакозмінного навантаження, тому **руйнування від статичного прикладення навантаження неможливо** (в іншому випадку деталі зруйнувалися б при першому ж запуску). Ударне руйнування характерно лише як вторинне руйнування в фазі розвитку несправності, оскільки при нормальній роботі ДВЗ деталі практично не відчувають ніяких ударних навантажень, тим більше – мають руйнуючий рівень.

Переважна кількість руйнувань деталей ДВЗ носить саме втомний характер, викликаний появою і розвитком втомних тріщин під дією циклічних навантажень.

Відповідно до теорії втоми [15], втомне руйнування починається з зародження втомної тріщини. Така тріщина виникає зазвичай в місцях так званої концентрації напружень (зазвичай - різких переходів, кутів на деталі), при цьому значний вплив на освіту втомної тріщини надають малий радіус або невідповідна форма переходів (галтелів), а також мікродефекти на поверхні матеріалу (ризики від обробки , сторонні включення, пори, деформації і т.д.). У таких місцях при дії напружень відбувається поступове накопичення дефектів внутрішньої структури матеріалу, що може призводити до утворення втомної тріщини. Цьому нерідко сприяють несприятливі експлуатаційні фактори, що викликають деформацію деталі, підвищення її температури, корозію, знос і пошкодження робочих поверхонь, в результаті яких міцність матеріалу знижується, а діючі навантаження, навпаки, зростають.

Після появи втомної тріщини її розвиток може відбуватися значне час під дією великої кількості знакозмінних навантажень, роботи в умовах знакозмінного циклічного навантаження на вигин і кручення, що закінчується руйнуванням деталі [18].

На відміну від статичного навантаження, при якому деталь руйнується практично миттєво при перевищенні меж тимчасової міцності, при втомному руйнуванні процес займає тривалий час. Оскільки діючі циклічні навантаження значно нижче межі міцності при статичному навантаженні, деталь не руйнується, навіть якщо її перетин вже помітно ослаблене втомної тріщиною. Поломка відбувається лише тоді, коли час, що залишився «живе» перетин деталі вже занадто мало і не може протистояти звичайним експлуатаційним навантаженням, в результаті чого деталь практично миттєво і крихко ламається, як від описаного вище статичного руйнування при перевищенні меж тимчасової міцності.

Характеристикою стійкості матеріалу до втомного руйнування є так званий **межа витривалості матеріалу** – він визначається при випробуванні зразків матеріалу в умовах тривалого циклічного знакозмінного (розтягнення-стиснення або вигин) навантаження. Межа витривалості за величиною набагато менше (в середньому, в 2-3 рази) межі тимчасової міцності – це значить, що в разі, **якщо напруги в перетині деталі менше межі тимчасової міцності, але більше межі витривалості, деталь все одно зруйнується, але не миттєво , а через певний час - від втоми**.

Прийнято вважати, що якщо деталь під дією робочої знакозмінної навантаження працювала протягом приблизно 107 і більше циклів [10, 15, 34], то її утомлююча руйнування в подальшій експлуатації малоймовірно. Даний процес ілюструє крива втоми (рис.47) - в разі перевищення навантаженням межі витривалості матеріалу при даному числі циклів поломка неминуча, в той час як якщо деталь не була зламана при числі циклів навантаження, що дорівнює 107, її поломка при збереженні меж допустимого навантаження практично малоймовірна. Це пояснює відомий з практики факт, що втомні поломки відбуваються після експлуатаційного пошкодження деталей за порівняно короткий час – в середньому не більше 10-15 тис. Км пробігу автомобіля (зазвичай не більше 5-7 тис.км, в залежності від ступеня пошкодження).

Однак на практиці відомі випадки втомних поломок деталей при значно більшому часу роботи (кількості циклів). Це протиріччя між теорією і практикою пов'язано з емпіричним характером теорії втоми, з імовірнісним характером процесу освіти тріщини і впливом значної кількості зовнішніх виробничих і експлуатаційних факторів, включаючи підвищені температури, корозію та ін. Тому навіть у разі малу ймовірність виникнення тріщини повністю виключати можливість втомної поломки деталі можна.

Істотною відмінністю статичного і втомного руйнування, що дозволяє на практиці визначити тип руйнування, є **характер зламу деталі**. Так, в результаті перевищення навантаженням межі тимчасової міцності у багатьох матеріалів, що не володіють помітною пластичністю (чавун, загартована сталь), відбувається так зване крихке руйнування. Такий вид руйнування, з одного боку, нерідко характеризується кутовим скосом у зламу (наприклад, для сталевого стрижня – під кутом 450, нерідко у вигляді характерного «зуба» [10, 18]), а з іншого – порівняно рівномірною структурою зламу. Крихкий злам завжди відбувається по межах зерен металу, при цьому зазвичай утворюється досить рівномірний матове перетин, в якому навіть при не дуже великому збільшенні видно «рвана» ручейковий структура поверхні з дрібними сходинками відколів [18, 19].

При втомному руйнуванні структура поверхні зламу значно відрізняється від крихкого руйнування. **У втомному зламі завжди є 3 принципово різні зони** (рис.48). Перше, що необхідно відзначити – розвиток втомної тріщини йде не по межах, а по тілу зерен металу, внаслідок чого поверхня зламу має більш гладкий характер. Далі, в процесі розвитку тріщини утворюються характерні лінії в середній частині зламу, які вказують на поступовий розвиток тріщини, причому тріщина розвивається перпендикулярно цих лініях. Як відомо, в процесі втомного руйнування напруги в металі прагнуть розкрити тріщину. Як тільки тріщина розкривається на деяку величину, напруги в гирлі тріщини падають, і далі деякий час тріщина не росте. Потім процес повторюється, в результаті чого на поверхні поступово утворюються добре видимі навіть неозброєним оком **паралельні лінії відпочинку**.

Місце, де тріщина зародилася і звідки почала розкриватися, зазвичай також, добре видно на зламі. У цьому місці тріщина розкривається під дією робочих навантажень на деталь. Ця зона має найбільш гладкий вид – під циклічної навантаженням тріщина "дихає", і обидві частини тріщини періодично стикаються один з одним, що викликає їх поступове взаємне стирання і полірування. В результаті **зона розкриття тріщини** набуває гладкий або навіть блискучий вигляд.

Оскільки деякі деталі двигуна при роботі відчувають дію вихлопних газів, масла або води, ці сполуки, потрапляючи в тріщину, можуть викликати характерне потемніння в області розкриття тріщини на її краю, зазвичай в місці її появи [36].

Коли залишився перетин деталі стає настільки малим, що напруги в ньому в якийсь момент опиняються вище межі тимчасової міцності, деталь миттєво розламується на 2 частини – відбувається долом деталі, вже ослабленою тріщиною. Оскільки долом носить

крихкий характер і відбувається по межах зерен металу, зона доломіт має характерний «рваний» вигляд – в точності відповідний звичайному крихкому руйнуванню. В результаті всіх описаних процесів **втомний злам приймає такий вигляд, який різко відрізняє його від крихкого зламу**.

Відмінності в характері зламу деталей на практиці дозволяють зробити висновок про те, яка з кількох зруйнованих деталей зруйнувалася від втоми, а яка була зламана статично (ударно) – можливо, в результаті вторинного взаємодії уламків. В цьому випадку поломка деталі з ознаками втоми і є причиною всіх інших поломок, що допомагає точно встановити причинно-наслідкові зв'язки при дослідженні несправностей в ДВЗ. Навпаки, **крихке зруйнована деталь завжди є не причиною, а наслідком несправності**, оскільки при нормальній роботі двигуна крихке руйнування деталі від перевищення меж тимчасової міцності матеріалу практично неможливо.

Аналіз можливих причин руйнування деталей шатунно-поршневої групи.

Оскільки **в двигуні є взаємозалежне руйнування поршня і шатуна 1-го циліндра, необхідно встановити, що є причиною, а що наслідком первинної несправності**. У відповідність з цим необхідно розглянути наступні можливі причини несправності:

1. Несправність двигуна виникла внаслідок руйнування поршня.
2. Всі поломки були наслідком руйнування шатуна.

Для визначення причини поломки необхідно послідовно розглянути всі можливі причини поломок поршня і шатуна з докладним аналізом всіх супутніх ознак руйнування.

Руйнування поршня.

Мимовільне **руйнування поршня** – взагалі досить рідкісна причина несправностей ДВЗ [10,22-24,28]. У загальному випадку таке руйнування може статися, головним чином, як наслідок інших руйнувань в двигуні. Загальний список причин, дефектів і пошкоджень, які не тільки практично, але і теоретично можуть викликати руйнування поршня незалежно від інших супутніх поломок, наступний:

1) перевищення допустимих оборотів,
2) експлуатаційне пошкодження поршня внаслідок гідроудару, детонації і перегріву,
3) пошкодження поршня при неякісної збірці двигуна,
4) виробничий дефект поршня,
5) вискакуванню стопорного кільця поршневого пальця,
6) потрапляння стороннього предмета в циліндр,
7) вторинне руйнування при впливі на поршень ударних навантажень в результаті зіткнення з раніше зруйнованими деталями.

Розглянемо кожну з них.

Перевищення гранично допустимих оборотів – дуже рідкісна причина руйнування поршня [36]. Воно викликає зростання навантажень на деталі ШПГ, включаючи поршень, пропорційно квадрату частоти обертання. Однак навіть надмірне перевищення оборотів на практиці, як правило, не може створити умов для миттєвої поломки поршня. Справа в тому, що в такому випадку обороти повинні бути перевищені надзвичайно сильно – приблизно в 1,5 рази і більше від максимальних (приблизно з 6500 до 9500-10000 об / хв). Тільки за такої умови може бути досягнуто перевищення напруг в окремих перетинах поршня межі тимчасової міцності матеріалу. Але таке перевищення в досліджуваному автомобілі,

оснащеному АКПП, неможливо, тому **перевищення оборотів не може бути причиною руйнування поршня**.

Більшість інших пошкоджень, включаючи експлуатаційне пошкодження поршня внаслідок гідроудару, детонації і перегріву, при неякісної збірці двигуна, а також будь-який виробничий дефект поршня, не призводять до миттєвим тотальним поломок. Зазвичай всі зазначені дефекти пов'язані з різними ушкодженнями ущільнювача (вогневого) пояса поршня – тріщинами і прогарами [10,22-24,28]. Відомо також, що в бензинових двигунах з іскровим запалюванням, яким є і досліджуваний, кожній із зазначених дефектів при їх виникненні практично відразу дає наступні супутні ознаки, що передують будь-якої поломки (в хронологічному порядку розвитку дефектів при продовженні експлуатації несправного двигуна):

- падіння компресії,
- надмірно велика витрата масла,
- пропуски займання і вимикання циліндра з дефектним поршнем,
- вібрація і втрата потужності, супроводжувані помітним збільшенням витрати палива,
- сторонні шуми і стуки,
- спрацьовування сигналізації "MIL" на панелі приладів [9],
- плавлення і руйнування каталізатора,
- неможливість запуску і роботи на холостому ходу.

Практика показує, що не помітити подібні ознаки ненормальної роботи двигуна неможливо навіть самому недосвідченому водію. У досліджуваному автомобілі, згідно з історією (табл.2), виникали несправності, що викликали спрацьовування лампи несправності, однак після відповідних робіт дані несправності були усунені. При цьому усунути будь-яким чином будь-які несправності поршня, що викликають зазначені ознаки, без його заміни неможливо. Тому є всі підстави вважати, що всі вищевказані причини, а саме, **пошкодження поршня внаслідок гідроудару, детонації, перегріву, неякісного складання двигуна як при ремонті, так і при його виробництві, а також будь-який виробничий дефект поршня не є причиною поломки в досліджуваному двигуні**.

Вискакування стопорного кільця поршневого пальця з канавки також є рідкісним дефектом, а переважна більшість відомих випадків стосується експлуатації двигуна після неякісно виконаного ремонту [10,28]. При вискакуванні стопорного кільця з канавки в отворі для пальця відбувається зміщення пальця убік до упора в стінку циліндра, в результаті якої край пальця «прогризають» на поверхні циліндра глибоку і широку вертикальну борозну, і лише після деякого часу роботи можливе руйнування поршня від дії значних перекошуватися сил.

Так, при роботі двигуна поршневий палець при зміні напрямку руху поршня в мертвих точках (ВМТ і НМТ) переміщається від одного стопорного кільця до іншого в межах осьового зазору (близько 0,5 мм). Такий рух за деяких умов (деформація шатуна, великий осьовий вільний хід пальця) може супроводжуватися ударами, що викликає знос на більш м'якому кільці. Крім того, при дефектах канавки (мала глибина) або кільця (недостатні пружинні властивості) можливо вискакуванню кільця з канавки і зміщення пальця убік до упора в стінку циліндра з утворенням характерної вертикальної борозни на циліндрі.

У досліджуваного двигуна в циліндрі №1 характерною для вискочив стопорного кільця борозни на поверхні циліндра не спостерігається, тому очевидно, що **вискакуванню стопорного кільця поршневого пальця з канавки не є причиною поломки**.

Попадання стороннього предмета в циліндр, як і вторинне руйнування при впливі на поршень ударних навантажень в результаті зіткнення з раніше зруйнованими деталями дають

практично ідентичну картину руйнування [10,22-24,37]. Якщо таке руйнування відбувається на підвищених обертах, поршень руйнується на досить дрібні фрагменти, які падають в піддон картера. Однак при такому руйнуванні найбільш часто мають місце такі супутні ознаки:

• камера згоряння має пошкодження уламками поршня,

• клапани пошкоджені, але обриву тарілок немає,

• шатун з поршневим пальцем деформований, але не зруйнований.

Збереження цілісності шатуна при руйнуванні поршня пояснюється дуже великою міцністю шатуна, виконаного з високоміцної легованої конструкційної сталі. В алюмінієвому блоці циліндрів руйнування шатуна призводить до того, що шатун легко ріже алюмінієві стінки блоку, що добре видно на прикладі досліджуваного двигуна, де проломи повторюють профіль нижній частині шатуна (рис.46). У разі ж, якщо причина несправності пов'язана з руйнуванням поршня, то явних причин для руйнування шатуна немає.

Таким чином, **досліджуваного двигуна відповідає тільки дві ознаки, в той час як за однією ознакою спостерігається явна невідповідність (руйнування шатуна)**. Така невідповідність ознак, з одного боку, свідчить про те, що **мимовільне руйнування поршня є сумнівною причиною поломки**, а з іншого – найбільш імовірною причиною поломки в досліджуваному двигуні є руйнування шатуна.

Руйнування шатуна.

Як відомо, шатун – один з елементів кривошипно-шатунного механізму, в якому він пов'язує поступально рухається поршень і обертається колінчастий вал [10,11]. Навантаження на шатун при роботі двигуна за рахунок сил інерції і тиску газів на поршень можуть досягати десятків тонн, причому є знакозмінними, т. Е. Стиск і розтяг шатуна чергуються протягом одного обороту коленвала. В таких умовах навіть незначний дефект шатуна призводить до його поломки, причому виключно внаслідок **втомного руйнування** [10,34].

Поломка шатуна є вельми поширеною в практиці експлуатації і ремонту двигунів [10,27,33], причому вона може бути викликана великою кількістю різних причин, серед яких:

1. Значне перевищення допустимих оборотів в експлуатації.

2. Інакше телефон двигуна, при якому порушена геометрія шатуна і сполучених деталей.

3. Масляне голодування, що приводить до перегріву і руйнування шатунного вкладиша і нижньої головки шатуна.

4. Заводський дефект шатуна.

5. Деформація і подальше руйнування шатуна в результаті гідроудару – потрапляння сторонніх рідин в циліндр.

Перевищення допустимих оборотів, як було зазначено вище, викликає зростання навантажень на деталі ШПГ пропорційно квадрату частоти обертання. Так, перевищення оборотів на 10% від максимально допустимих для досліджуваного двигуна (наприклад, з 6800 до 7500 об / хв) призводить до зростання навантажень більш ніж на 20%, що на перший погляд може становити небезпеку. Однак в практиці випадки обриву шатунів через надмірно високих оборотів не відзначені [10,22-24,34].

Цей факт пояснюється тим, що шатун, як і будь-яка інша деталь двигуна, розраховується і конструюється виходячи з вимоги забезпечення саме втомної, а не статичної міцності. Оскільки **межа втомної міцності істотно нижче межі короткочасної міцності матеріалу** (приблизно в 2-3 рази [20, 21]), на практиці неможливо створити навіть короткочасне навантаження на шатун, що перевищує межу короткочасної міцності його матеріалу. Фактично шатун ДВЗ – надзвичайно міцна деталь, що виготовляється з самої високоміцної

легованої сталі, і при будь-яких руйнування деталей в циліндрі крихке руйнування шатуна від перевищення меж тимчасової міцності матеріалу малоймовірно.

Крім цього, найбільш навантаженими елементами шатуна при високих оборотах є шатунні болти, від яких слід очікувати обриву в 1-у чергу. Однак головною ознакою, що свідчить про неможливість обриву шатуна (як і поломки поршня) від значного перевищення оборотів в досліджуваному двигуні, є наявність АКПП.

Отже, **в досліджуваному двигуні руйнування шатуна не могло бути пов'язано з перевищенням допустимих оборотів** і викликана іншими причинами.

Інакше телефон двигуна нерідко викликає поява додаткових навантажень на шатун в результаті спотворення його геометрії, в 1-у чергу, внаслідок непараллельности осей отворів нижньої і верхньої головок шатуна. Як відомо, паралельність цих осей є найважливішою геометричній характеристикою шатуна [10] і повинна бути витримана з високою точністю. Непараллельность осей призводить до появи додаткових згинальних навантажень на шатун, що може привести до його втомної поломки, а також до дефектів і поломок сполучених деталей [10,32, 33].

Однак при розбиранні досліджуваного двигуна не знайдено будь-яких інших слідів розбирання двигуна, виконаної раніше (наприклад, заминання шліци болтів і гайок, пошкоджені різьблення, відсутній кріплення і т.д.). Відсутність ремонтів також підтверджено документами. Цей факт свідчить про те, що **в досліджуваному двигуні раніше не проводилося ніяких ремонтів, двигун до поломки не розбирався, тому некваліфікований ремонт не може бути причиною поломки шатуна**.

Масляне голодування є однією з найпоширеніших причин обриву шатуна [10,24,25,27]. При настанні даного режиму, викликаного надмірно низьким рівнем масла або дефектами в системі змащення, плівка масла, що розділяє робочі поверхні шийки колінчастого вала і вкладиша, руйнується, виникає безпосередній контакт деталей, їх розігрів до високої температури. Оскільки робочий шар вкладиша виготовлений з легкоплавкого антифрикційного матеріалу, матеріал плавиться і руйнується, що викликає безпосередній контакт шийки вала зі сталевою основою вкладиша, задираки на шийці, перегрів шийки і нижньої головки шатуна з подальшим її руйнуванням.

Режим масляного голодування [10,25] спочатку виникає при недостатній подачі масла до поверхонь, що труться підшипника, в результаті чого при заданому навантаженні масляна плівка стає тоншою. Крім цього, зменшення подачі масла в підшипник призводить до погіршення відводу тепла і підвищення температури масла і самого підшипника, що ще більше зменшує товщину плівки і викликає сильний розігрів підшипника від тертя безпосередньо контактують деталей – вкладиша і шийки коленвала.

Підшипники колінчастих валів сучасних двигунів [10,24,25] є підшипниками ковзання і утворені парою "тверда шийка коленвала – м'який вкладиш". Іншими словами, шийка чавунного або сталевого колінчастого вала обертається у вкладишах, виконаних з багатошарової стрічки зі сталевою основою і м'яким антифрикційним матеріалом. В даному двигуні цим матеріалом є сплав алюмінію з оловом, що має дуже хороші антифрикційні властивості (низьке тертя). Як і всі м'які матеріали, антифрикційне покриття має порівняно низьку температуру плавлення – близько 3000С [10,20,21], яка визначається низькою температурою плавлення олова і свинцю.

Зазор в підшипнику – між вкладишем і шийкою, становить в середньому близько 0,03-0,04 мм, в цей зазор під тиском подається масло. У нормальних умовах роботи масло заповнює зазор між валом і вкладишем повністю, однак під дією навантаження вал зміщується від осі підшипника ближче до однієї сторони. При цьому за рахунок звуження зазору і обертання валу масло затягується в зазор і повністю поділяє поверхні, перешкоджаючи їх

безпосередньому зіткненню (так званий ефект "масляного клина" [10,25,27,29]). Чим більше навантаження, зазор і чим менше частота обертання валу, тиск подачі і в'язкість масла, тим сильніше відбувається зміщення вала від осі підшипника ближче до його поверхні.

При певних умовах (велике навантаження і / або малий тиск подачі масла) відбувається зіткнення поверхонь по Мікронерівності – так званий режим напіврідинного тертя (рис.49). В експлуатації робота в такому режимі для підшипників коленвала характеризується появою блискучих відполірованих ділянок на робочій поверхні. Однак це ще не призводить до руйнування підшипника, якщо контакт деталей відбувається короткочасно, по відносно невеликій поверхні, а температура на поверхні вкладиша невисока.

Подальше зменшення подачі масла (і / або зростання навантаження на вал) викликає розширення зон зіткнення деталей і подальший розігрів їх поверхонь. При цьому антифрикційний шар може бути пошкоджений. Далі, в певний момент відбувається перехід в так званий **режим граничного тертя** [10,27], і починається плавлення робочого шару вкладиша, що в умовах безпосереднього контакту вала з вкладишем призводить до переносу розплавленого робочого шару вкладиша на поверхню шийки вала. Одночасно з цим розплавлений антифрикційний матеріал вкладиша вичавлюється під дією робочого навантаження до країв вкладиша.

Режим масляного голодування завжди характеризується зростанням температури підшипника, і на деталях завжди є ознаки поверхневого перегріву. Оскільки вкладиші підшипників є тонкостінні деталі, сильне нагрівання однієї їхнього боку (внутрішнього) на початковому етапі руйнування завжди викликає поява залишкової деформації, в результаті якої відбувається стиснення перегрітих вкладишів за формою кола з меншим радіусом, ніж вихідний. Далі, м'який антифрикційний матеріал плавиться і видавлюється з поверхні вкладиша, після чого починається безпосередній контакт шийки вала зі сталевою основою вкладиша.

Підшипник, який отримав такі значні пошкодження, різко змінює режим роботи, навіть якщо подача масла буде відновлена до нормального рівня. За рахунок значного зменшення товщини антифрикційного матеріалу вкладиша різко збільшується робочий зазор між вкладишем і шийкою валу – з 0,05 мм до 0,2-0,5 мм і більше.

При такому великому зазорі підшипник працює зі стуком, оскільки масло не може заповнити весь простір в зазорі між валом і вкладишами і зберігатися там протягом усього часу роботи. Внаслідок того, що навантаження на вал з боку шатуна носить знакозмінний характер (сила на підшипник від тиску газів змінюється протилежно спрямованої силі інерції від мас шатуна і поршня), масляний клин в підшипнику, що працює з надмірно великим зазором, руйнується. Це викликає ударне зіткнення вала і вкладиша в точках зміни знака навантаження на протилежну, що характерно для нижньої і верхньої мертвих точок положення поршня [27,29]. Саме в цих положеннях виникають ударні навантаження в підшипнику, добре чутні в двигуні, як стукіт.

Після повного руйнування робочого шару і початку контакту шийки вала зі сталевою основою вкладиша знос набуває катастрофічно швидкий характер, однак без явних пошкоджень більшості інших пар, що труться двигуна, оскільки частинки руйнування досить великі і, потрапляючи в масло, затримуються сіткою маслоприемника або масляним фільтром. На цьому етапі, коли антифрикційний матеріал вкладиша повністю зруйнований, нагрів деталей різко зростає, тонка сталева основа вкладишів розігрівається до дуже високих температур (понад 600-800^{0}С). При такій температурі сталева основа вкладишів втрачає міцність, що зазвичай призводить до надзвичайно швидкого зносу основи і випадання залишків вкладишів з нижньої головки шатуна.

З іншого боку, сильне нагрівання шатунного підшипника завжди викликає **перегрів нижньої головки шатуна**. При цьому метал шатуна втрачає міцність, що може викликати обрив шатуна за допомогою одного з перетинів нижньої головки. Крім того, в результаті нагрівання втрачають міцність і шатунні болти, що може привести до їх деформації і обриву.

Таким чином, **основними ознаками обриву шатуна внаслідок масляного голодування є:**

- пошкодження шийки колінчастого вала – задираки та перегрів,
- руйнування антифрикційного шару вкладишів,
- велика кількість дрібних частинок руйнування деталей в маслі,
- характерний перегрітий вид нижньої головки шатуна,
- відрив кришки нижньої головки від шатуна,
- стукіт при роботі двигуна, що передує поломки.

Однак **в досліджуваному двигуні не виявлено жодного із зазначених ознак масляного голодування**. Нижня головка шатуна №1 не має слідів перегріву, ознак надмірного зносу вкладишів та / або підвищеного зазору в підшипнику. Крім того, вкладиші інших шатунів і шатунні шийки коленвала чисті, без слідів перегріву і задирів. Це говорить про те, що **режиму масляного голодування в двигуні не було, система мастила працювала нормально, а рівень масла не падав нижче мінімально допустимого**. Відповідно до цього, **масляне голодування не є причиною руйнування шатуна досліджуваного двигуна**.

Заводський дефект шатуна є практично неймовірною причиною несправності. З одного боку, шатун є деталлю масового виробництва, що виготовляється на автоматичних лініях в кількості сотні тисяч і навіть мільйони штук на рік. Перевірка такої кількості шатунів можлива тільки в автоматичному режимі, ручна праця тут повністю виключений. Відповідно до цього будь-які дефекти виробництва, які можуть привести до зміни геометричних характеристик і / або до втомного руйнування, мають вкрай низьку ймовірність. Більш того, **виготовлення шатуна досліджуваного двигуна з вигином стержня і укороченим на 2,5 мм міжосьовим відстанню технічно неможливо як в рамках всіх відомих технологій виготовлення, так і з точки зору практичної реалізації автоматизованої збірки** такого шатуна з поршнем і далі з блоком циліндра.

З іншого боку, при пробігу 20 тисяч км і більше вплив дефектів виробництва на поломки стає надзвичайно малоймовірним. Вище вже було зазначено, що якщо деталь не була зламана при числі циклів навантаження, що дорівнює 107, її поломка при збереженні меж допустимого навантаження практично малоймовірна. Втомні поломки зазвичай відбуваються після пошкодження деталей за порівняно короткий час – в середньому не більше 10 тис. Км пробігу автомобіля (зазвичай навіть не більше 5-7 тис.км, в залежності від ступеня пошкодження). Отже, **поломка шатуна в результаті будь-якого заводського дефекту для досліджуваного двигуна при пробігу понад 20 000 км є вкрай малоймовірною або навіть сумнівною причиною**.

Таким чином, з розглянутих причин поломки шатуна, виходячи з наявних ознак, переважна частина яких взагалі не має причинно-наслідкових зв'язків з несправністю конкретного двигуна, або ймовірність таких причин сумнівна. Фактично залишається **тільки одна причина поломки шатуна**, яка поки що не розглянута, але вимагає найбільш детального вивчення, оскільки є найпоширенішою на практиці причиною поломки шатунів ДВЗ.

Дослідження ознак гідроудару.

Деформація і подальше руйнування шатуна в результаті гідроудару виникає при надходженні в порожнину циліндра будь сторонньої рідини – води з глибокої калюжі, що

потрапила в забірний патрубок системи впуску, охолоджуючої рідини, що надійшла через негерметичну прокладку головки блоку циліндрів, палива, що надійшло через несправну форсунку, або масла , що надійшов через несправне ущільнення [10,32,33]. При цьому під впливом води в конкретний циліндр залежить від багатьох чинників і має в певній мірі випадковий характер.

Гідроудар в циліндрі (рис.50) відбувається тоді, коли обсяг рідини, що потрапила в циліндр, близький або навіть перевищує обсяг камери згоряння при положенні поршня у верхній мертвій точці (ВМТ). На відміну від повітря або паливо-повітряної суміші рідина нестислива. На такті стиснення обидва клапана закриті, а поршень рухається вгору, стискаючи паливо-повітряну суміш. Наявність рідини в циліндрі робить процес наростання тиску більш швидким, а при підході поршня до ВМТ він може просто «впертися» в рідину. Тиск в циліндрі виросте тоді багаторазово.

Сила тиску, прикладена до поршня, передається через поршневий палець на шатун, викликаючи в останньому великі напруги стиснення. Інерція обертового колінчастого вала велика, оскільки при включеній передачі колінвал додатково прокручується за рахунок інерції автомобіля, що рухається. Шатун потрапляє між поршнем, з одного боку (його не пускає далі рідина), і коленвалом, що обертається іншими циліндрами і всією масою автомобіля – з іншого. В результаті такого заклинювання шатун деформується – його стрижень завжди стискається і згинається в площині обертання коленвала [32,33]. Такий характер деформації називається втратою стійкості стрижня при осьовому стисканні [15].

Величина деформації шатуна залежить від кількості рідини, що опинилася в камері згоряння (в порівнянні з об'ємом камери згоряння), а також від частоти обертання коленвала – чим вони більші, тим більше деформація. Але деформація шатуна завжди викликає зміну положення поршня – недохід до штатного положення в ВМТ і перекіс, при якому поршень починає стосуватися циліндра своєю верхньою частиною в зоні над поршневим пальцем з одного його боку (в напрямку, паралельному осі коленвала).

З рідин, які можуть потрапити в циліндр ДВЗ, слід зазначити всі робочі рідини – паливо, охолоджуюча рідина і масло, а також воду, здатну потрапити у вхідний патрубок системи впуску двигуна. При цьому якщо робочі рідини можуть потрапити в циліндр, головним чином, тільки при несправності двигуна (за винятком масла, яке може поступово натечь в циліндр при знаходженні двигуна в позаштатному положенні, наприклад, після ДТП), то потрапляння води ззовні є найпоширенішою причиною гідроудару.

Можливі причини гідроудару в досліджуваному двигуні.

Як зазначено вище, в циліндр двигуна могли потрапити різні рідини, включаючи паливо, охолоджуючу рідину, масло і воду.

Попадання в циліндр охолоджуючої рідини зазвичай пов'язане з негерметичність прокладки ГБЦ або мікротріщини в стінці камери згоряння. При роботі двигуна гази, що мають високий тиск, виходять в сорочку охолодження (тим самим порушуючи тепловий режим двигуна і створюючи його перегрів), але після виключення двигуна тиск в системі охолодження буде вищою тиску в циліндрі, що може викликати поступове наповнення циліндра охолоджувальною рідиною і гідроудар при наступному запуску. Однак, оскільки слідів перегріву двигуна не виявлено (на юбках поршнів і на циліндрах немає характерних для перегріву задирів, ГБЦ не має деформації, пошкоджень прокладок головок блоку циліндрів немає), є всі підстави стверджувати, що в експлуатації двигуна перед поломкою прокладка головки блоку була герметична . Крім того, надходження охолоджувальної рідини в циліндр завжди супроводжується просочуванням її в картер і освіту там характерною емульсії. Однак сліди масла, що залишилися на деталях двигуна, не мають слідів такої емульсії. **Дані факти**

вказують на те, що програв двигуна і надходження охолоджувальної рідини в циліндри не було. Отже, **гідроудар не має причинно-наслідкового зв'язку з надходженням охолоджуючої рідини в циліндри**.

Паливо може надходити в циліндр через негерметичні паливні форсунки циліндрів, що після виключення двигуна призвело б до натекания палива в циліндри, а при наступному запуску – до гідроударів. В такому випадку на малих обертах несправна форсунка повинна забезпечувати надлишкову подачу палива, що викликало б на поверхнях поршня і камери згоряння додаткове відкладення сажі в порівнянні з іншими циліндрами, а також нестійку роботу двигуна на холостому ходу. Однак проведені дослідження показали, що на автомобілі встановлені форсунки безпосереднього вприскування палива в камеру згоряння і управляються блоком управління двигуна, який відстежує правильність роботи форсунок. Тому при роботі несправної форсунки в блоці управління записується відповідний код несправності, і запалюється контрольна лампа на панелі приладів. У протоколі діагностики, проведеної при зверненні до офіційного дилера, помилки, пов'язані з несправністю форсунок, були відсутні. Тому є всі підстави стверджувати, що всі **паливні форсунки справні і не є причиною гідроудару**.

Надходження в циліндри масла у досліджуваного ДВЗ з турбонаддувом можливо по впускному тракту в зв'язку в несправністю масляного ущільнення ротора турбокомпресора. В такому випадку масло надходить у впускний тракт, де разом з повітрям надходить в камеру згоряння. При цьому в повітряних патрубках, інтеркулер і впускному колекторі накопичується черезмерное кількість масла. Наявність значної кількості масла дуже важке не замінити до виходу ДВЗ з ладу у зв'язку появою дуже характерних ознак несправності двигуна, таких як надзвичайно сильне задимлення з вихлопної труби при роботі ДВЗ, знижений рівень масла, загоряння індикатора рівня масла. Описані ознаки відсутні на досліджуваному двигуні.

У практиці відомі також випадки натекания масла в циліндри при тривалому позаштатному положенні двигуна, що виникає при ДТП з перекидання автомобіля на бік або на дах. Гаряче масло має знижену в'язкість, що при тривалому знаходженні на боці або даху (наприклад, кілька годин) може призвести до поступового вступу масла в циліндри з картера. При наступному запуску двигуна після установки автомобіля на колеса кількості масла, що потрапив в циліндри (в 1-у чергу це стосується циліндрів, які при лежанні автомобіля на боці були з закритими клапанами), цілком може виявитися достатнім для гідроудару в цих циліндрах.

В історії автомобіля (табл.2) немає даних про кузовних ремонтах автомобіля і участі його в важких ДТП з перекиданням на бік або на дах. Таким чином, **версія з попаданням масла в циліндри і гідроудар з цієї причини не мають причинно-наслідкових зв'язків з несправністю досліджуваного двигуна**.

Виходячи з проведеного аналізу всіх можливих причин, **єдиною можливою причиною гідроудару в циліндрі №1 досліджуваного двигуна є потрапляння води у впускний систему ззовні**.

Признаки гидроудара в механической части двигателя от попадания воды.

Як показує практика, гідроудар від попадання води схильні до двигуни всіх типів автомобілів - як звичайних легкових, так і моделей для позашляхової експлуатації, і незалежно від конструкції і розташування вхідного патрубка повітряного фільтра.

Той факт, що в двигуні стався гідроудар від попадання води ззовні, встановлюється з високою точністю за цілою низкою ознак, характерних тільки для гідроудару [32,33]:

1) **Наявність слідів води в корпусі повітряного фільтра і патрубках підведення повітря до двигуна**. Вода нерідко залишається в корпусі і патрубках деякий час,

якщо на дні корпусу немає дренажних отворів для стоку. Однак практично знайти її можна тільки безпосередньо відразу після гідроудару (далі вода швидко випаровується), але **на внутрішніх стінках корпусу фільтра і патрубків завжди залишаються сліди крапель висохлої води**.

2) **Деформація і викривлення гофр** матеріалу повітряного фільтра. При висиханні фільтруючого елемента, виготовленого зі спеціального картону, деформація гофр неминуча, проте в фільтроелемент з синтетичних матеріалів її може не бути.
3) **«Діагональний» слід на юбке поршня**. Цей один з ознак роботи поршня з перекосом, він найбільш характерний для деформації шатуна від гідроудару.
4) **Сліди тертя вогневого пояса поршня про циліндр** над поршневим пальцем з одного боку і у відповідь слід на верхній частині циліндра у вигляді стертого нагару – очевидний наслідок п.3.
5) **Розширення вниз верхнього пояса нагару** і слідів контакту з поршневими кільцями на циліндрі. Це відбувається через укорочення шатуна при гідроударі і подальшої роботи двигуна з деформованим шатуном. Один з головних ознак гідроудару.
6) **Викривлення стержня шатуна**. Нерідко вода потрапляє в кілька циліндрів і деформує відповідно кілька шатунів, з яких руйнується тільки самий деформований – його деформацію, очевидно, перевірити вже неможливо. Однак в деяких випадках, коли гідроудар стався в декількох циліндрах, інші шатуни також можуть бути явно деформовані.
7) **«Діагональний» знос шатунних вкладишів**. Блискучі смуги на краю вкладишів деформованого шатуна, розташовані діагонально. Даний ознака характерний для деформації шатуна.
8) **Підвищений знос стопорних кілець** при контакті з поршневим пальцем, як наслідок підвищених осьових навантажень на палець при деформації шатуна.
9) **Порушення процесу згоряння в циліндрі**. При «осаді» шатуна і поршня на кілька міліметрів ступінь стиснення в циліндрі зменшується, що є достатньою умовою для зменшення кількості що надходить в даний циліндр повітря. Однак форсунка подає паливо в даний циліндр в тій же кількості, що і інші форсунки в сусідні циліндри. В результаті топливовоздушная суміш в циліндрі з укороченим шатуном стане багатшим, а нагару на стінки камери згоряння осяде більше. Крім цього, перекіс поршня в циліндрі, що викликається деформацією шатуна, погіршує уплотняющее дію поршневих кілець, що обумовлює підвищення витрати масла в циліндрі і підвищений нагарообразование. Ознака характерний для сильних деформацій шатуна.
10) **втомним злам на стрижні**, що зруйнувався шатуна. Даний ознака не має великого практичного значення, оскільки в переважній більшості випадків поверхні зламу стержня сильно пошкоджуються при поломці шатуна під час роботи двигуна і не можуть бути досліджені.

Аналіз кожного із зазначених ознак для досліджуваного двигуна дає наступне:

Наявність води в корпусі повітряного фільтра і патрубках перевірено, в корпусі фільтра, так само як і в патрубках, що підводять повітря до турбокомпресора, **є сліди крапель води**, що випарувалася. Шукати безпосередньо наявність води в двигуні безглуздо, тому що з моменту гідроудару пройшло занадто багато часу, за який вода давно випарувалася.

Викривлення гофр повітряного фільтра – виявлено незначне жолоблення. Фільтр досліджуваного двигуна складається з синтетичних волокон, які не дають явною деформації матеріалу при намоканні.

Діагональний слід на юбке поршня №1 встановити неможливо у зв'язку з повним руйнуванням і відсутністю поршня.

Пояс нагару в верхній частині циліндра №1 має нерівномірний характер, з односторонньою потертістю в площині осі коленвала (рис.35), на циліндрах №№ 2-3-4 нагар у верхній частині лежить досить рівномірно. Це явно говорить про те, що **поршень № 1 працював з перекосом, зачіпаючи вогневим поясом над поршневим пальцем за циліндр**.

Розширення верхнього пояса нагару і зміщення слідів контакту з поршневими кільцями вниз на циліндрі № 1 визначено шляхом вимірювань і порівняння слідів на цьому циліндрі зі слідами на циліндрі №2. У циліндрі №1 є розширення зони нагару – приблизно на 2,5 мм. Аналогічне значення має і зміщення вниз слідів контакту кілець в цьому циліндрі (рис.30), причому подовжити **пояс нагару закрив собою значну частину сліду від верхнього кільця**, що доходило раніше до штатного положення, що видно на частини окружності циліндра (рис.35). Характерно в даному випадку не тільки те, що сліди від штатного положення деталей приховані на більшій частині кола циліндра, а й наявність слідів тривалої нештатної підробітки поршневих кілець до циліндра, що мають цілком штатний вид (рис.34).

Отримані дані означають, що **шатун № 1 на початку експлуатації двигуна мав штатну довжину, а потім в певний момент експлуатації був укорочений, причому двигун працював з укороченим шатуном тривалий час (тисячі кілометрів).** Таке **зменшення довжини шатуна не могло бути викликано ніякими виробничими проблемами і, очевидно, відбулося в експлуатації, причому задовго до поломки**.

Викривлення стержня шатуна циліндра №1. Визначити деформацію стрижня шатуна №1 неможливо в зв'язку з його руйнуванням. Однак прикладання уламків один до одного (рис.26) свідчить про те, що вони з'єднуються з явним викривленням стрижня. Високоміцна легована сталь, з якої виготовлений шатун, зазвичай має малу пластичність, і в разі застосування ударного навантаження в середині стрижня (наприклад, при попаданні уламків поршня між стрижнем і краєм циліндра) шатун ламається з мінімальними пластичними деформаціями, розташованими в зоні зламу. У досліджуваному шатуне, навпаки, спостерігається плавний вигин всього стрижня, що при ударному руйнуванні неможливо. Таким чином, форма стрижня шатуна свідчить, що **вигин стержня шатуна №1, швидше за все, стався до його руйнування**.

Діагональний знос шатунних вкладишів у вигляді зносу на краях виявлений в зруйнованому шатуне №1 (рис.28). Це означає, що **шатун №1 досліджуваного двигуна працював з перекосом** порівняно тривалий час, за яке на краях шатунного вкладиша утворився характерний знос [32].

Знос стопорних кілець оцінити неможливо внаслідок їх відсутності.

Порушення процесу згоряння в циліндрі № 1 може бути встановлено побічно по більш товстому шару нагару в камері згоряння цього циліндра. При вкороченні шатуна відбувається зменшення компресії в циліндрі за рахунок збільшення обсягу камери згоряння. Це викликає погіршення процесів наповнення і згоряння в циліндрі, в нього надходить менше повітря, і якщо система управління регулює подачу палива на всі форсунки однаково, то в пошкодженому циліндрі топливовоздушная суміш виявляється багатшою паливом, ніж в інших циліндрах, що і призводить до більш інтенсивного нагарообразования. Крім відкладення нагару від більш багатої суміші можливо і нагарообразование від згоряння масла, оскільки перекіс поршня завжди викликає погіршення ущільнюючих властивостей поршневих кілець.

У досліджуваному двигуні немає явного зміни нагарообразования на стінках камери №1 в порівнянні з іншими камерами, що може бути пов'язано з автоматичним регулюванням

подачі палива по циліндрах системою управління, проте нагар на верхній частині циліндра №1 істотно товщі, ніж в інших циліндрах (рис. 34), і має явно виражений пухкий масляний характер. Таким чином, характер нагарообразования на верхній частині циліндра №1 показує, що при вкороченні шатуна №1 **надходження масла з картера в циліндр №1 було збільшено в порівнянні з іншими циліндрами**.

Втомний злам стержня шатуна №1 не виявлене, оскільки поверхні зламу сильно пошкоджені при ударах про блок циліндрів. Даний ознака при визначенні причини несправності носить допоміжний (тільки підтверджує зайвий раз) характер.

Таким чином, **з 10 ознак гідроудару в досліджуваному двигуні присутні 6 явних ознак**, а 4 ознаки відсутні через повного руйнування поршня (3 ознаки) і синтетичного матеріалу повітряного фільтра (1 ознака). При цьому 6 виявлених ознак є головними ознаками гідроудару, які взагалі не з'являються в двигуні з будь-яких інших причин.

Отже, знайдені ознаки в сукупності доводять, що шатун №1 був укорочений (стислий по довжині) на 2,5 мм, і поршень в цьому циліндрі працював з перекосом, причому є явні сліди висохлої води на деталях впускного тракту двигуна. Такі ознаки в двигуні можливі виключно тільки в одному випадку – якщо **в певний момент експлуатації стався гідроудар від попадання води**. При будь-яких інших причинах деформації шатуна його укорочення не відбувається, оскільки немає ніяких сил, які можуть викликати стиснення стрижня по поздовжній осі шатуна, а інші рідини, крім води, не залишають висохлих слідів у впускний системі.

Таким чином, отримані дані дозволяють зробити наступний висновок: **в досліджуваному двигуні до руйнування мав місце гідроудар внаслідок попадання води в циліндр №1, в результаті якого шатун №1 був деформований**.

Причини і особливості поломки деформованого шатуна.

При роботі двигуна, як відомо, шатун зазнає значних, в десятки тонн, зусилля на стиск і розтяг, викликані дією сил тиску в циліндрі і сил інерції [10,11]. У разі прямолінійності стержня шатуна, розташованого в площині обертання кривошипа коленвала, інших додаткових сил не виникає (за винятком бічних сил на шатун при еволюціях автомобіля – в даному випадку, при поперечному розташуванні двигуна, від бокового прискорення і уповільнення автомобіля).

Якщо стрижень шатуна деформований щодо площини гойдання (обертання кривошипа), то дія сил розтягування-стиснення неминуче призведе додатково до вигину стрижня – подальшого вигину під дією стискаючих сил і розгинання стрижня під дією розтягуючих сил. Причому амплітуда напружень в стрижні за рахунок появи додаткових згинальних сил збільшиться відповідно до величини деформації – чим більше була деформація стрижня при гідроударі, тим вище будуть знакозмінні напруги в стрижні в порівнянні з справним шатуном.

Позаштатний вигин і є причиною втомного руйнування стержня – якщо напруги в стрижні за рахунок його вигину збільшаться настільки, що перевищать межа втоми матеріалу (з урахуванням концентраторів напружень, наприклад, шорсткості стрижня), то з часом в стрижні виникне усталостная тріщина, і потім шатун обірветься .

З іншого боку, при гідроударі виникають такі процеси:

- шатун стискається вздовж осі з вигином – даний ефект носить назву «втрата стійкості» при осьовому стисканні [15],
- відразу після гідроудару запуск двигуна утруднений або неможливий внаслідок неможливості прокрутки клонували,
- за рахунок стиснення шатуна поршень отримує недохід до ВМТ,
- в результаті недохід поршня зменшується ступінь стиснення і тиск в кінці стиснення,

- зміна тиску при стисненні викликає зміна процесу згоряння в циліндрі і зміна складу суміші в ньому на багатшу (при незмінній подачі палива форсункою),
- потужність циліндра зменшується, що може бути помітно на холостому ходу у вигляді деякої нестійкості,
- викривлення шатуна призводить до перекосу поршня, і при значних деформаціях викликає витрата масла, нагарообразование і стукіт, особливо помітний на холодному двигуні, коли зазор в циліндрі збільшений [27,29],
- з часом стукіт може дещо зменшитися або навіть майже зникнути за рахунок підробітки деталей до нового положення.

Місце обриву деформованого стрижня шатуна після гідроудару залежить від конструкції шатуна і величини деформації в різних перетинах. На практиці поломка зазвичай відбувається в середньому перерізі або ближче до верхньої голівці шатуна, де зазвичай стрижень тонше, а деформації під дією робочих навантажень вище.

Як це випливає з аналізу пошкоджень в досліджуваному двигуні, **поломка шатуна сталася приблизно в середині стрижня** (мал.26). Це місце характерно тим, що саме там шатун зазвичай ламається в разі перевищення циклічної навантаженням межі втоми матеріалу, оскільки напруги і деформації в матеріалі шатуна при його роботі в деформованому стані там максимальні. Прямим доказом втомного руйнування шатуна в середньому перерізі стержня міг би стати специфічний втомний характер зламу стрижня – з характерними лініями «відпочинку» і зоною «доломіт» [10,15]. Однак при руйнуванні обидві половини стрижня були значно пошкоджені ударами про інші деталі двигуна (рис.51), і відсутня фрагмент стрижня (рис.26), що не дозволяє прямо підтвердити втомний характер руйнування шатуна за характером зламу його стержня. У такому випадку для встановлення факту втомного руйнування можуть бути використані і непрямі докази (деформація шатуна, кількість циклів навантаження, місце руйнування і т.д.).

Очевидно, **чим більше деформація шатуна, тим вище напруги і менше циклів навантаження буде потрібно для руйнування** – в повній відповідності з кривою втоми матеріалу. Приблизний час до поломки можна розрахувати. Якщо двигун працює в середньому на знижених оборотах 1500 об / хв, а середня швидкість автомобіля складає 40 км / год (при змішаній експлуатації місто-траса), то за 1 годину або 40 км пробігу шатун буде навантажений 1500 х 60 = 90 000 разів, або 2250 разів на 1 км шляху. Для невеликих деформацій шатуна можна в 1-м наближенні покласти, що напруги будуть лише незначно перевищувати допустимі. Тоді 107 циклів навантаження (поблизу межі витривалості) до руйнування шатуна автомобіль проїде приблизно за 4450 км. При середній швидкості 30 км / год (переважна експлуатація в місті пробіг з моменту деформації шатуна до його поломки може скласти близько 6675 км. Якщо ж автомобіль експлуатується виключно в місті, то середня швидкість не перевищить 25 км / год, що дає пробіг до поломки близько 8000 км.

Особливості процесу руйнування поршня при поломці шатуна..

У переважній більшості практичних випадків втомного руйнування шатуна після гідроудару спостерігається наступний характер пошкодження і руйнування поршня:

1. Поршень з уламком шатуна виштовхується у верхню частину циліндра.
2. Нижня частина поршня може бути пошкоджена ударами противаг клонували.
3. Верхня головка шатуна може бути вирвана з бобишек поршня разом з поршневим пальцем, при цьому у верхній частині циліндра буде виштовхнута тільки верхня частина поршня (днище, ущільнювальний пояс з частиною бобишек), в той час як юбка буде зруйнована на фрагменти.

4. Внаслідок виштовхування поршня вгору деформуються клапани, що відкриваються назустріч поршню, причому на тарілках з'являються сліди ударів поршня.

Загальним для більшості відомих випадків руйнування шатуна є обов'язкова присутність в циліндрі як мінімум верхній частині поршня і досить сильної деформації клапанів.

Як це випливає з результатів огляду, поршень №1 відсутня в циліндрі (що також підтверджується даними огляду експерта Б-ва А.В.), що означає, що **поршень був повністю зруйнований**. При цьому **клапани також не мають вираженої деформації**, на тарілках є тільки сліди хаотичних ударів фрагментів разрушавшегося поршня, причому **на краях 3-х тарілок з 4-х немає характерних слідів контакту з поршнем** (рис.39).

Зазначені ознаки означають, що **поршень №1 досліджуваного двигуна в процесі руйнування не виштовхувала в верхню частину циліндра**. Така невідповідність з наявною практикою і даним випадком має пояснення. Більшість двигунів переважної більшості автомобілів не мають наддуву, тому переважна частина практичних випадків гідроудару пов'язана з атмосферними двигунами. В атмосферних двигунах при відкритті впускних клапанів порожнину циліндра з'єднується з порожниною впускного колектора, в якій на режимах часткових навантажень є досить значне розрідження (до -0,7 бар при русі на примусовому холостому ходу). Оскільки після поломки шатуна роз'єднаний від колінчастого вала поршень не робить роботи (в циліндрі немає стиснення і займання суміші), середній тиск в циліндрі на режимах часткових або малих навантажень виявляється нижче атмосферного, що і визначає "присмоктування" поршня до верхньої частини циліндра – аж до упору днища в відкриваються клапани.

Навпаки, **у двигунів з наддувом при наявності працюючого турбокомпресора у впускному колекторі створюється підвищений тиск**, що при розриві зв'язку поршня з коленвалом (обрив шатуна) призводить до виштовхування поршня з уламком шатуна вниз. А оскільки нижнім упором поршня є обертові противаги коленвала, то у двигунів з наддувом при роботі навіть на часткових навантаженнях **повне руйнування поршня відбувається практично всього за кілька оборотів коленвала після руйнування шатуна**, з подальшим падінням всіх уламків в піддон картера.

У досліджуваного двигуна на колінчастому валу залишилася нижня головка шатуна з половиною стрижня, за допомогою якого в бічних стінках блоку були вибиті відповідні формі стрижня проломи (рис.46). Точно також був зруйнований і піддон картера, внаслідок чого переважна частина уламків поршня вилетіла з двигуна вниз через утворену пробоїну в картері. Ніякого іншого способу руйнування поршня у досліджуваного двигуна не існує в принципі, оскільки двигун до огляду 07.05.2018г. не розбирався (ГБЦ не знімалася), а демонтаж поршня вниз конструктивно неможливий (відстань між опорами клонували значно менше діаметра поршня).

Таким чином, **відсутність (повне руйнування) поршня в досліджуваному двигуні з турбонаддувом є очевидним наслідком поломки шатуна**.

Дослідження системи управління двигуна.

В матеріалах є протокол діагностики від 27.09.2018 року. Даний протокол роздрукований після проведення діагностичних робіт по з / н № МН-0385824. Наданий протокол відображає стан двигуна на момент руйнування. Для більш правильної відповіді на поставлені перед експертом питання необхідно розглянути, яким чином на досліджуваному автомобілі працює система діагностики.

Для діагностики автомобіля, обладнаного європейської бортовий системою самодіагностики (Euro-OBD), до автомобіля повинна бути підключена система бортової

діагностики OBD (задовольняє стандарту ISO 15765-4). Таким чином можна вважати різні вихідні дані блоку ECM автомобіля [8,9].

Згідно з положеннями Euro-OBD, бортовий комп'ютер автомобіля повинен включати контрольну лампу несправності (MIL) на панелі приладів у разі виявлення несправності в наступних системах:

- Несправності в вузлах системи зниження токсичності відпрацьованих газів.
- Порушення роботи вузлів системи управління трансмісією, що впливають на токсичність відпрацьованих газів.
- Несправності в блоці управління.

Крім того, в пам'ять записуються відповідні діагностичні коди несправностей (DTC), передбачені вимогами стандарту ISO 15765-4 [7]. Якщо несправність не проявляється протягом 3 наступних поїздок, контрольна лампа несправності автоматично вимикається, однак коди DTC реєструються в пам'яті ECM.

Для перевірки кодів DTC підключається портативний діагностичний прилад (ПДП) до діагностичного роз'єму.

На дисплеї приладу відображаються коди DTC, дані фіксованого набору параметрів і різні дані про стан і умови роботи двигуна.

При нормальній експлуатації автомобіля система діагностики працює в звичайному режимі. У нормальному режимі діагностики для забезпечення точного визначення несправності застосовується як логіка діагностування за 2 поїздки. Це передбачає, що при першому виявленні несправності DTC тимчасово зберігаються в пам'яті (1-а поїздка). Якщо ця ж несправність реєструється знову під час наступного циклу руху, включається контрольна лампа MIL (2-а поїздка).

Як додатковий засіб механіки можуть скористатися режимом активної діагностики (поїздка з приладом). Для поліпшення здатності системи виявляти несправності, в тому числі епізодичні, при відтворенні ознак несправностей в режимі активної діагностики використовується логіка діагностування за 1 поїздку (тільки в разі застосування ПДП).

Після проведення всіх діагностичних процедур, перевірки систем і усунення виявлених несправностей відповідно до офіційної ремонтної документації проводиться видалення кодів DTC [9]. Коди DTC і дані фіксованого набору параметрів можуть бути видалені за допомогою ПДП. Факт видалення кодів фіксується блоком управління, після видалення кодів починається новий відлік пробігу автомобіля в блоці управління.

Аналіз кодів несправності двигуна.

У протоколі до замовлення нарядом № МН-0385824 зафіксовані наступні коди несправності:

Код несправності по системі Electrical power steering (N68) (Електричний Підсилювач керма):

1. **P063506** – The electrical power steering has a malfunction (Електричний Підсилювач керма має несправність) – статус збережений
2. **U041586** – Implausible data were received from control «Traction system», There is an incorrect signal (Неправдоподібні дані від управління «протівобуксовочной системою», неправильний сигнал) – статус "збережений".

Код несправності по системі ESP - electronic stability program (N30 / 4) (електронна система стабілізації):

3. **C320100** – No CAN message was received from control unit Engine (ніхто не почув повідомлення від блоку управління двигуна) – статус "збережений".

4. **C01C400** – the vacuum system is not leaktight (вакуумна система не герметична) – статус "актуальний".

5. **C073400** – this fault code unit (N30 / 4) (electronic stability program control unity can be ignored and erased) – код несправності блок (N30 / 4) (electronic stability program control може бути проігнорований і видалено)

6. **C038300** – the CAN message from Engine is fault (CAN-повідомлення від двигуна – несправність).

Код несправності по системі SG-AWF – Control unit «COLLISION PREVENTION ASSIST» (A90) (Модуль попередження зіткнення):

7. **U0416FD** – Chassis CAN message was received from control unit «electronic stability program» (Шасі було отримано повідомлення від блоку управління «електронна програма стабілізації») – статус "збережений".

8. **U0401FD** – the CAN message from control unit Motor electronics is faulty (CAN-повідомлення від блоку управління двигуна, несправна електроніка) – статус "збережений".

9. **C10C800** – system COLLISION PREVENTION ASSIST has triggered a warning (система попередження зіткнення, спрацьовує попереджувальний сигнал) – статус "збережений".

10. **C10C900** – System BAS PRO was triggered (Система BAS PRO була викликана).

Код несправності по системі DKG Electronic transmission control for double-plate clutch transmission (N15 / 13) (блок контролю дводискового зчеплення (N15 / 13):

11. **263797** – Freedback on the torque control is not received. The system function is restricted (Відгуки про управління крутним моментом не отримав. У системі функція обмежена) – **виникнення при пробігу 20168,9 км** – статус "збережений".

12. **056200** – The power supply of circuit 87 has undervoltage (Живлення ланцюга 87 знижений) – **виникнення при пробігу 20169 км** – статус "збережений".

Код несправності по системі ME-Motor electronics «MED40» for combustion engine «M270» (N3 / 10) (Блок управління «MED40» для двигуна внутрішнього згоряння «M270» (N3 / 10))

13. **P061A28** – the torque control of the control unit has a malfunction. The signal offset is outside the permissible range (сигнал крутного моменту має несправність. Сигнал зміщення знаходиться за межами допустимого діапазону) - **виникнення при пробігу 20160 км** – статус "збережений".

14. **P06DA00** – the actuation of the valve of the oil pump in the combustion engine has an fault or open circuit (спрацьовування клапана масляного насоса двигуна внутрішнього згоряння має несправність або обрив ланцюга) – **виникнення при пробігу 20160 км** – статус "актуальний".

15. **P25567B** – Sensor «Coolant level» has a malfunction. The fluid level is too low. Датчик «рівень охолоджувальної рідини» має несправність. Занадто низький рівень рідини). Статус – "присутній, постійна".

Наявність кодів несправності свідчить не тільки про наявність несправностей, а й часу їх появи. Так, при **пробігу 20160** км виник код несправності **P06DA00** (спрацьовування клапана масляного насоса двигуна внутрішнього згоряння має несправність або обрив ланцюга), **P061A28** (сигнал крутного моменту має несправність, сигнал зсуву знаходиться за межами допустимого діапазону), що може свідчити про **появу серйозних руйнувань всередині блоку циліндрів**, при цьому швидкість автомобіля була 21 км / год (за даними з роздруківки протоколу діагностики на момент появи помилки). Слід також зазначити код **P25567B**

"Занадто низький рівень охолоджувальної рідини", що пов'язано з витіканням ОЖ через пошкоджену сорочку охолодження в блоці циліндрів, а також код **P06DA00** "Спрацювання клапана масляного насоса", який міг бути викликаний руйнуванням маслонасоса.

При **пробігу 20168.9км, тобто через 8,9 км пробігу після початку руйнування двигуна**, виникає код несправності **263797** (Відгуки про управління крутним моментом не отримав, в системі функція обмежена), і ще **через 100 м, при пробігу 20169 км**, виникає код несправності **056200** (Живлення ланцюга 87 знижений), яке відповідає можливої несправності генератора (пролом блоку циліндрів з пошкодженням генератора) і припинення роботи двигуна.

Руйнування двигуна автомобіля відбувалося, судячи по виниклих кодами несправності, **при русі автомобіля протягом пробігу близько 9 км**. Таким чином, коди несправностей, записані в пам'яті блоку, допомагають доповнити картину виникнень руйнувань двигуна і відповідають пошкоджень двигуна і виходів з ладу систем, які отримали несправність в результаті цієї поломки.

Аналіз кодів несправностей, що виникають в момент гідроудару, і часу гідроудару.

У пам'яті не збережено жодних кодів, які могли б ставитися до самого моменту гідроудару. Коди несправності на момент поломки двигуна, як було показано вище, пов'язані саме з поломкою двигуна як кінцевим результатом гідроудару. При цьому раніше в експлуатації могли з'являтися інші коди, за якими можна встановити сам момент гідроудару та деформацію шатуна.

У разі гідроудару двигун, як правило, спонтанно зупиняється, причому такий нештатний останов неминуче викликає появу помилок в багатьох системах. У той же час, якщо помилки не викликані і не впливають на екологічні характеристики автомобіля, вони можуть бути записані і збережені в пам'яті блоку без індикації лампи несправності двигуна.

Типовими кодами при гідроударі можуть бути (в рамках загальних позначень кодів системи самодіагностики Euro-OBD [9]):

1. P1603 – Зупинка двигуна без ключа.
2. P1604 – Незапуск двигуна.
3. P1605 – Падіння частоти обертання КВ нижче мінімального рівня.
4. P0335 – Помилка по датчику КВ.

Таких кодів в протоколах діагностики не виявлено.

Відповідно до історії автомобіля (табл.2), в експлуатації автомобіля є події, пов'язані зі спрацюванням лампи несправності двигуна. Таких подій було два, при пробігу 5285 і 12786 км (табл.3):

Табл.3. Витяг з історії автомобіля.

№ п/п	Вид ТО, ремонту, причина звернення	Дата	Пробіг	Пробіг від попередньої події	Документ, наряд №	ПРИМІТКИ
1	Діагностика. Горить індикація несправності двигуна	17.06.2018	5285	н/у	300383-1	ТОВ «МБ»
2	Установка доп. обладнання	10.08.2018	12482	7197	МН-0377763	ТОВ «Анілон АГ». Установка блоку на педаль газу Sprintbooster
3	Діагностика. Горів Check. Стирання	13.08.2018	12786	304	МН-0378348 перший етап	ТОВ «Анілон АГ». Помилка P014100 Несправність

	помилок.					підігріву кисневого датчика, виявлена раніше 04.07.2013 при пробігу 7470км. Датчик змінювався. Дані з ESKULAB-запиту від 14.08.2019
4	Заміна датчика кисню після каталізатора	19.09.2018	19546	6760	МН-0378348, другий етап	
5	Поломка двигуна при русі автомобіля	26.09.2018	20168	623		**14883 км пробігу з моменту 1-го появи несправності (5285 км).** **7382 км пробігу з моменту 2-го появи несправності (12786 км).** **7686 км пробігу з моменту тюнінгу двигуна (12482 км).** Висновок експерта Блінова А.В. від 21февраля 2019р.

Згідно з цими даними, коди несправності, які супроводжують сам момент гідроудару, могли з'явитися в діапазоні пробігів до 5285 км і 5285-12786 км. При пробігу після 12786 км поява кодів, пов'язаних з гідроударів, сумнівно, оскільки тоді вони були б записані в пам'яті блоку управління на момент поломки (а таких кодів, згідно з протоколом до замовлення нарядом № МН-0385824, не виявлено)

З іншого боку, на пробігу 12786 км (Протокол вхідного короткого тесту до замовлення-наряду МН-0378348) були виявлені код несправності підігріву кисневого датчика P014100 (40 спрацьовувань за 300 км пробігу з 12496 км), код P233927 "Кордон детонації циліндра 4 перевищена. рівень зміни сигналу вище допустимого граничного значення "(виник на 12512 км, протягом 5 км горіла лампа несправності двигуна), а також код P003973" Вихід для переключающего клапана перепускний заслінки "нагнітається повітря" має функціональне порушення. Виконавчий механізм не виро зводу відкриття ", також виник при 12512 км пробігу одноразово, а далі повторювався 33 рази.

Жоден з цих кодів не може бути однозначно прив'язаний до моменту гідроудару, оскільки при гідроударі слід очікувати інших кодів несправності. Тобто фактично гідроудар не міг відбутися в діапазоні пробігів ні 5285-12786 км, ні 12786-20168 км, в іншому випадку в протоколах діагностики при пробігах 12786 і 20168 км слід було б очікувати коди, відповідні відхилень параметрів двигуна в момент гідроудару.

З іншого боку, експерту не надано Протокол діагностики на момент проходження автомобілем робіт по замовлення поряд 300383-1 при пробігу 5285 км. Виходячи з усіх наявних даних слід:

1. Момент гідроудару її блокування системою управління при пробігу понад 5285 км на протязі 14883 км аж до поломки двигуна при 20168 км.
2. Протягом пробігу 14883 км гідроудару або не було, або система управління не записала будь-яких характерних для гідроудару відхилень параметрів (що є сумнівним).
3. Пробіг 14883 км з моменту гідроудару до поломки є надзвичайно великим, зазвичай деформований при гідроударі шатун руйнується від втоми при вдвічі менших пробігах (не більше 7000 км).

4. Характер зносу циліндра №1 говорить про дуже тривалій роботі поршня з укороченим шатуном, при якій сліди нормальної роботи практично стерті на більшій частині поверхні циліндра.
5. Шатун може бути виготовлений з високоміцного матеріалу з високою межею витривалості, коли дія позаштатних изгибающих навантажень після гідроудару протягом тривалого часу не викликало освіту і розвиток в стрижні втомної тріщини.
6. Автомобіль міг експлуатуватися переважно на невисоких оборотах і навантаженнях двигуна, що природним чином подовжує термін служби деформованого шатуна до поломки. Ознакою використання знижених режимів зазвичай служить стан гальмівних дисків, які у досліджуваного автомобіля мають незначний знос (рис.52).

Зазначені дані свідчать про те, що гідроудар міг з певною ймовірністю відбутися і при малому пробігу до 5285 км, хоча наступний пробіг до руйнування шатуна понад 14883 км є рекордним. З іншого боку, при пробігу 12482 км, тобто за 7686 км до поломки, проводилися роботи по тюнінгу двигуна. Дані роботи були пов'язані з доопрацюванням електронної системи управління, що могло зажадати проведення діагностичних робіт. У разі знаходження будь-яких кодів в пам'яті блоку управління, що не викликають спрацьовування контрольної лампи несправності, такі коди теоретично могли бути стерті. У зв'язку з цим момент гідроудару в діапазоні пробігів 5285-12482 км також не можна повністю виключити.

Таким чином, згідно з усіма зазначеними обставинами, особливостям і ознаками, **гідроудар в досліджуваному ДВЗ імовірно міг відбутися тільки на етапі експлуатації автомобіля при пробігу до 12482 км або навіть до 5285 км**, в той час як гідроудар при більшому пробігу, неможливо зафіксований системою управління, оцінюється експертом, як менш ймовірний. Однак в будь-якому випадку точне встановлення моменту гідроудару виходить за рамки дослідження, що проводиться, оскільки факт втомного руйнування шатуна, деформованого від гідроудару при попаданні води, однозначно встановлено.

Причини потрапляння води в двигун.

При русі автомобіля по дорозі, на якій є невеликий шар води (сильний дощ та / або калюжі), вода, яка захлиналася з-під передніх коліс, розбризкується в арках коліс і стікає вниз під днище автомобіля. Однак при великому шарі води на дорозі (близько 10 см і більше) перед автомобілем виникає досить висока **носова хвиля**, висота якої істотно перевищує шар води на дорозі і може бути порівнянна з висотою його передній частині або навіть вище [14]. В цьому випадку хвиля перед автомобілем може заходити на бампер і капот, заливаючи через решітку радіатора всю передню частину автомобіля, включаючи підкапотний простір.

Будь-яка хвиля має свою власну швидкість руху, і оскільки за гребенем хвилі завжди слід западина, безпечною швидкістю для автомобіля в глибокій калюжі буде та, при якій передня частина автомобіля буде рухатися разом зі западиною хвилі (це приблизно швидкість пішохода, що не перевищує 5 км / год). Очевидно, будь-яке прискорення або уповільнення автомобіля, а також хвиля від зустрічного автомобіля, неминуче призведуть до заливання хвилею передній частині моторного відсіку.

Заборний патрубок повітряного фільтра в будь-якому автомобілі масового виробництва завжди розташований в передній частині в зоні, найбільш захищеною від прямого попадання води – за переднім бампером трохи вище нього. Висота розташування забірного патрубка у переважної більшості легкових автомобілів не перевищує 0,5 м від землі, що визначається конструктивними особливостями і висотою розташування капота. У разі, якщо хвиля накриває

передню частину автомобіля, велика ймовірність того, що вода заповнить всі порожнини в передній частині автомобіля і потрапить у вхідний патрубок повітряного фільтра.

В даний час **всі автомобілі масового виробництва, призначені для руху по дорогах загального користування, не мають будь-яких спеціальних пристроїв для повного запобігання попадання води на вхід двигуна**. Виняток становлять тільки спеціальні автомобілі для їзди по бездоріжжю, у яких забірний патрубок винесено на велику висоту і розташований поза кузова автомобіля (так званий шнорхель), однак такі конструкції не є серійними.

В результаті **всі легкові автомобілі всіх відомих моделей, класів і виробників схильні в тій чи іншій мірі гідроударів в двигуні від попадання води**. Причиною гідроудару в переважній більшості випадків є занадто велика швидкість руху автомобіля при проїзді глибоких калюж, що утворюються на дорозі під час сильного дощу. При цьому мала швидкість руху дозволяє уникнути гідроудару в двигуні аж до надмірно високого рівня води (граничний рівень води повинен бути гарантовано, з запасом, нижче рівня розташування забірного патрубка повітряного фільтра), в той час як висока швидкість руху становить небезпеку для двигуна навіть при порівняно невеликому шарі води на дорозі.

У експерта немає точних даних про вплив швидкості руху, величини шару води і розташування вхідного патрубка на виникнення гідроудару у конкретних автомобілів, проте практика експлуатації і ремонту значної кількості двигунів говорить про те, що уникнути гідроудару при появі великої кількості води на дорозі можна тільки шляхом вибору правильної швидкості руху або взагалі вибору іншого маршруту руху.

Відповідно до цього немає ніяких причин припускати, що досліджуваний автомобіль MERCEDES-BENZ моделі CLA 200 повинен володіти особливими позашляховими властивостями і вільно долати глибокі калюжі без зниження швидкості і дотримання необхідних запобіжних заходів. Більш того, в інструкції з експлуатації автомобіля [5] зазначено наступне:

"**При необхідності проїзду по воді враховуйте, що**:

• глибина води в спокійному стані не повинна перевищувати 25 см.

• перевищення швидкості пішохода неприпустимо. "

Виходячи з цього, є всі підстави стверджувати, що **причиною потрапляння води в двигун, що викликала гідроудар, є груба експлуатація автомобіля, що реалізувалася в русі з підвищеною швидкістю по дорозі з великим шаром дощової води і / або по глибоких калюжах**.

Особливості вторинного пошкодження і руйнування досліджуваного двигуна.

Зазвичай при поломці деформованого шатуна в двигуні відбуваються такі послідовні процеси:

1) поршень з уламком стрижня отримує свободу і починає рухатися в залежності від початкового імпульсу в момент руйнування шатуна і під дією тиску в циліндрі, що залежить від режиму роботи двигуна,

2) нижня головка шатуна з уламком стрижня отримує свободу обертання, при цьому стрижень шатуна починає стикатися з оточуючими стінками блоку циліндрів,

3) удари стержня при обертанні НГШ призводять до пошкодження циліндра в нижній і середній частині, а також до пролому стін блоку нижче циліндра, якщо товщина / міцність стінок в цих місцях знижена (наприклад, немає ребер жорсткості).

При невеликих оборотах, негайному скиданні газу і зупинки двигуна подальших поломок, як правило, не відбувається, при цьому поршень з поршневим пальцем і уламком ВГШ можуть залишитися в циліндрі з мінімальними пошкодженнями. У деяких випадках своєчасне вимикання двигуна після поломки шатуна дозволяло навіть виконати відновлювальний ремонт двигуна з мінімальними витратами.

Однак, як показано вище, наявність турбонаддува практично виключає благополучний результат, оскільки навіть на часткових навантаженнях поршень підвищеним тиском виштовхується вниз до обертовим противаги коленвала. Більш того, пошкодження можуть стати набагато більш серйозними, а двигун – практично не ремонтопрігодним, якщо він не буде вимкнений вчасно і відразу, і / або обрив шатуна відбудеться на підвищених обертах і навантаженнях. Для двигуна, що продовжує працювати з обірваним шатуном, послідовно будуть відбуватися такі «додаткові» процеси:

1) як показано вище, відсутність зв'язку поршня з КШМ призведе до того, що при відкритті впускних клапанів поршень з уламком ВГШ буде прагнути вниз за рахунок підвищеного тиску наддуву у впускному колекторі.

2) при відкритті випускних клапанів з випускної системи в циліндр почнуть надходити вихлопні гази, що призведе до того, що поршень також буде прагнути вниз.

3) удари противаг і уламка НГШ знизу поступово викличуть все більше руйнування поршня і поява його фрагментів в циліндрі,

4) при зменшенні навантаження (скиданні газу) у впускному колекторі виникає розрідження, що при відкритті впускних клапанів викликає засмоктування уламків поршня в колектор і подальший розподіл їх по всіх циліндрах, добре спостерігається в досліджуваному двигуні по пошкодження уламками днища всіх поршнів і камер згоряння,

5) одночасно з руйнуванням поршня буде відбуватися подальше руйнування блоку уламком стержня на нижній головці шатуна, вільно обертається на шийці клонували,

6) уламки деталей при падінні вниз потраплять в площині обертання противаг і далі в площині гойдання сусідніх шатунів, що може викликати пошкодження сусідніх шатунів і циліндрів.

В результаті деталі працюючого двигуна будуть руйнуватися і далі, при цьому ступінь їх ушкоджень і кількість пошкоджених деталей вже важко прогнозувати.

У досліджуваному двигуні після руйнування шатуна сталося руйнування стінок БЦ від ударів нижньої головки шатуна з уламком стрижня. Далі уламки блоку потрапили у впускний колектор і звідти в камери згоряння інших циліндрів, про що свідчать численні сліди від потрапляння сторонніх предметів в їх камери згоряння. Це означає, що **після поломки шатуна двигун працював на підвищених обертах і / або продовжував деякий час працювати до мимовільної зупинки, а не був примусово і відразу виключений водієм**.

Вплив тюнінгу двигуна на виникнення гідроудару.

Як це випливає з отриманих вище даних, **гідроудар в досліджуваному ДВЗ імовірно міг відбутися тільки на етапі експлуатації автомобіля при пробігу до 12482 км або навіть до 5285 км**, в той час як гідроудар при більшому ніж 12482 км пробігу, неможливо зафіксований системою управління, менш імовірний.

З іншого боку, при пробігу 12482 км виконувалися роботи по тюнінгу двигуна. Суть даних робіт досить докладно викладена в Висновку експерта від 21.02.2019 і не вимагає ніяких додаткових пояснень. Однак характерно, що при подальшому виконанні діагностичних робіт при пробігу 12786 км, тобто через 304 км після проведення тюнінгу, ніяких кодів помилок, які свідчать про гідроударі, в системі управління не виявлено. Це можливо в наступних випадках:

1. гідроудару не було в період з моменту попередньої діагностики до моменту поточної діагностики, тобто він трапився раніше. За документами попередня діагностика виконана при пробігу 5285 км, звідки гідроудар міг відбутися тільки при меншому, ніж 5285 км пробігу.

2. При виконанні тюнінгу в пам'яті блоку управління були коди несправності, які свідчать про гідроударі, які були стерті той чи інший спосіб. В цьому випадку гідроудар міг статися в діапазоні пробігів між 5285 і 12482 км.

3. Виникнення гідроудару після пробігу 12482 км можна вважати малоймовірним або навіть сумнівним, оскільки при діагностиці в момент поломки в пам'яті блоку були записані тільки коди несправності, які стосуються самого моменту поломки.

Основний висновок, який випливає з представлених даних – **гідроудар в циліндрі №1 і деформація шатуна №1 в будь-якому випадку відбулися раніше, ніж проводилися роботи по тюнінгу двигуна**. Звідси відразу випливає, що **поломка двигуна не має жодного причинно-наслідкового зв'язку з роботами по тюнингу двигуна, проведеними за 7686 км до поломки**.

Крім того, будь-які дії з керуванням байпасним клапаном турбокомпресора, на який головним чином впливає додатково встановлений при тюнінгу блок управління, не може вплинути ні на одну з різних рідин, здатних викликати гідроудар – ні на герметичність форсунок, ні на проникнення масла через будь-які ущільнення, ні на вступ ОЖ, і тим більше води з навколишнього середовища. Виходячи з цього **будь-яка теорія про гідроударі внаслідок тюнінгу двигуна є безпідставний фантазією, суперечить не тільки фізичним законам, а й логіці і здоровому глузду**.

Аналіз технічних невідповідностей у Висновку експерта Блінова А.В. від 21.02.2014.

У Висновках експерта Б-ва А.В. від 21.02.2019 зазначено, що:

1. "... Установкою на автомобіль додаткових систем управління (блоку" чіп-тюнінгу "і" бустера ") були створені підвищені навантаження на двигун (в тому числі на підшипники колінчастого вала), без будь-якої компенсації наслідків цих додаткових навантажень відповідним алгоритмом управління подачею масла. Більш того, створені умови для виникнення таких режимів роботи двигуна, коли потужність і крутний момент вже різко зросли, а продуктивність масляного насоса ще обмежена подачею сигналу від блоку управління двигуном (даний сигнал не змінюйте ні "бустером", ні блоком "чіп-тюнінгу"). З огляду на розвинені функції зворотного зв'язку і самодіагностики сучасних електронних систем управління автомобілем, подібні режими не можуть бути довготривалими, але будуть багаторазово повторюватися. Таким чином, при експлуатації автомобіля будуть постійно виникати короткочасні режими роботи двигуна, при яких буде мати місце наднормативна навантаження на шийки колінчастого вала в умовах обмеженої подачі масла. Це неминуче (рано чи пізно) призведе до наднормативного зносу шийок і підшипників – фактично результати огляду представляють саме цю картину ".

2. "Знос, задираки і перегрів підшипників шийок коленвала є типовою причиною заклинювання, що призводить до руйнування елементів кривошипно-шатунного механізму (в даному випадку - мав місце розрив шатуна). Вторинні ушкодження (піддона картера, блоку циліндрів, генератора і т.д .) виникли вже після руйнування шатуна ".

Звідки експертом Б-ва А.В. був зроблений висновок про те, що "найбільш імовірною причиною появи даних ушкоджень є заклинювання підшипника 1-й шатунной шийки, що виникло через недостатню подачі масла (" масляне голодування "), що пов'язано з порушенням роботи системи управління двигуном за рахунок установки додаткового обладнання – блоку "чіп-тюнінгу" і "бустера".

Розглянемо ці твердження більш докладно. Фактично експерт створив 2 нових теорії робочого процесу ДВЗ, умовно позначені далі як теорія №1 і теорія №2.

1. **Відповідно до теорії №1 експерта**, при експлуатації автомобіля з форсованим двигуном "будуть постійно виникати короткочасні режими роботи двигуна, при яких буде мати місце наднормативна навантаження на шийки колінчастого вала в умовах обмеженої подачі масла, що неминуче призведе **до наднормативного зносу шийок і підшипників**, і фактично результати огляду представляють саме цю картину ". Тобто, знос і пошкодження вкладишів досліджуваного двигуна могло статися в результаті підвищення потужності двигуна.

Дана теорія №1 експерта **суперечить відразу 6-ти відомих фактів**:

1) насправді, ніякого наднормативного зносу на вкладишах досліджуваного двигуна немає, за винятком вкладишів шатуна №1, пошкоджених під час роботи деформованого шатуна, тобто результати огляду двигуна експертом суперечать його ж твердженням,
2) тиск в системі мастила впало за 9 км до поломки (код P06DA00 при пробігу 21160 км). В такому випадку неможливо встановити ступінь зносу і / або пошкодження вкладишів до поломки двигуна, оскільки в результаті поломки маслонасоса вони неминуче повинні були постраждати при продовження експлуатації двигуна при порушенні подачі масла,
3) при зменшенні подачі масла і навіть короткочасному її порушенні не завжди і не у всіх вкладишів виникають ті чи інші пошкодження. Пошкодження сильно залежать від багатьох факторів [12, 20, 22], в тому числі, від матеріалу вкладишів, а також швидкості зменшення тиску і подачі – при повільному падінні подачі пошкодження спостерігаються переважно у шатунних вкладишів, при швидкому – у корінних. Це суперечить станом вкладишів, виявленому експертом, і його теорії,
4) при значному підвищенні потужності (в 1,5 рази і більше), що істотно перевищує оголошений рівень форсування досліджуваного двигуна (за різними даними це 20-26%), в спортивних двигунах, виконаних на базі серійних, ніяких проблем з мастилом підшипників коленвала зазвичай не виникає [34],
5) при короткочасних порушеннях мастила повинні були постраждати підшипники росподвалів, як найбільш віддалені від маслонасоса, проте ніяких помітних пошкоджень на них не виявлено,
6) масляне голодування в переважній більшості випадків виявляється у вигляді задирака в середній частині вкладишів [20], а не на краях, як це є на шатунних вкладишах шатуна №1 досліджуваного двигуна. На інших шатунних вкладишах ніяких задирок не спостерігається взагалі.

Зазначені невідповідності теорії №1 експерта і наявної практики дозволяють стверджувати, що **підвищення потужності двигуна на 20-26% не може привести до масляного голодування в підшипниках і якого-небудь їх критичного пошкодження**.

2. Відповідно до **теорії №2 експерта**, "знос, задираки і перегрів підшипників шийок коленвала є типовою причиною заклинювання, що призводить до руйнування елементів кривошипно-шатунного механізму (в даному випадку – мав місце розрив шатуна)".

Дана теорія №2, також як і попередня, **суперечить відразу 4-м відомим фактам**:

1) заклинювання підшипника ковзання завжди пов'язане з його перегрівом і плавленням робочого шару [6, 12, 20, 22],
2) на вкладишах досліджуваного двигуна **ніяких слідів перегріву, плавлення і заклинювання немає взагалі (!!!)**, НГШ шатуна №1, а також НГШ інших шатунів, ніяких ознак перегріву не мають,

3) випадки поломки шатунів навіть при заклинювання шатунних підшипників взагалі невідомі на практиці – ні у вітчизняній, ні в зарубіжній літературі таких випадків не описано [6, 10-12],
4) заклинювання шатунного підшипника взагалі вкрай рідко зустрічається на практиці, оскільки в переважній більшості випадків раніше заклинивають корінні підшипники і підшипники росподвалів, тому що вони набагато раніше виявляються без масла,

Таким чином, **теорія №2 експерта Б-ва А.В. про заклинювання і поломки шатуна від заклинювання підшипника є не більше ніж фантазією, повністю суперечить не тільки практиці, але і результатами огляду двигуна самим же експертом**.

Причина подібних серйозних помилок і невідповідностей тільки одна – **при дуже серйозних поломки в двигуні прийнято робити повне розбирання такого двигуна з уважним вивченням кожної деталі**. Оскільки експерт Б-ов А.В. не виконав такий розборки з тих чи інших причин, обмежившись лише частковим розбиранням, він не зміг побачити і знайти реальні причини поломки (ознаки гідроудару) і ймовірно, був змушений створювати для пояснення поломки різні фантастичні теорії, далекі від реальної практики.

ВИСНОВКИ

1. **Двигун № 270910 30155488 автомобіля MERCEDES-BENZ CLA 200, VIN: WDDXXXX431N006631, рік випуску 2013, має серйозні пошкодження і поломки, в тому числі:**
   - **шатун №1 зламаний в середній частині стержня,**
   - **поршень циліндра №1 відсутня (повністю зруйнований),**
   - **шатунні вкладиші циліндра №1 мають місця з характерним діагональним зносом і задираками на краю вкладиша,**
   - **на циліндрі №1 зверху є явний слід недохід поршня до ВМТ (2,5 мм) в порівнянні з справними циліндрами і нерівномірно односторонньо стертий нагар у верхній частині в напрямку осі коленвала,**
   - **циліндр №1 має значне пошкодження (пролом) у нижній частині в площині обертання шатуна, сліди у вигляді вибоїн і подряпин по всій поверхні циліндра,**
   - **блок циліндрів двигуна має механічне пошкодження в зоні циліндра №1 у вигляді наскрізного пролому лівої і правої стінки на 2/3 висоти блоку з боку картера двигуна і шириною близько 6 см,**
   - **камера згоряння №1 сильно пошкоджена, електрод свічки запалювання 1-го циліндра деформований,**
   - **зруйнований піддон картера і маслонасосів, пошкоджені заспокоювач масла, генератор і інші деталі.**

   Крім того, виявлені сліди висохлих крапель води на внутрішніх поверхнях корпусу повітряного фільтра та в патрубку, що з'єднує корпус повітряного фільтра з турбокомпресором.

2. **Причиною несправності (руйнування) двигуна з'явився гідроудар в циліндрі №1 від попадання води ззовні у вхідний патрубок повітряного фільтра, що стався задовго до поломки двигуна і закінчення експлуатації автомобіля, в результаті чого шатун №1 був деформований, що стало причиною його подальшого втомного руйнування при пробігу 20168 км.**

3. **Причинно-наслідковий зв'язок несправності двигуна з виробничим браком, виконанням обслуговування автомобіля, а також роботами по тюнингу двигуна відсутній, поломка двигуна стала наслідком грубої експлуатації автомобіля, в тому числі, з порушенням положень Керівництва по експлуатація автомобіля, що виразилася в русі з підвищеною швидкістю по дорозі з великим шаром дощової води і / або по глибоких калюжах.**

4. **До появи несправності двигуна безпосередньо призвели дії водія, який керував автомобілем у момент гідроудару імовірно в період до проведення тюнінгу двигуна при пробігу 12482 км або навіть в початковий період експлуатації автомобіля до пробігу 5285 км, проте точно вказати час гідроудару не представляється можливим у зв'язку з відсутністю даних діагностики на зазначені пробіги.**

Експерт _____ О.Е.Хрулєв

Додаток: фото таблиця на 27 арк.

ДОДАТКИ
к висновку експертного дослідження № 01-А від 12.11.2019

Рис.1. Досліджуваний автомобіль на стоянці техцентру ТОВ "Анілон".

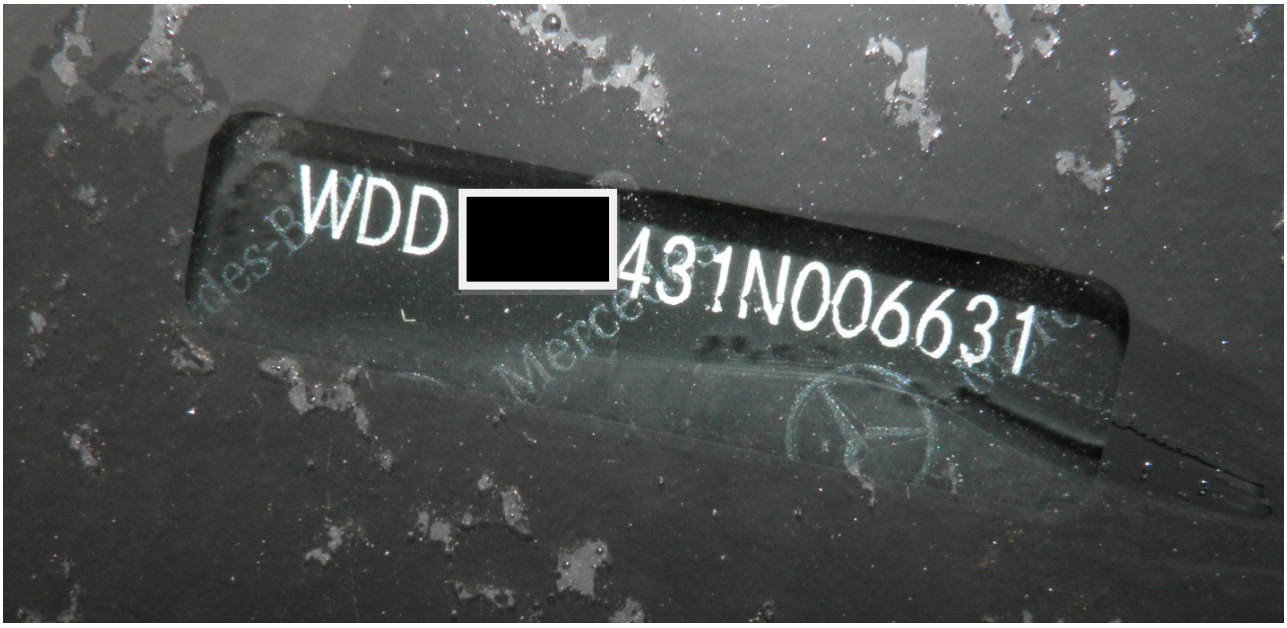


Рис.2. VIN автомобіля відповідає документам на автомобіль.

Рис.3. Двигун демонтований з автомобіля до огляду.

Рис.4. Багажник автомобіля і люк бензобака не опечатано.

Рис.5. Демонтовані деталі впускної системи в багажнику автомобіля.

Рис.6. Уламки деталей, які зберігалися в багажнику.

Рис.7. Радіатор автомобіля, що зберігався в ремонтній зоні.

Рис.8. Захист двигуна, що зберігалася в ремонтній зоні.

Рис.9. Двигун досліджуваного автомобіля на момент початку огляду.

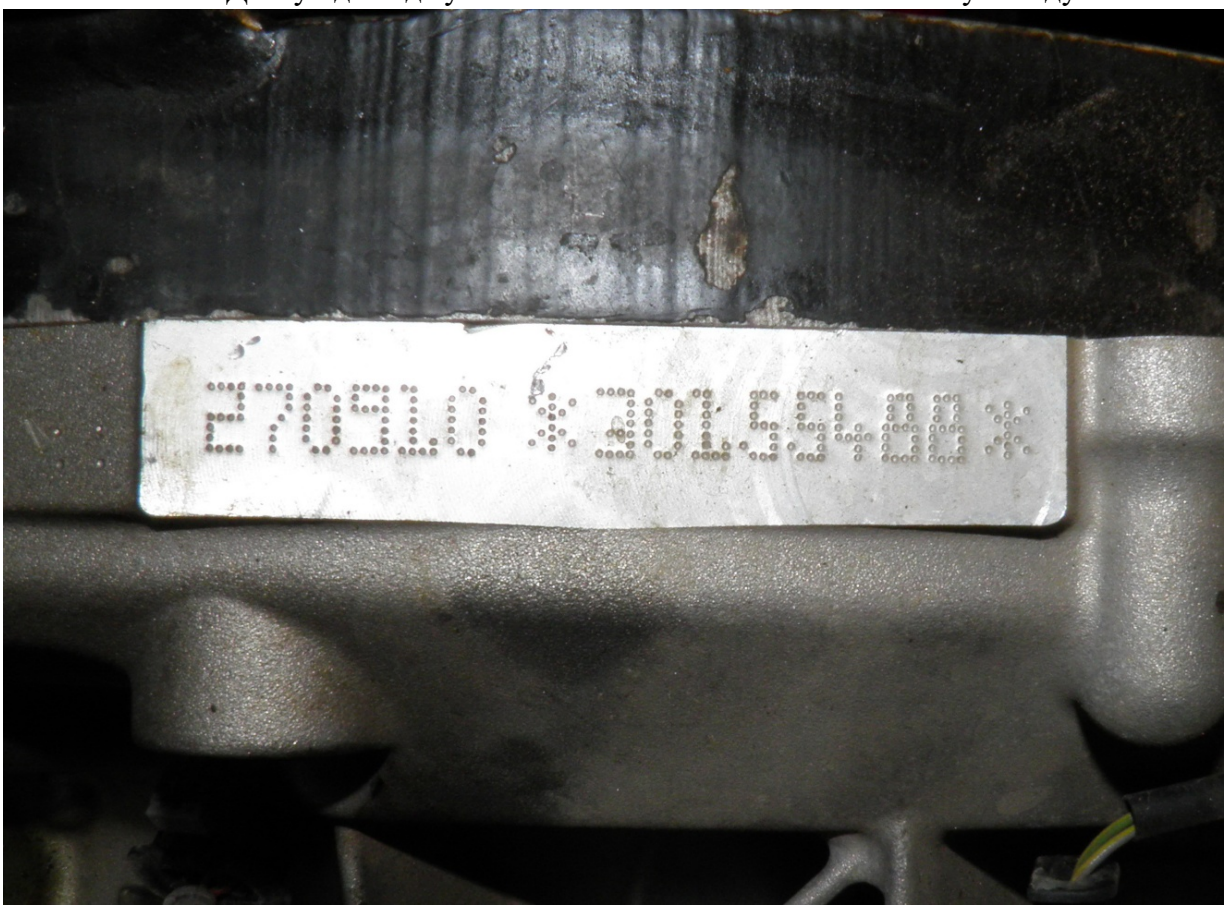


Рис.10. Номер двигуна на блоці циліндрів.

Рис.11. Деталі впускної системи, що зберігалися в багажнику.

Рис.12. Внутрішня поверхня корпусу фільтра (верхня частина) зі слідами висохлих крапель води.

Рис.13. Те ж, всередині патрубка від повітряного фільтра до турбокомпресора.

Рис.14. Викривлення гофр фільтроелемента.

Рис.15. Пошкодження кожуха двигуна.

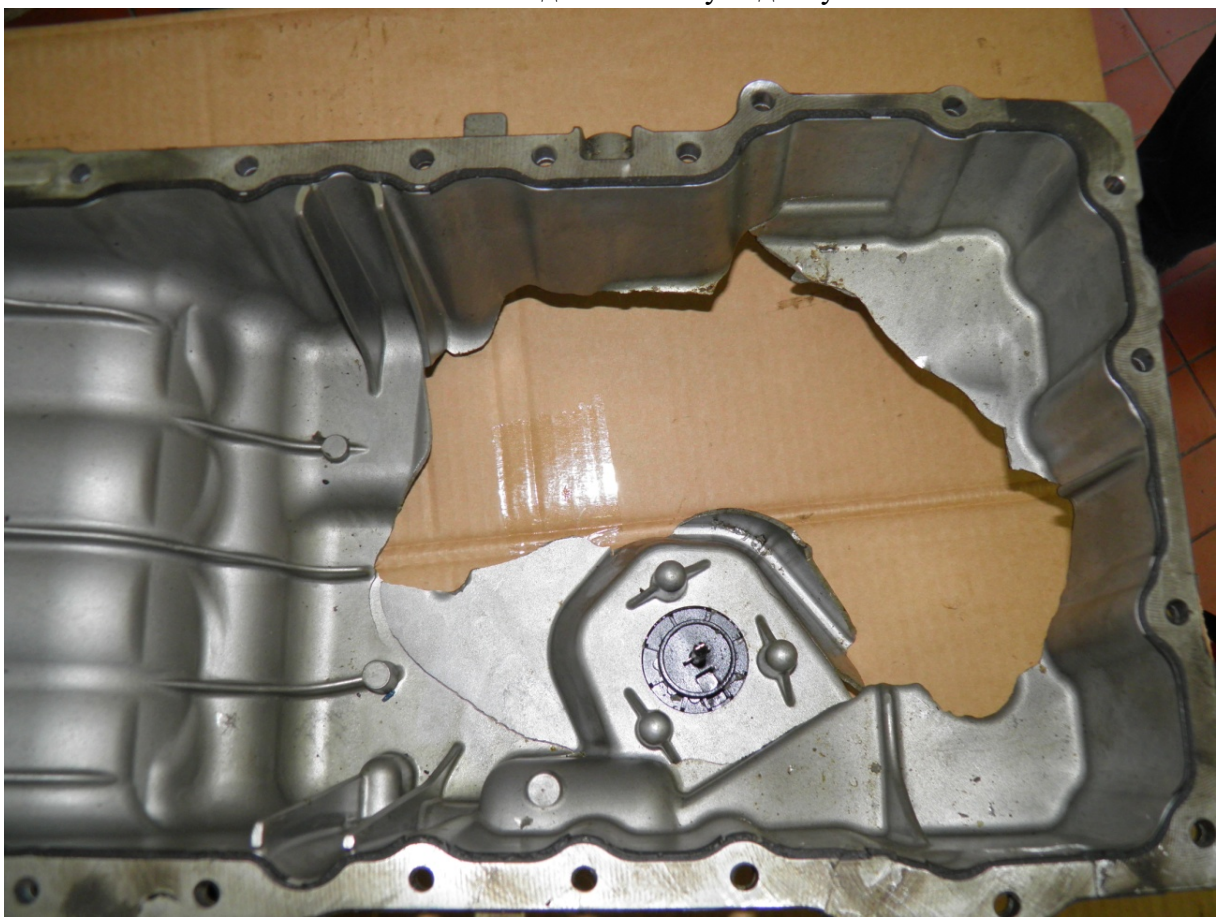


Рис.16. Зруйнований піддон картера.

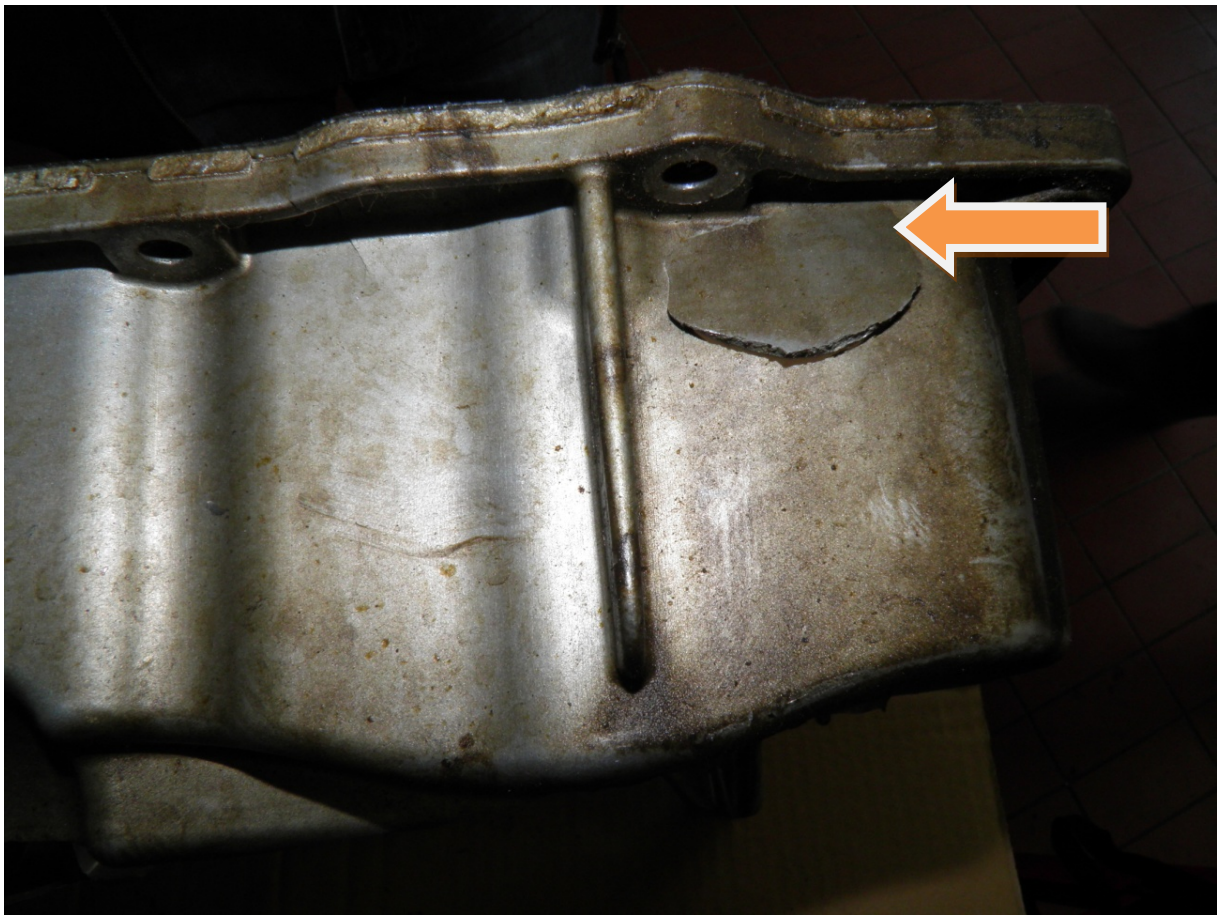


Рис.17. Пролом бічної стінки піддону картера в напрямку зсередини.

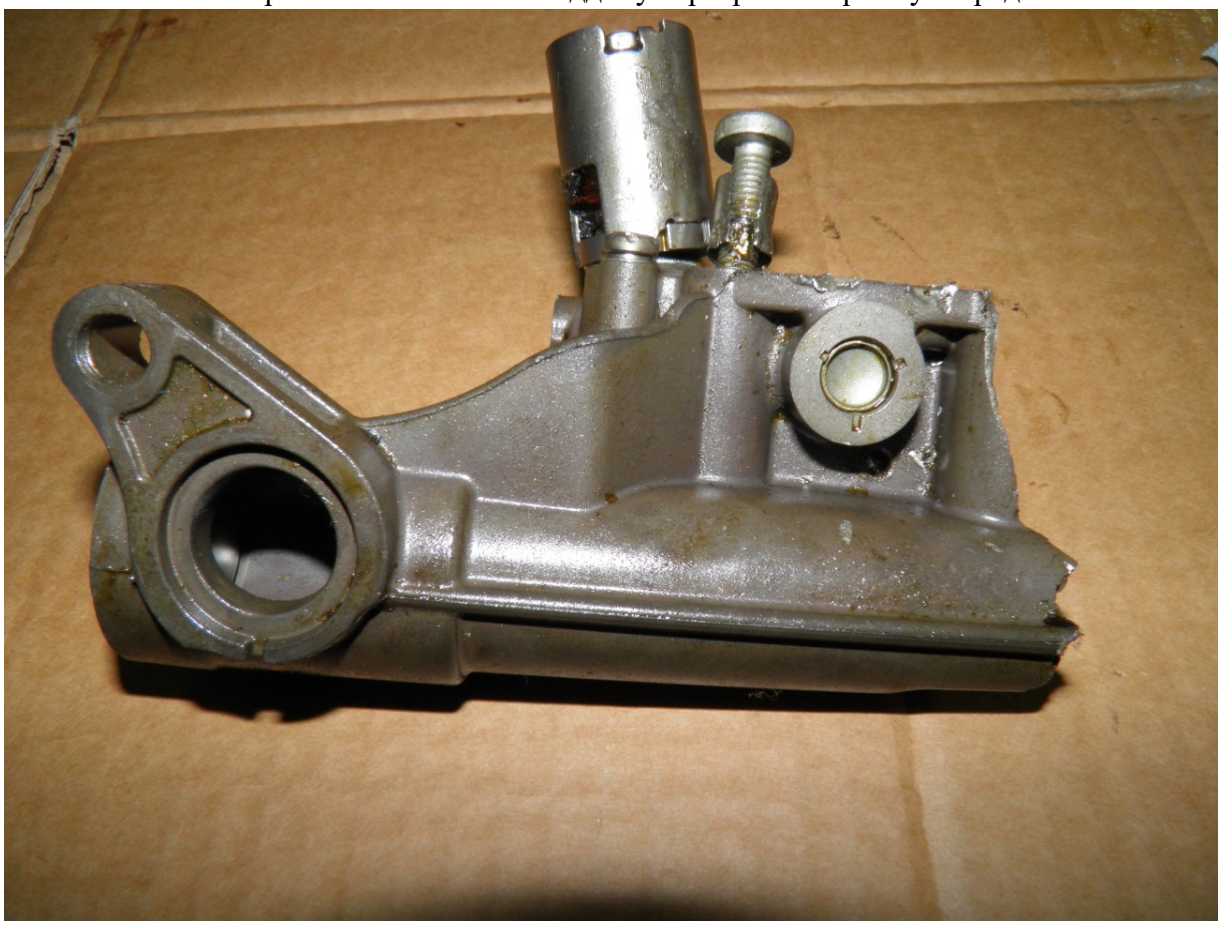


Рис.18. Фрагмент корпусу маслонасоса.

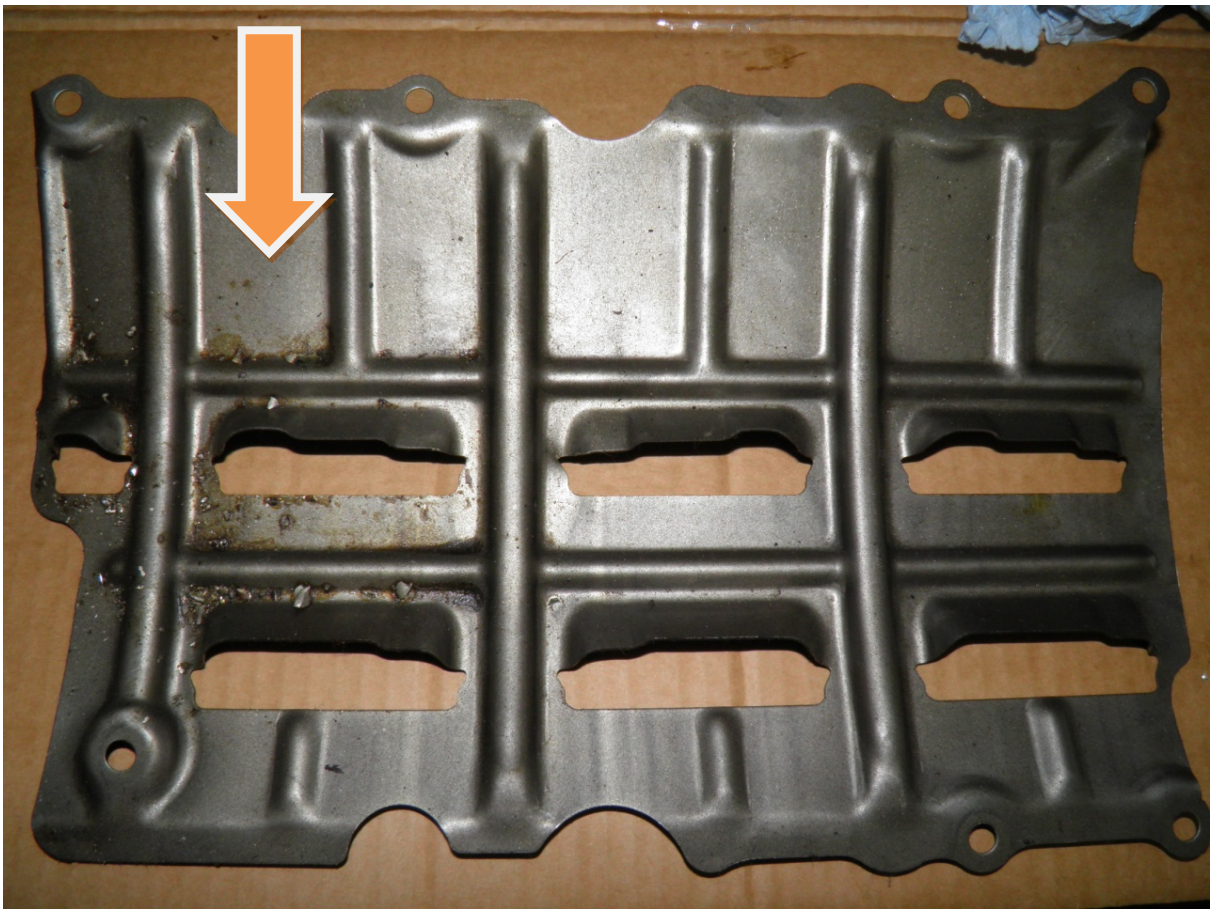


Рис.19. Пошкодження успокоителя масла.

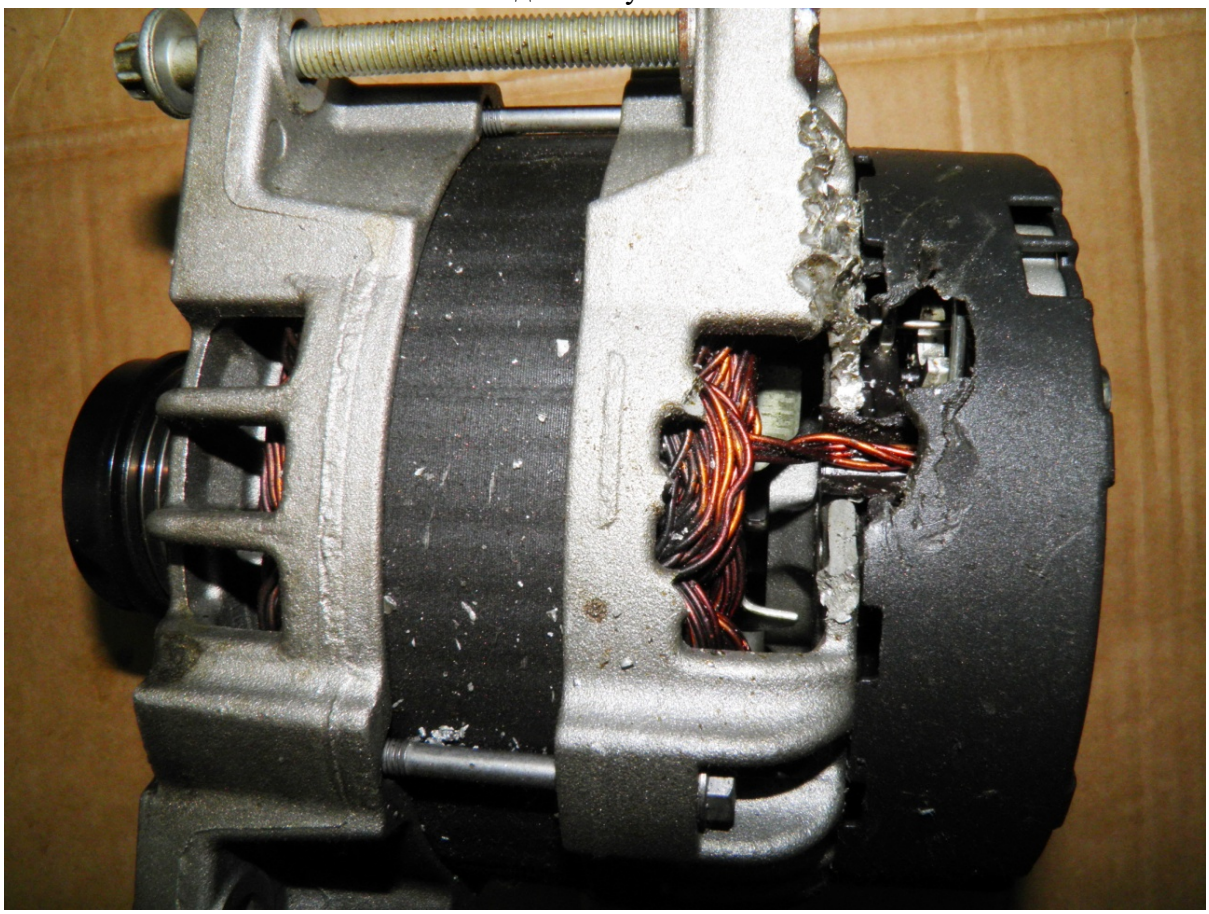


Рис.20. Пошкодження генератора.

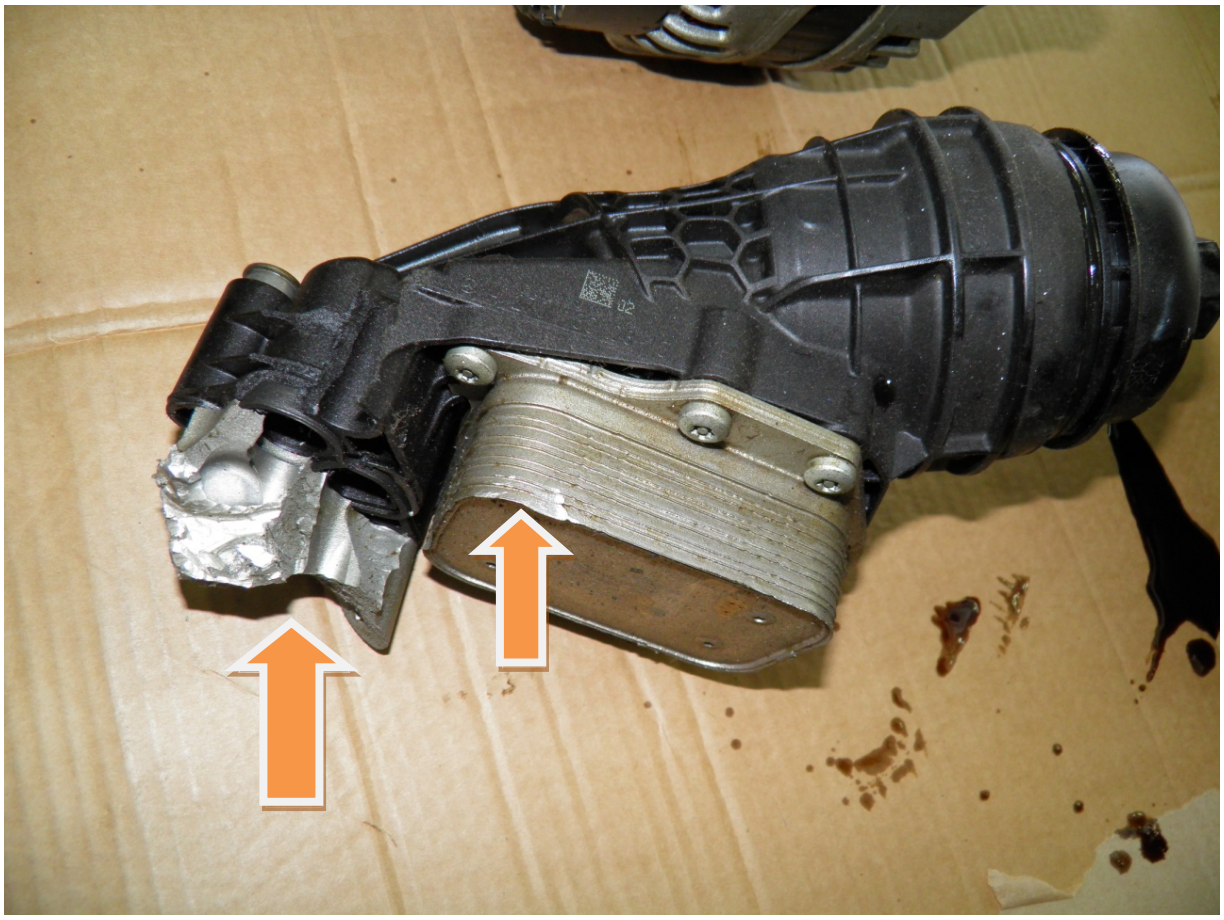


Рис.21. Корпус масляного фільтра.

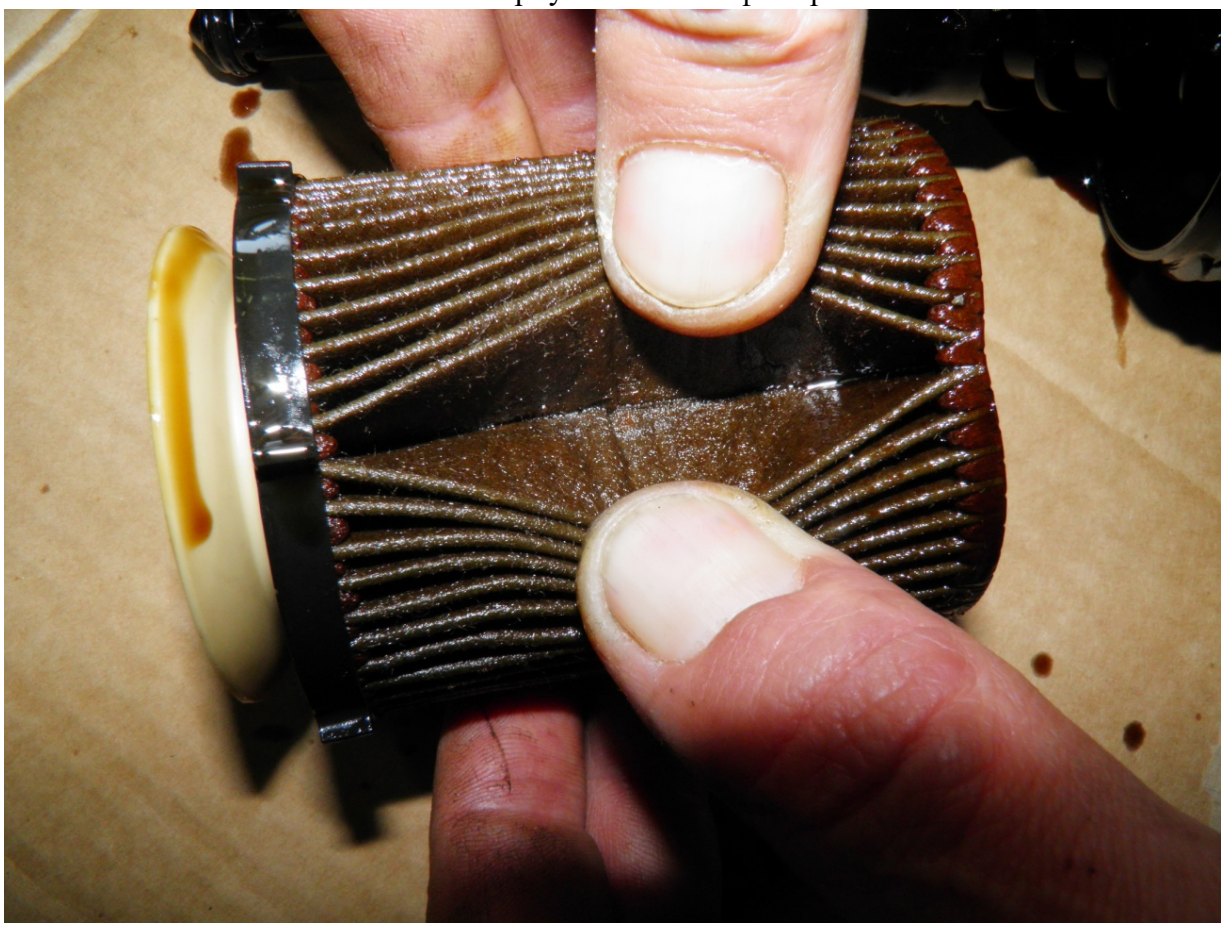


Рис.22. Фільтроелемент масляного фільтра.

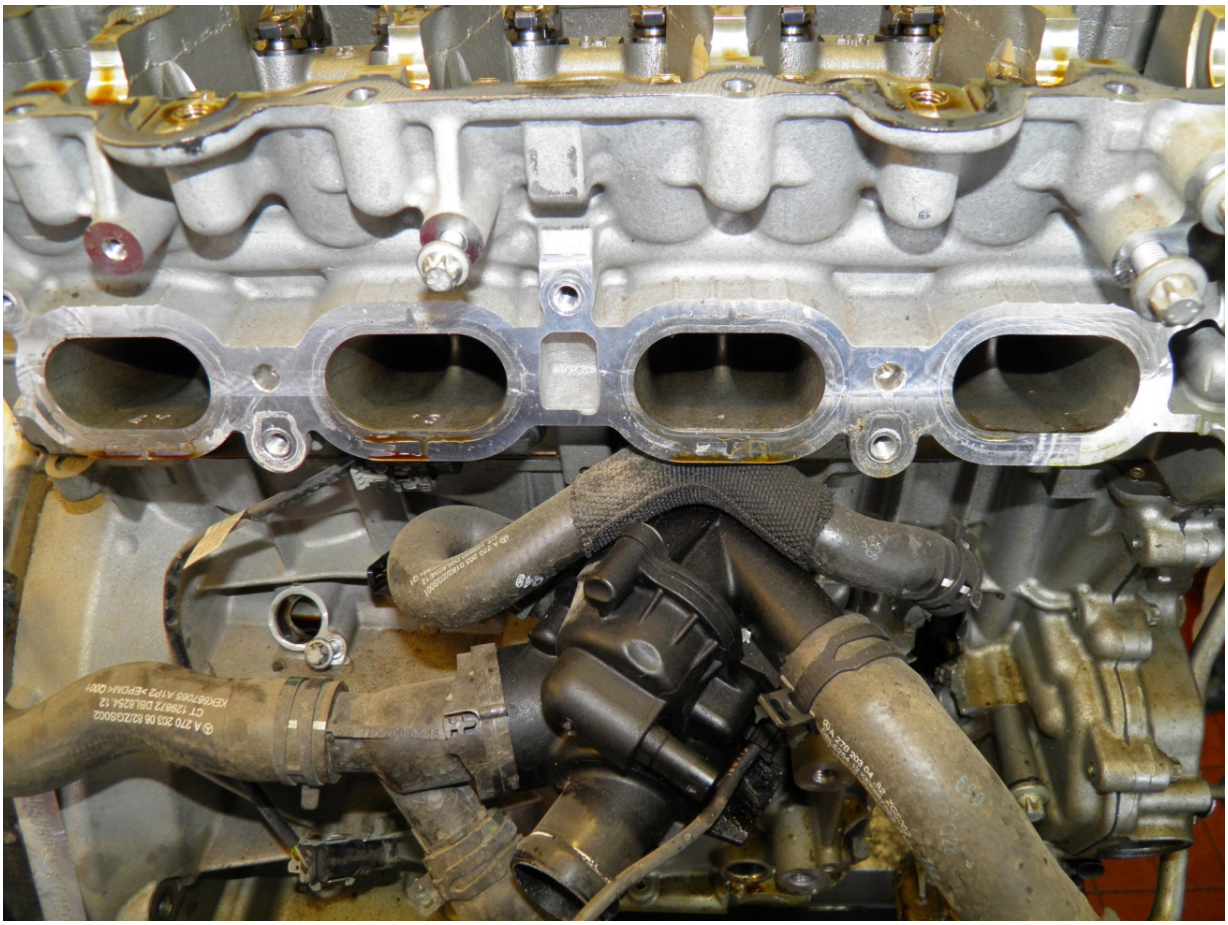


Рис.23. Впускні канали ГБЦ.

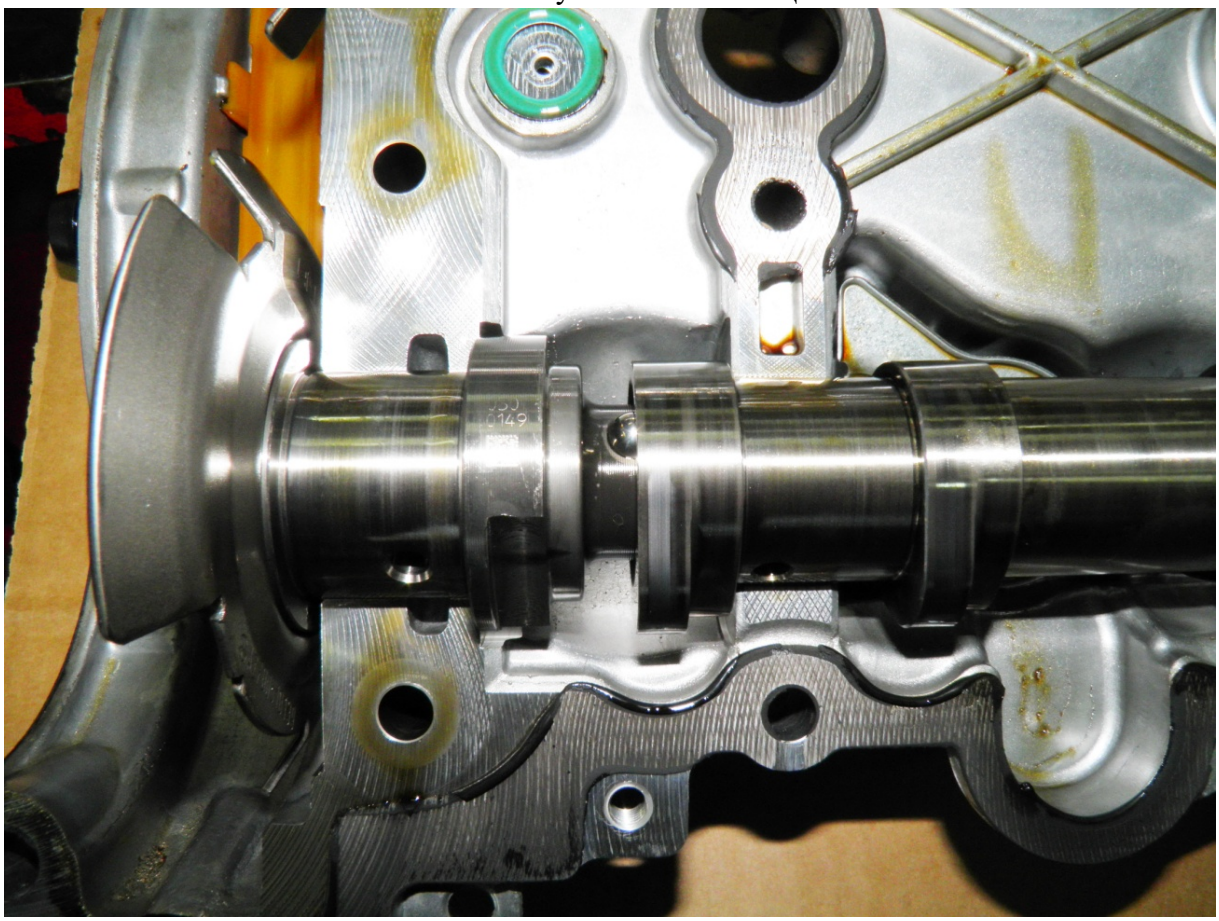


Рис.24. Розподільні вали в робочому стані.

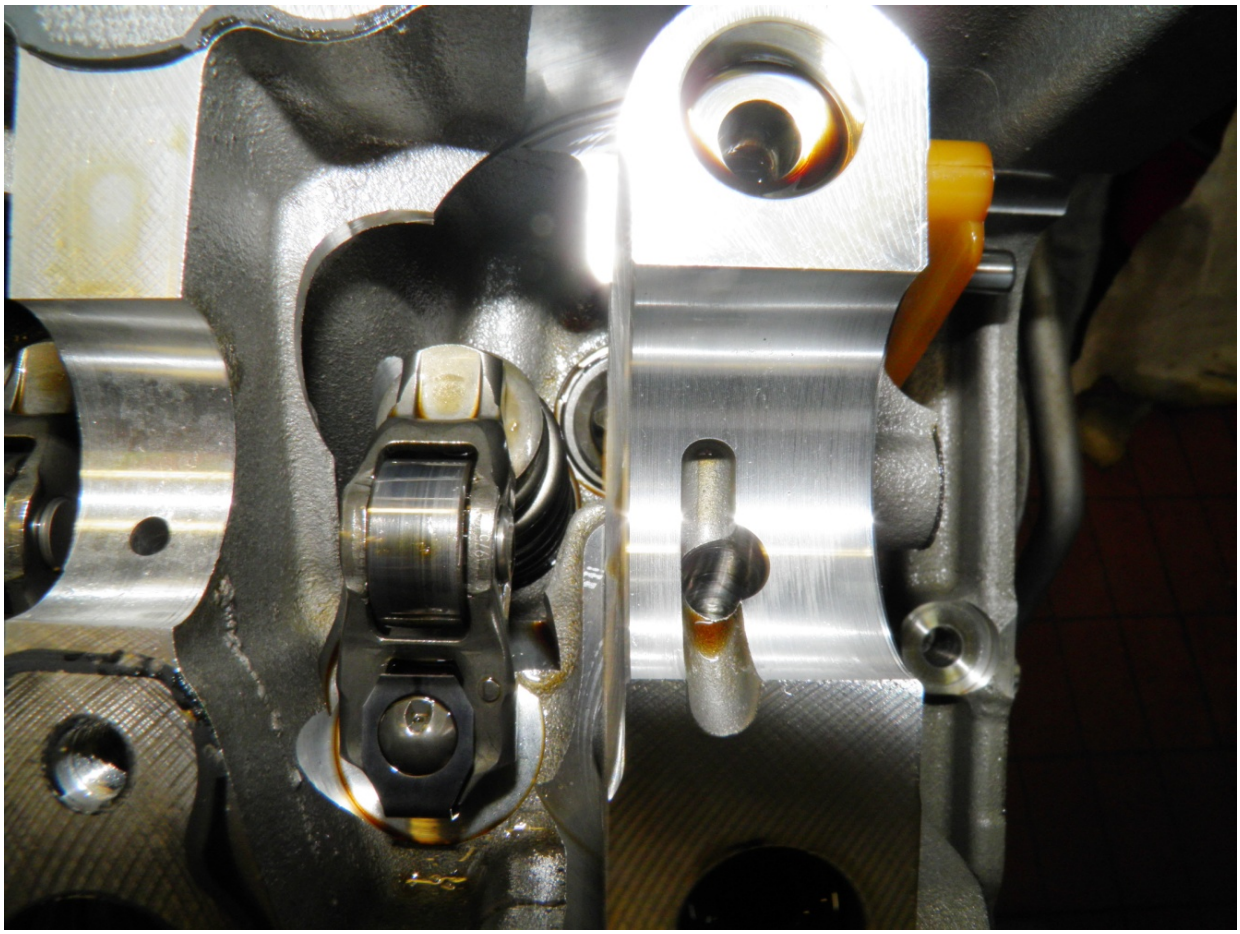


Рис.25. Постели підшипників розподільних валів в робочому стані.

Рис.26. Зруйнований шатун №1.

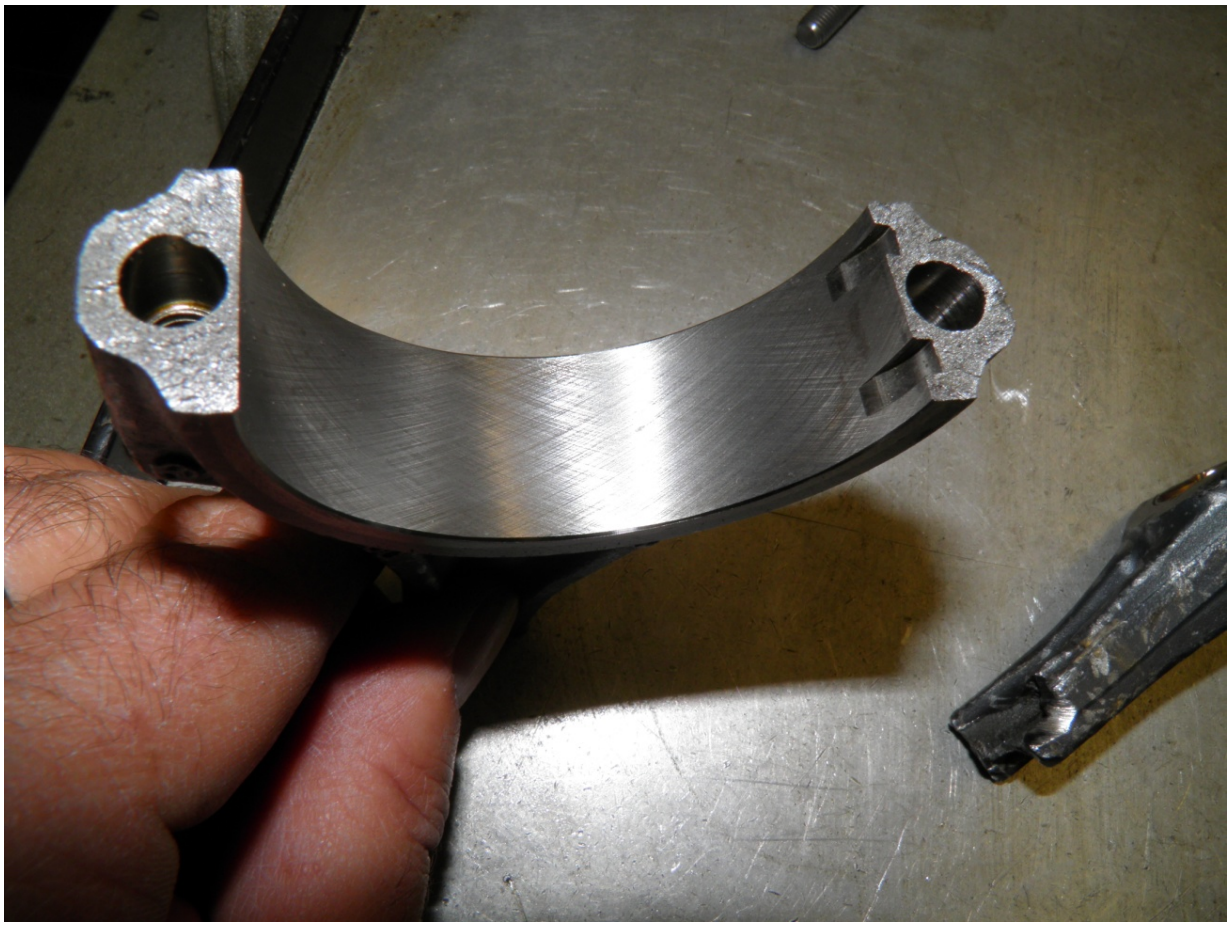


Рис.27. НГШ №1 без слідів пошкоджень і перегріву.

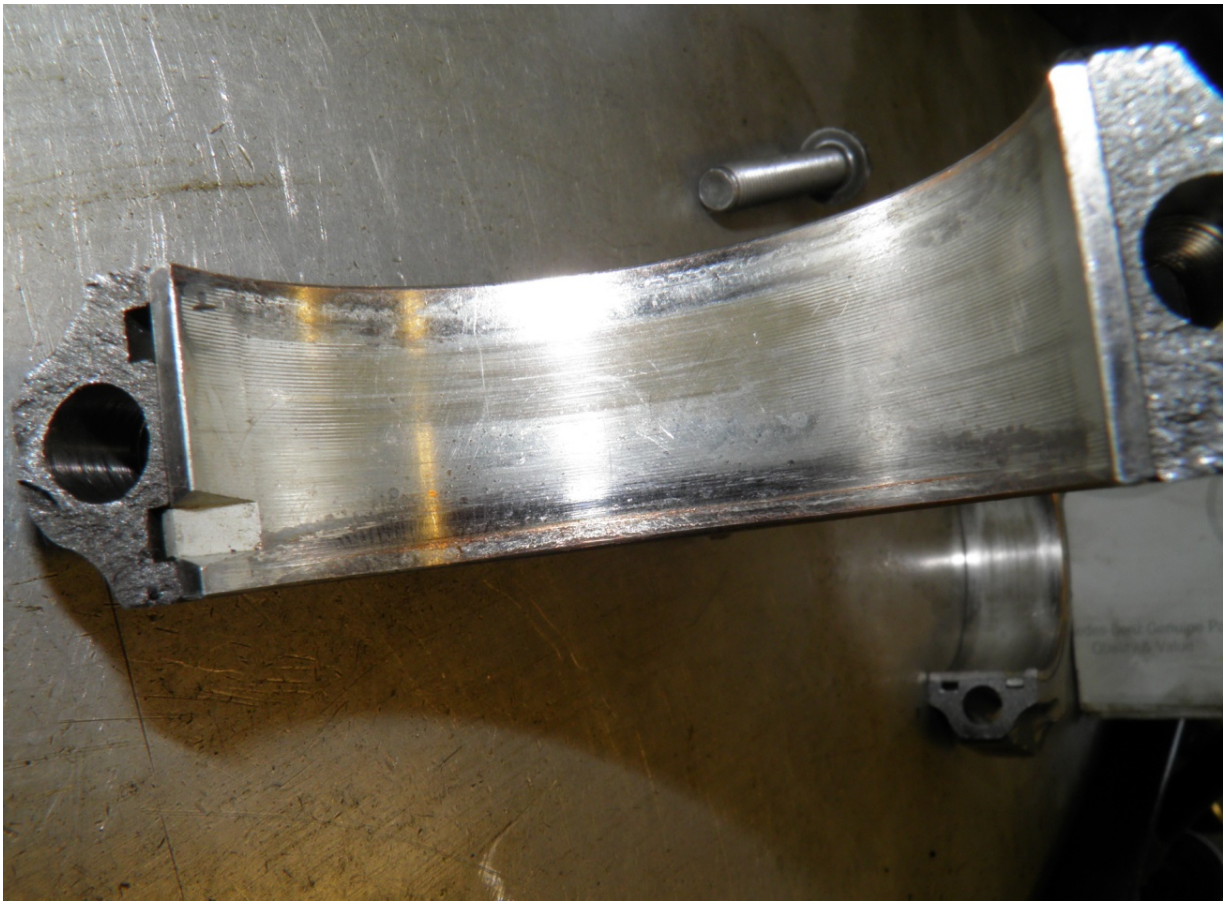


Рис.28. Шатунний вкладиш шатуна №1 з характерним діагональним зносом на краях.

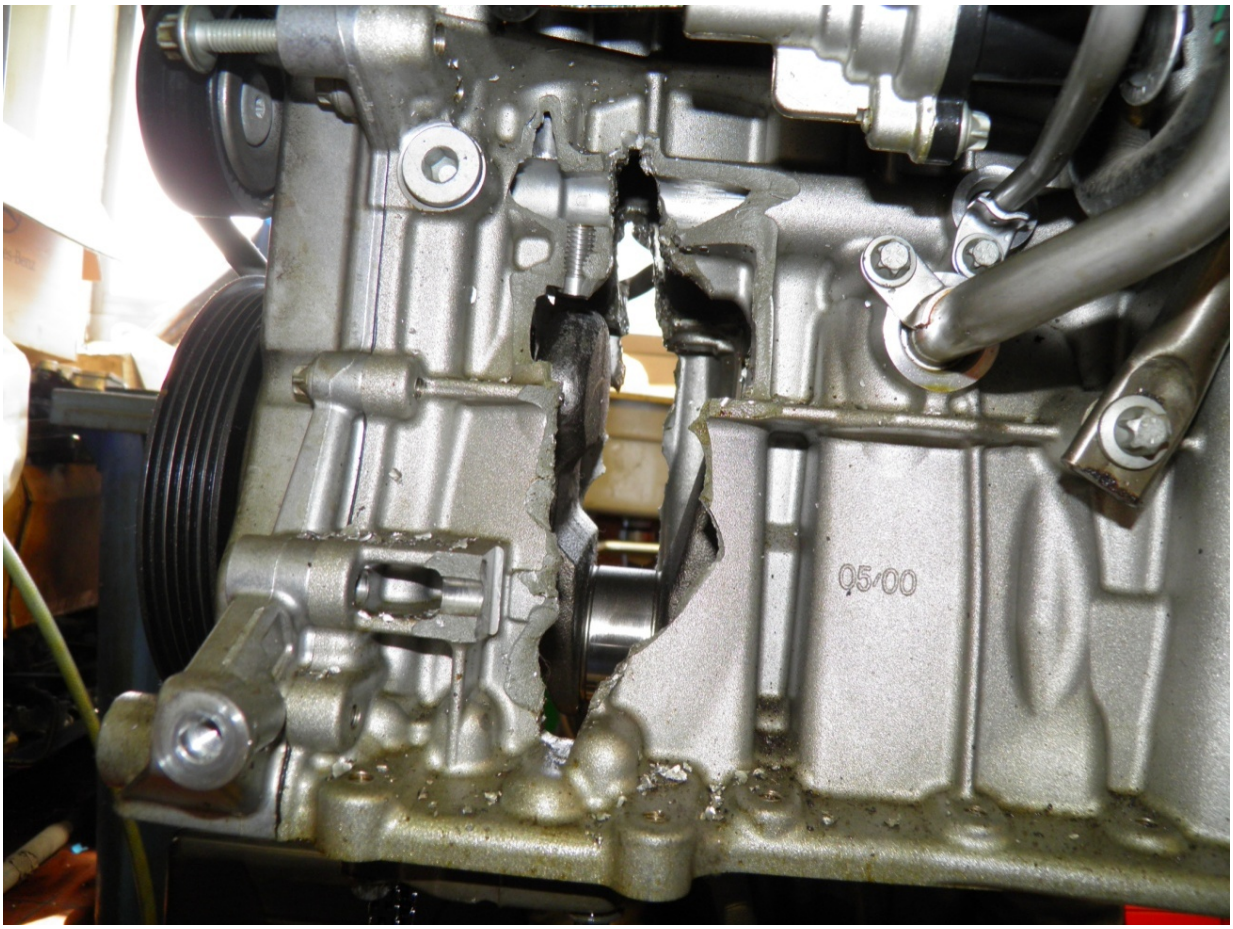


Рис.29. Наскрізний пролом правої і лівої стінки БЦ в площині гойдання шатуна №1.

Рис.30. Стан циліндра №1.

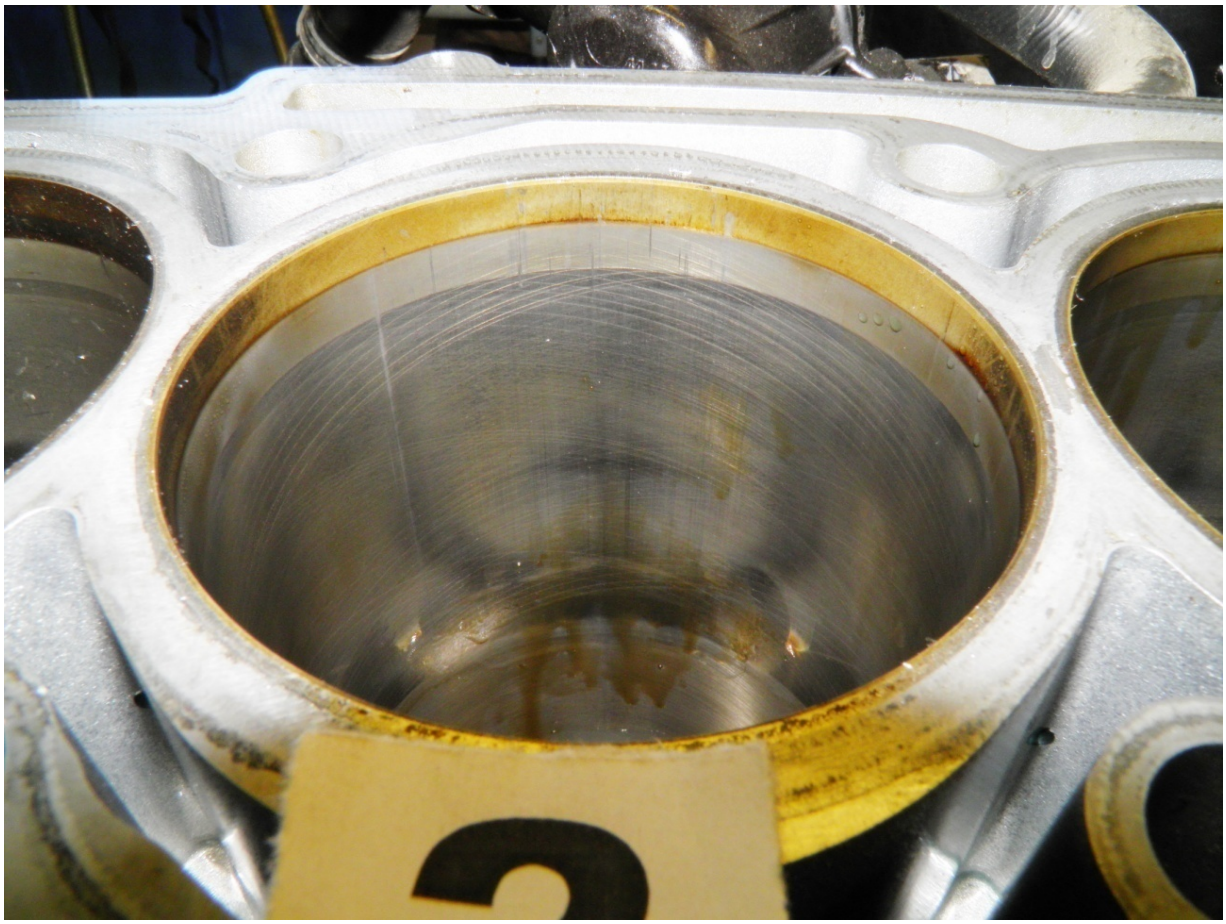


Рис.31. Циліндр №2.

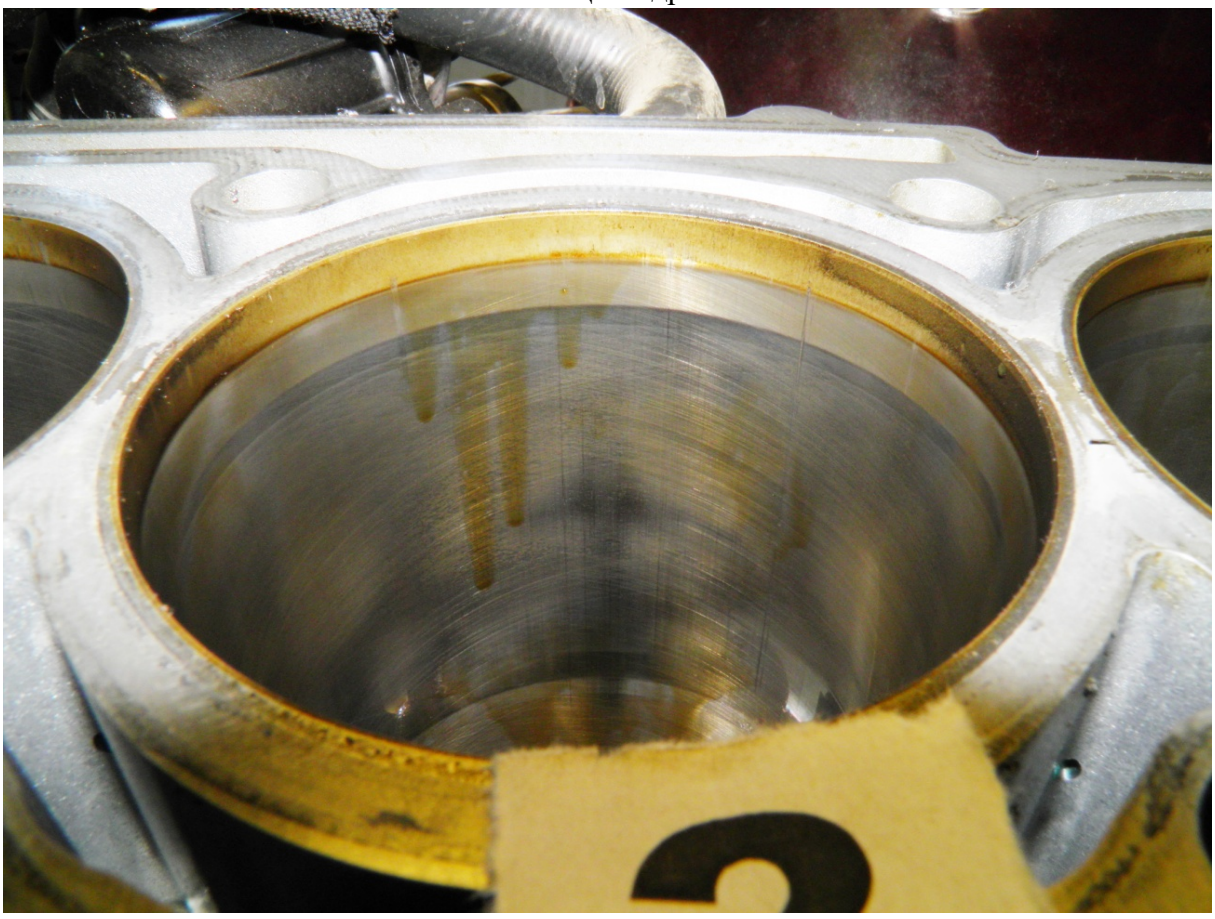


Рис.32. Циліндр №3.

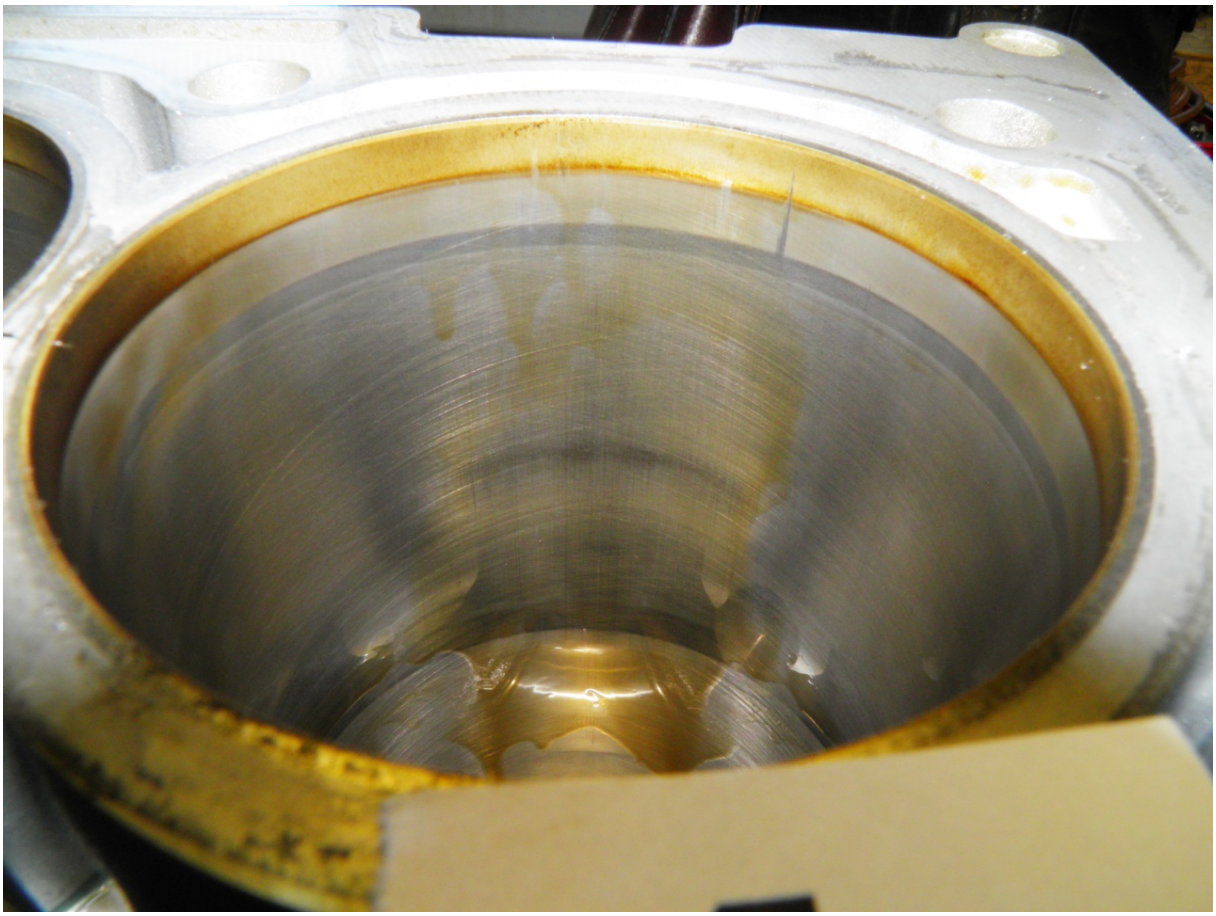


Рис.33. Циліндр №4.

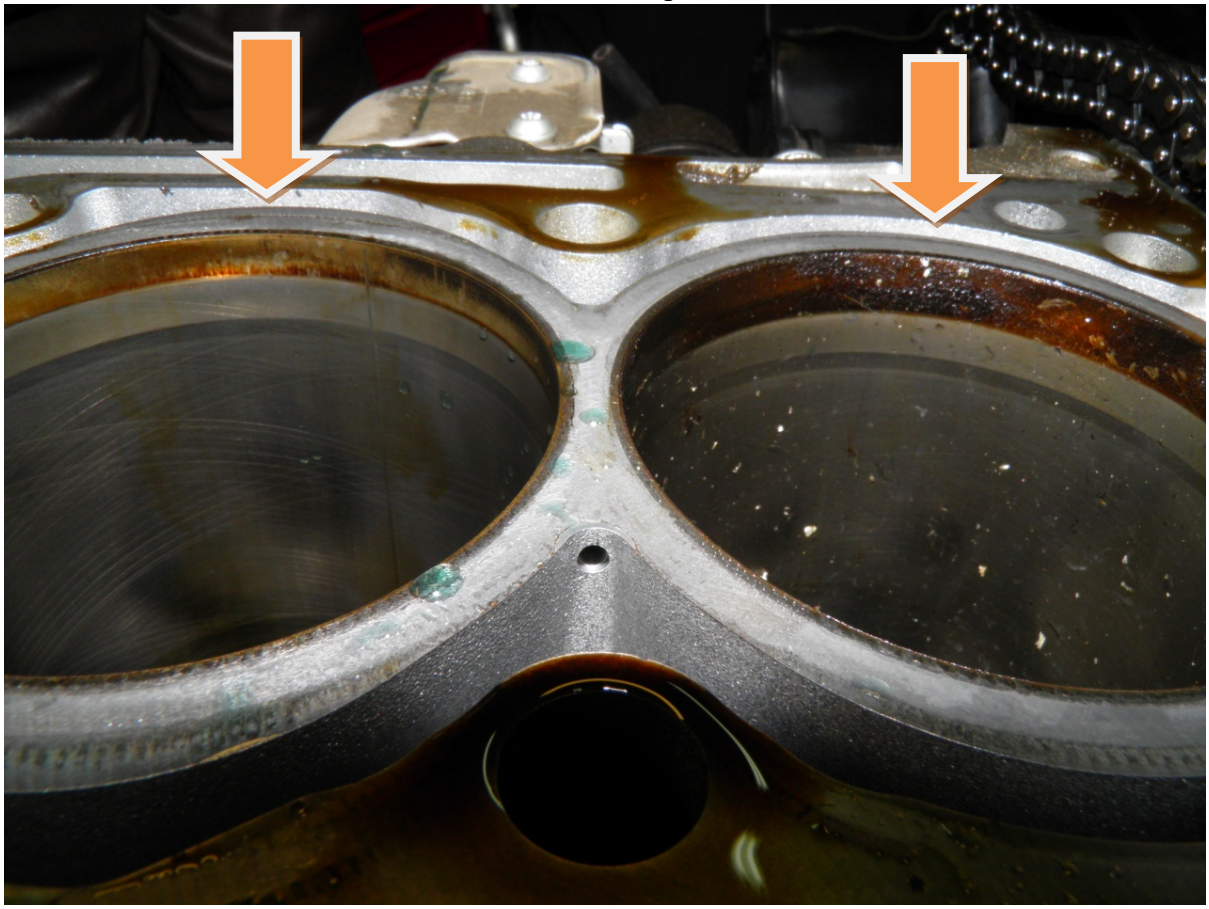


Рис.34. Недохід поршня №1 до ВМТ добре видно неозброєним оком за різницею в висоті пояса нагару.

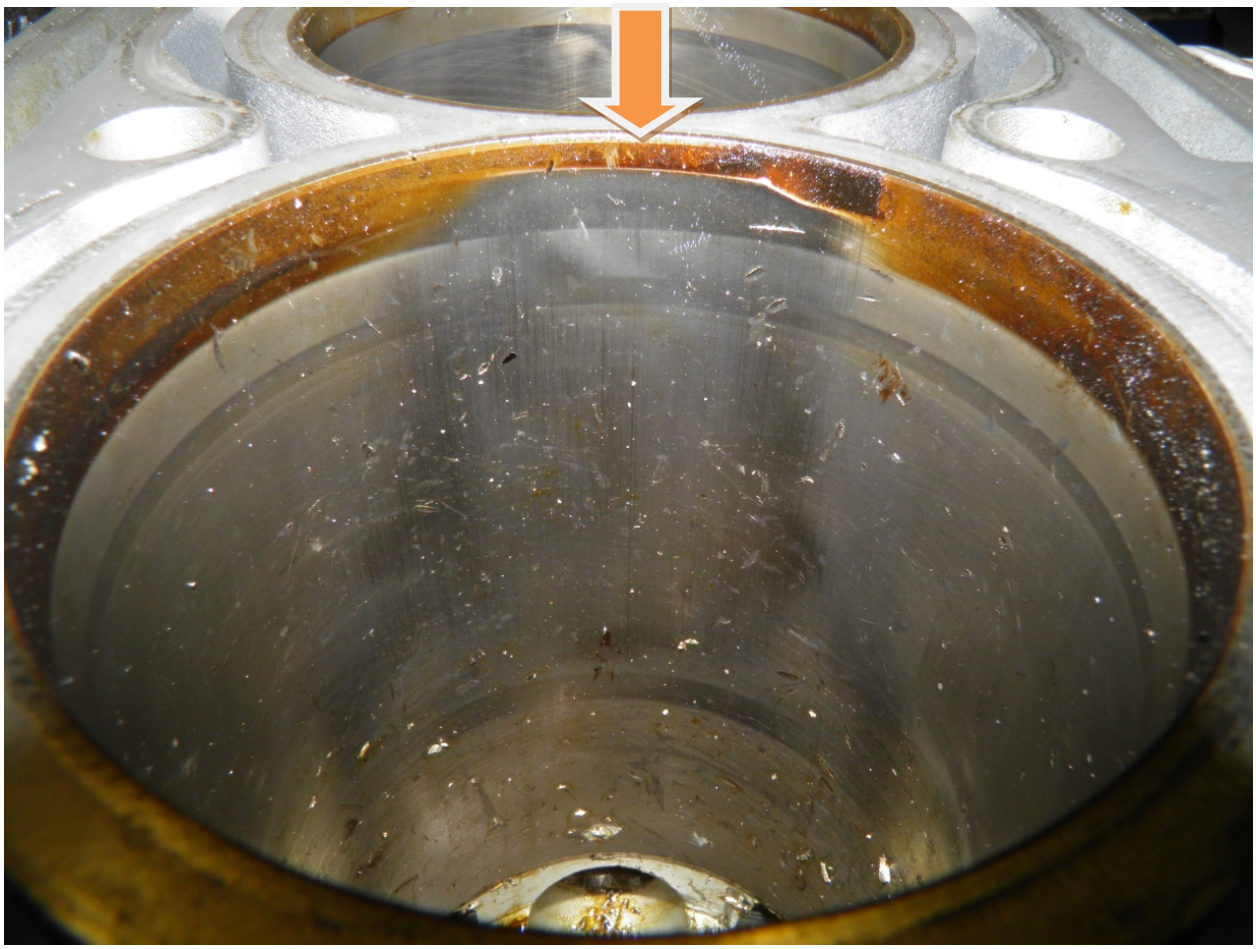


Рис.35. Односторонньо стертий нагар від роботи поршня з перекосом - добре видно, що верхня кромка поршня не доходила до площини блоку близько 2,5 мм.

Рис.36. Вимірювання висоти пояса нагару за допомогою штангенциркуля.

Рис.37. Висота пояса нагару в циліндрі №1 - 9 мм.

Рис.38. Висота пояса нагару в циліндрі №2 - 6,5 мм.

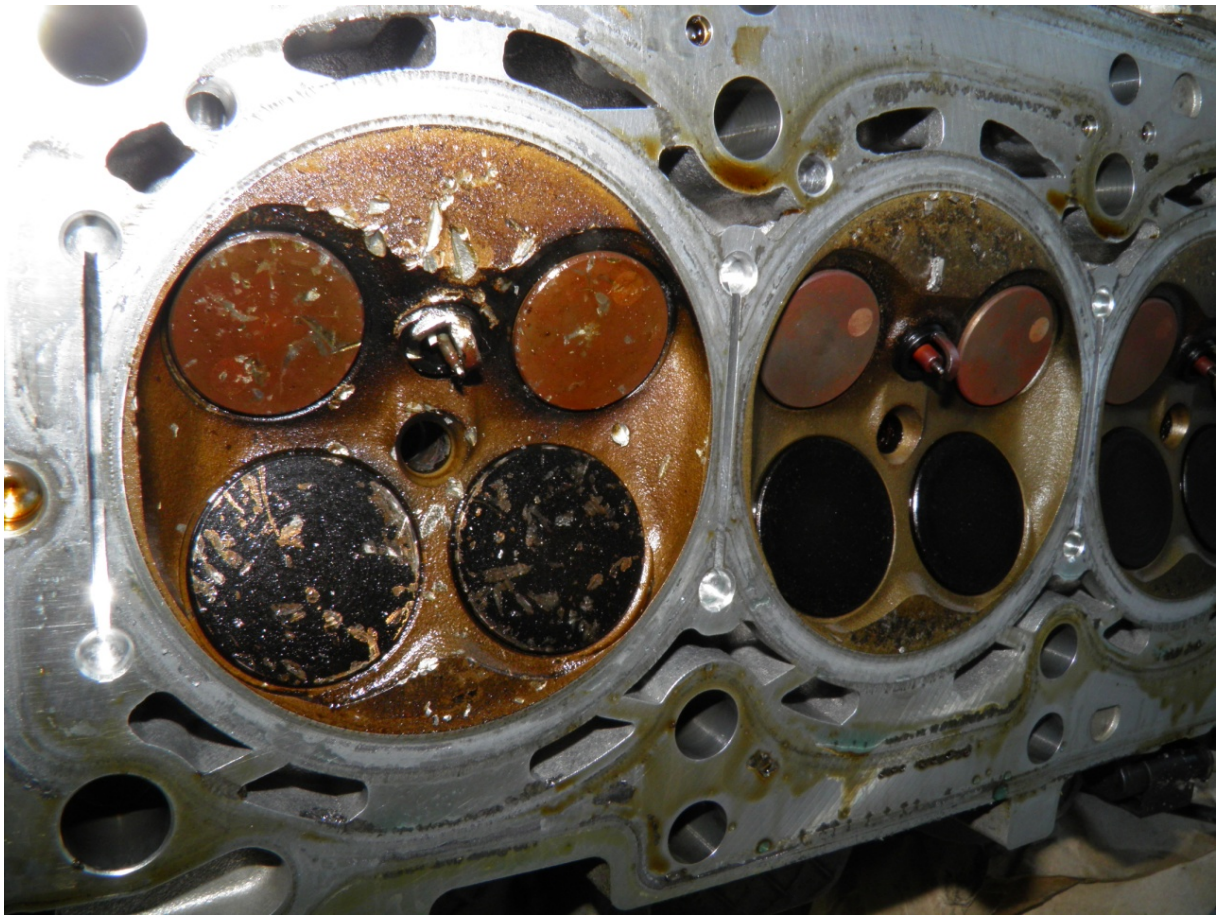


Рис.39. Пошкодження камери згоряння №1.

Рис.40. Шатунно-поршневі групи циліндрів №№2, 3 и 4.

Рис.41. Пошкодження поршня №2 сторонніми частинками.

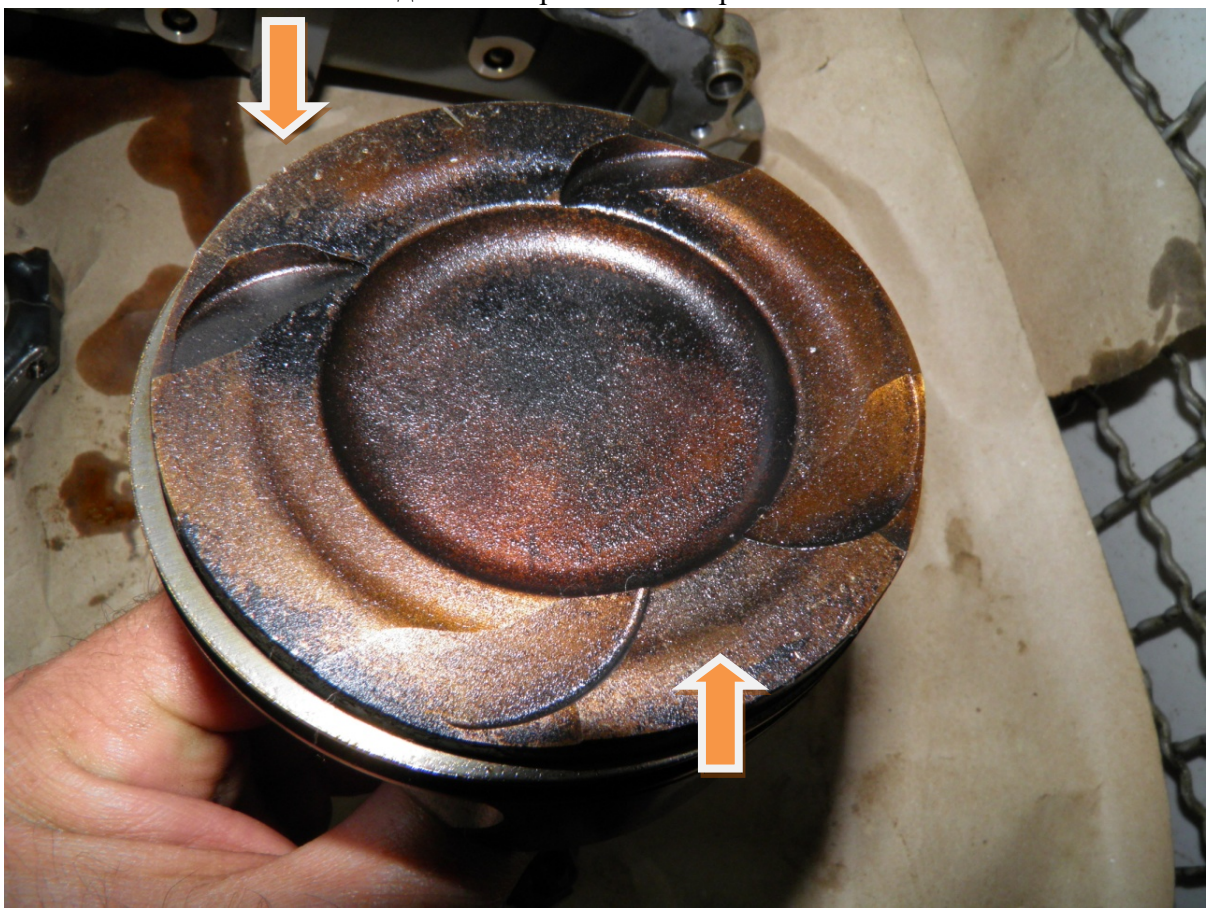


Рис.42. Пошкодження днища поршнів сторонніми частинками.

Рис.43. Стан шатунних вкладишів.

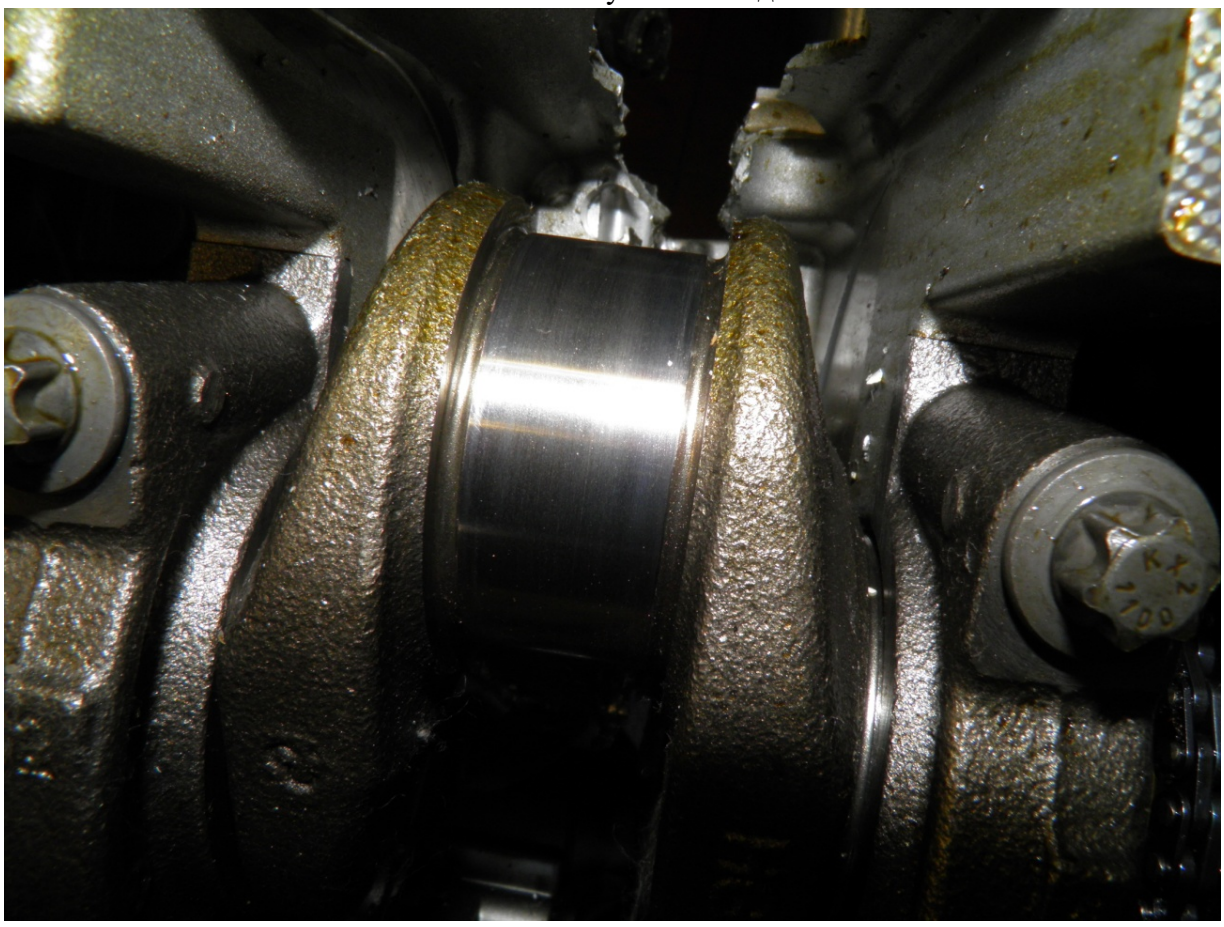


Рис.44. Стан шатунной шийки №1.

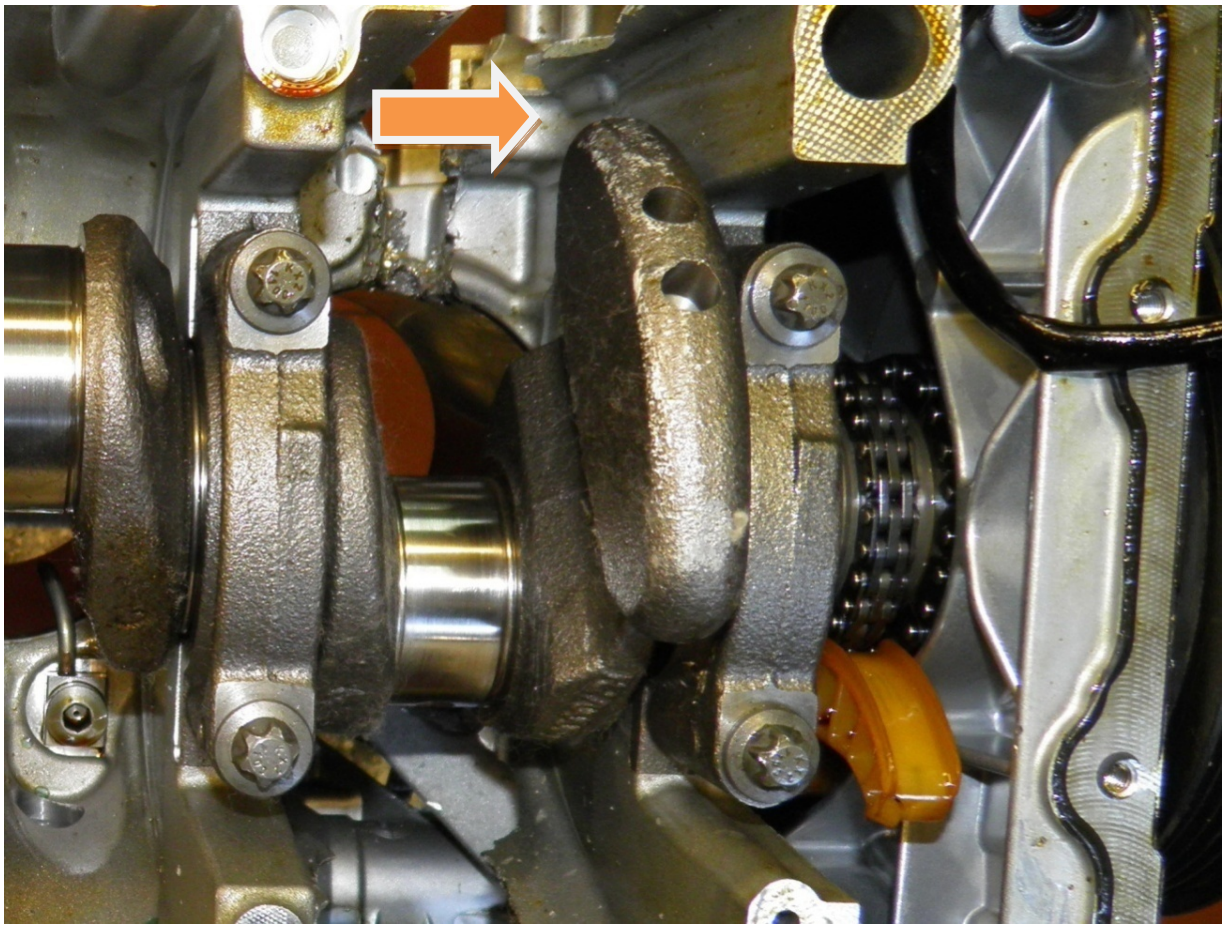


Рис.45. Пошкодження противаги при зіткненні зі сторонніми предметами.

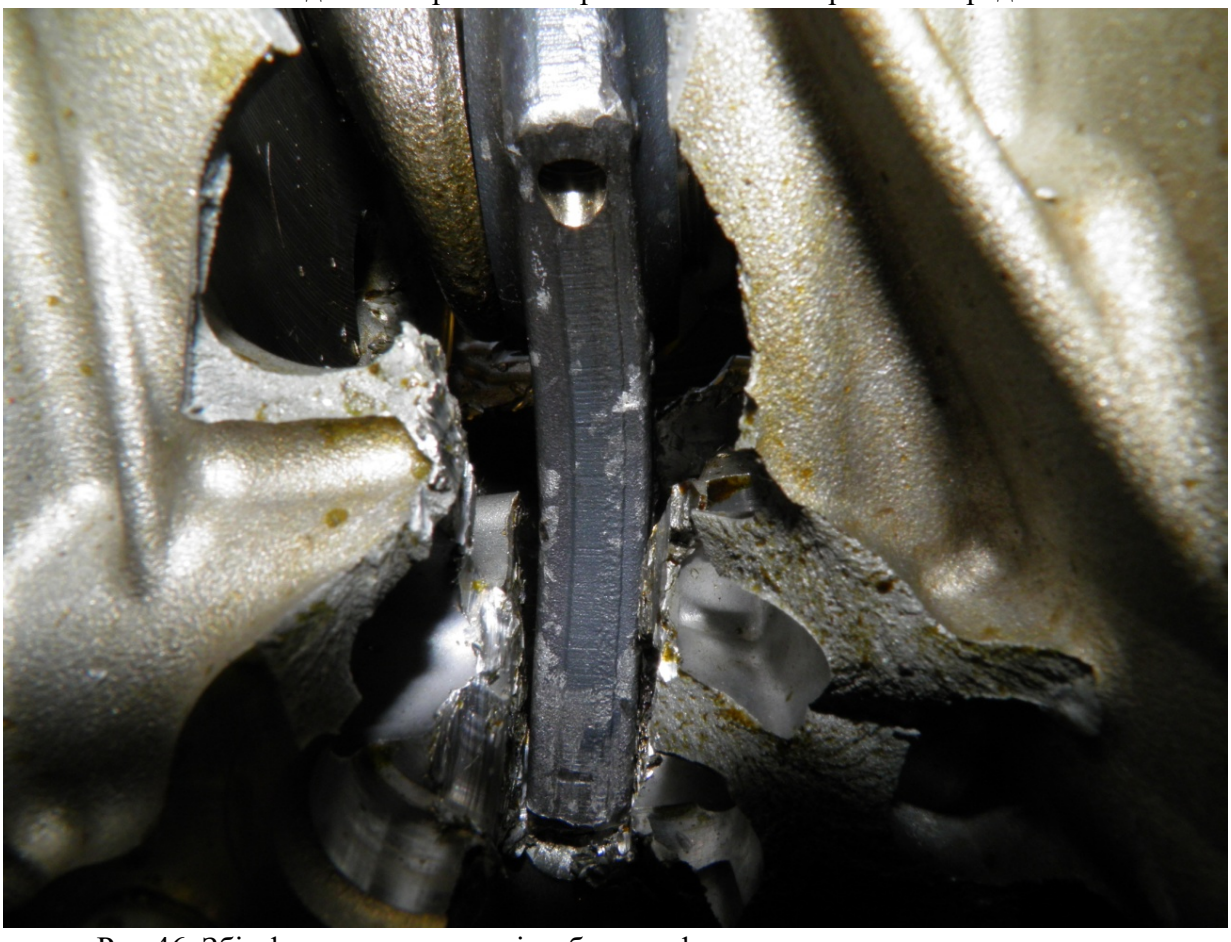


Рис.46. Збіг форми пролому стіни блоку з формою уламка стержня шатуна.

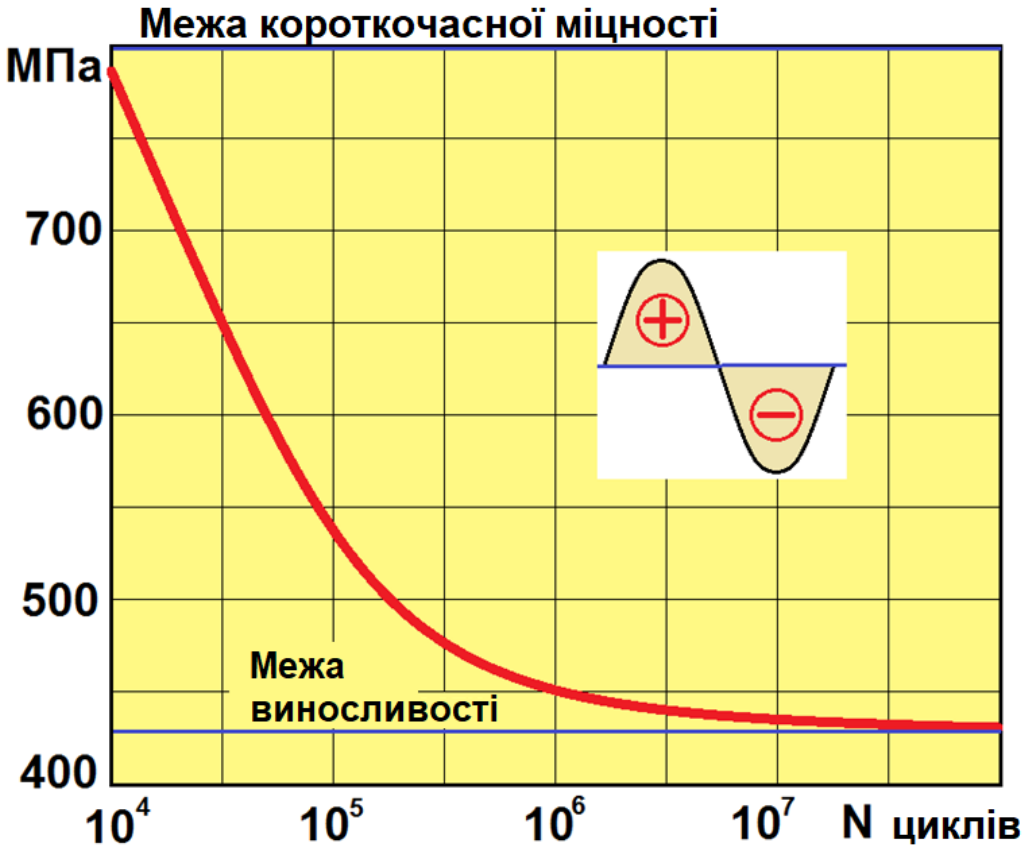


Рис.47. Крива втоми конструкційної сталі [34].

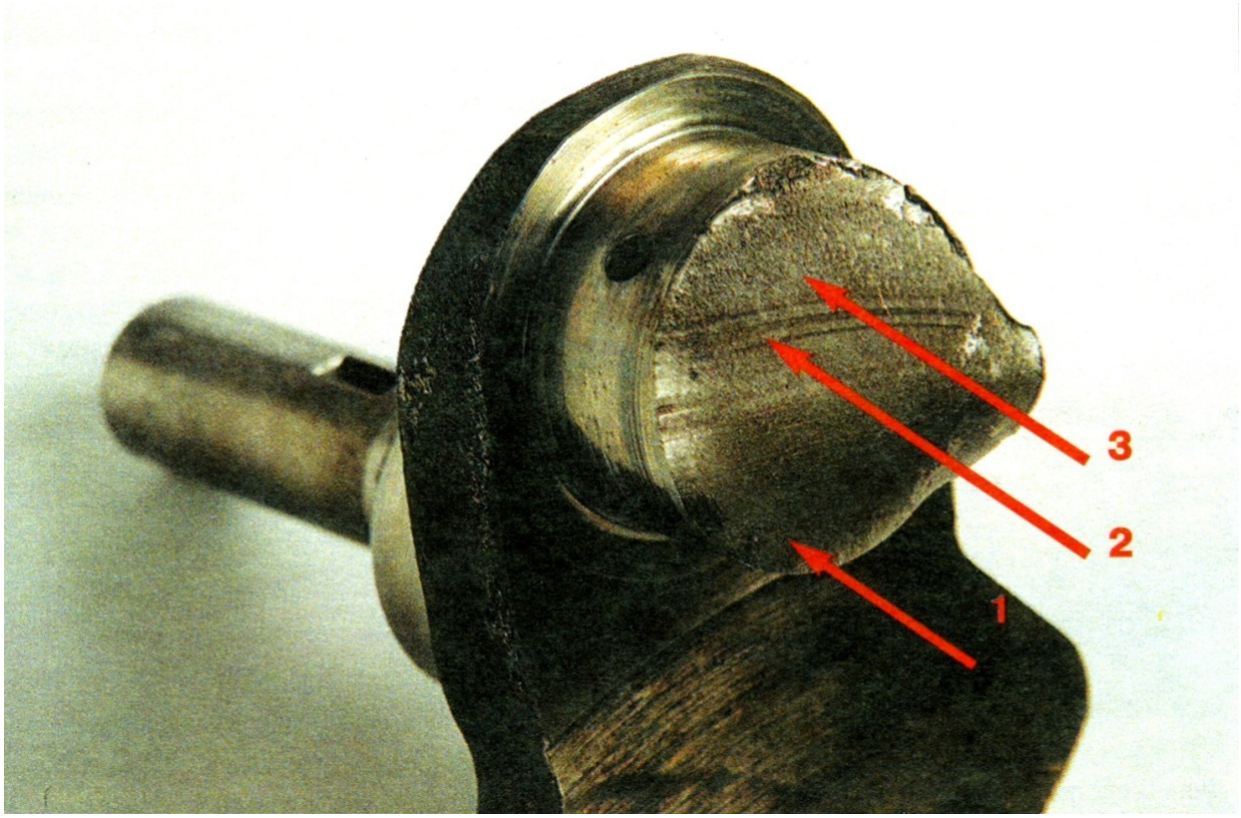


Рис.48. Типова усталостная поломка:
1- зона освіти тріщини, 2- лінії відпочинку, 3- зона доломіт.

ДОДАТОК Ж – АКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ

Затверджую
Директор Національного
наукового центру «Інститут судових експертиз
ім. Засл. проф. М.С. Бокаріуса»

_____ О.М. Клюєв

_____ 2021 р.

АКТ
впровадження результатів наукових досліджень
Хрулєва Олександра Едуардовича, докторанта
Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

Даний акт складений комісією в складі:

Голова комісії
– Заступник директора з експертної роботи О.О. Свідерський

Члени комісії:

Завідувач лабораторії
інженерно-транспортних досліджень А.В. Лубенцов

Завідувач сектора В.О. Варлахов

Комісія цим актом підтверджує можливість використання результатів наукових досліджень О.Є. Хрулєва, що подані у дисертаційній роботі здобувача доктора технічних наук за спеціальністю «Автомобільний транспорт» (експлуатація та ремонт засобів транспортну).

Запропонована робота представлена як комплекс теоретичних та практичних автотехнічних досліджень, включаючи судові експертизи, з метою визначення технічного стану та причин несправностей двигунів, які встановлюються на популярних моделях сучасних легкових автомобілів багатьох марок. При цьому найбільш важливі результати мають реальне практичне значення для експертної практики виявлення причин несправності двигунів автомобілів. Вони включають у себе методи ретроспективного аналізу подій в історії експлуатації транспортного засобу та моделювання процесів пошкодження деталей двигуна, у

тому числі, виробничих дефектів, несправностей у випадках порушень умов експлуатації, несправностей пов'язаних з виконаним неякісного обслуговування та ремонту, а також з пошкодженнями двигуна при ДТП.

Найбільш важливі результати досліджень Хрулєва О.Е. опубліковані у Міжвідомчому науково-методичному збірнику "Криміналістика та судова експертиза", Вип. 65, 2020 у статті "Методика складання та використання історії транспортних засобів при дослідженні їх технічного стану у завданнях визначення причин пошкодження вузлів та агрегатів". Також багато публікацій автора за цією проблемою є в інших науково-технічних журналах, зокрема які індексуються у науково-метричних базах Scopus.

Використання розробленого здобувачем методу з встановлення розвитку механізму несправності двигуна дозволяє ще на попередній стадії автотехнічних досліджень правильно виявити причину несправності двигуна, скоротити обсяг можливих перевірок та затрат на їх проведення, а також зменшити їх складність. Це дає можливість підвищити рівень проведення науково-технічних досліджень та більш ефективно розглянути претензії власників автомобілів до якості отриманих товарів та послуг.

Голова комісії – О.О. Свідерський

Члени комісії: А.В. Лубенцов

В.О. Варлахов

PROVALVE
Subap Yuva Ve Gayd İşleme Makineleri
SERDARLAR MAKİNE SANAYİ VE TİCARET LTD. ŞTİ.

Act of implementation Ankara,26.06.2024

the results of the doctoral dissertation of Khrulev A.E. on the topic "Method for expert assessment of damage to internal combustion engines of vehicles"

The results obtained by O.E. Khrulev as part of his dissertation research on the topic "Method for expert assessment of damage to internal combustion engines of vehicles" were reviewed by the management of Serdarlar Makina Company.

The methods developed in the work for determining the causes of engine damage and faults, which have good prospects for application in various industries, are of practical interest.

It is quite relevant to use the data on engine damage presented in the work, which can be used not only in studying and determining the causes of failure, but also for timely and correct elimination of the consequences of damage, including the development of correct engine repair technologies.
In particular, the doctoral student based on the result of his researches proposed improvements to the technology and products of the enterprise, including:

1. Based on the experience of a doctoral student in identifying and eliminating damage to internal combustion engines, the company has introduced the current position (tilt) sensors into the design of manufactured equipment. This has significantly improved the machining accuracy of manufactured machines.

2. In addition, the doctoral student, based on the data obtained in his work, proposed to increase the accuracy of quality control of the processing of valve seats on manufactured equipment. According to this proposal, an additional vacuum pump was introduced into the equipment design, which significantly improved the consumer properties of the products.

3. On the doctoral student recommendation, a portable printer was introduced into the design of a number of models of manufactured machines, allowing the consumer to better control the results of restoring valve seats.

4. The doctoral student also gave some useful advice on improving technological processes in the enterprise, aimed at improving the quality of products and their consumer properties.

It follows that the results of the work can be effectively used when creating technologies for restoration repairs in the event of any operational damage. Thus, the use of the results of the dissertation work makes it possible to increase the technical level, quality of products and the effectiveness of their use in engine repair.

Ayhan Demirer,eng.

SERDARLAR MAKİNA
SANAYİ VE TİCARET LTD. ŞTİ.
İvedik Org. San. Bol. 1548 Cad. No:21-23
İvedik / ANKARA / TÜRKİYE
Tel: +90 312 395 39 65-66 Fax: +90 312 395 41 69
İvedik VD.No: 761 006 6997
Mersis No: 7610-0669-9700012

Товариство з обмеженою відповідальністю

« ММСІ»

Україна, 54031, м. Миколаїв, вул. Комунарівська, б.2

Тел..: 067-511-42-00

e-mail: olga.ignatenko.mmci@ukr.net

10.06. 2024

Акт
впровадження наукових результатів докторської дисертації
Хрулєва Олександра Едуардовича

Результати наукових досліджень О.Хрулєва, представлені в дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук на тему "Метод експертної оцінки пошкоджень двигунів внутрішнього згоряння транспортних засобів", були впроваджені та використані у практичній діяльності ТОВ «ММСІ».

Дана робота представляє практичний інтерес для ремонтного підприємства як комплекс методів та методик щодо визначення причин несправностей двигунів автомобілів та спецтехніки, що допомагає вибрати правильні технології усунення пошкоджень. Звідси випливає практичне значення результатів роботи для ефективного та якісного ремонту двигунів, що отримали різні пошкодження в експлуатації. У зв'язку з цим найбільш суттєвими результатами представленої роботи, на думку ТОВ «ММСІ», є:

- методика визначення причин перегріву двигунів та супутніх пошкоджень,
- методика дефектування вузлів та деталей двигунів з метою виявлення їх пошкоджень.

Результати цієї роботи були практично використані при оснащенні підприємства сучасним обладнанням для ремонту головок блоку циліндрів двигунів, у тому числі верстатом для обробки сідел головок блока циліндрів, а також установкою для тестування порожнин системи охолодження на наявність тріщин. Використання такого обладнання дозволяє значно підвищити ефективність та якість ремонтних робіт компанії.

Загалом впровадження і використання результатів роботи О.Хрулєва дозволило ТОВ «ММСІ» вибрати якісне обладнання, найефективніше виявляти несправності двигунів автомобілів, а також скоротити витрати на виявлення пошкоджень та підвищити якість їх усунення.

Директор О.Б.Ігнатенко

МІЖНАРОДНЕ
МОТОРНЕ БЮРО
ЕКСПЕРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР
вул. Шкільна, 15, смт Немішаєве, Бородянський район, Київська обл., 07853, Україна,
ФОП Хрулєв Олександр Едуардович, ідентифікаційний номер 2053424434,
тел. +380 96 163 2183, E-mail: alo.engine@gmail.com, www.engine-expert.com.ua

" 10 " грудня 2020 р. № 04/12

АКТ
використання результатів наукових досліджень

Експертно-технологічний центр "Міжнародне моторне бюро", який здійснює з 2017 р. поточну діяльність з проведення судових експертиз та експертних досліджень, а також з просування передових технологій механічної обробки деталей двигунів внутрішнього згоряння різного призначення, цим актом підтверджує використання і впровадження в практичну діяльність результатів наукових досліджень Хрулєва Олександра Едуардовича, наданих в дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук на тему «Методи експертних досліджень механізмів несправностей автомобільних двигунів».

Найбільш важливі результати дослідження, які мають реальне практичне значення для поточної експертної діяльності організації, використані у вигляді загальної методики моделювання процесів пошкоджень деталей, пошуку і виявлення причин несправностей двигунів, в тому числі що включає:

- метод розрахунку температурного стану та визначення причин перегріву двигуна при відмовах системи охолодження, пов'язаних з витоком охолоджувальної рідини,
- методи розрахунку подачі оливи при відмовах в системі змащення і пошкодженні підшипників колінчастого вала,
- методика визначення причин несправностей при пошкодженнях двигуна, супроводжуваних значними руйнуваннями рухомих деталей.

Застосування запропонованих оригінальних і перспективних експертних методів при проведенні експертних досліджень дозволяє виявити дійсний стан досліджуваних двигунів до моменту настання відмови. Крім того, за допомогою моделювання механізмів розвитку відмови можна виявити процеси, що відбуваються як в момент настання відмови, так і після нього. За запропонованими алгоритмами виконувалися розрахунки механізмів розвитку несправностей, які показали ефективність застосування розроблених методик для оцінки ступеня пошкодження деталей з метою вірогідного визначення причини несправності двигунів в цілому.

Отримані результати показали можливість з високим ступенем вірогідності локалізувати та виявляти причини несправності двигунів, включаючи найскладніші. Це, як мінімум, на 25-30% скоротило обсяг можливих перевірок при проведенні експертних досліджень двигунів, і також помітно знизило витрати, необхідні для пошуку і виявлення конкретних несправностей. Зазначені результати підтвердили ефективність застосування розроблених методів в поточній діяльності організації.

Заступник керівника О.В. Родіна

ЕКСПЕРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР
ІМВ
МІЖНАРОДНЕ
МОТОРНЕ
БЮРО
Україна, Київська обл., смт Немішаєве

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ МОТОРНИЙ ЦЕНТР
"АБ-ІНЖИНІРИНГ"
ФІЗИЧНА ОСОБА – ПІДПРИЄМЕЦЬ КОЧУРЕНКО ЮРІЙ ВІЛЬОВИЧ
Вул. Космонавта Комарова, 12, Одеса, 65101, тел. +380 (48) 230 9192
e-mail: ab-engine@ukr.net http: //www.ab-engine.net.ua
ФОП Кочуренко Ю.В., ЄДРПОУ 2476604870, вул. Юхима Геллера, 12,
Одеса, 65049 АБ «ПИВДЕННИЙ», IBAN: UA193282090000026007010013986

№ 19 от " 24 " жовтня 2023р.

АКТ
про впровадження результатів наукових досліджень
на тему докторської дисертації
Хрулєва Олександра Едуардовича

Спеціалізований моторний центр "АБ-Інжиніринг" (ФОП Кочуренко Ю.В.) цим підтверджує, що результати наукових досліджень к.т.н. О.Е.Хрулєва, представлені в дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук на тему "Методологія експертної оцінки виникнення та розвитку несправностей автомобільних двигунів при порушенні умов експлуатації", запроваджені та використовуються у поточній практичній діяльності підприємства.

Основні результати роботи отримані на двигунах, що випускаються зараз, встановлюються на популярні моделі сучасних легкових, вантажних автомобілів і сільгосптехніки. Робота включала експертні огляди, дослідження та консультації спеціаліста з метою визначення причин несправностей вищезгаданих двигунів.

До суттєвих результатів роботи, які найбільш ефективно використовуються в практичній діяльності підприємства, на наш погляд слід віднести:

1) метод складання та обліку історії транспортного засобу при аналізі причин пошкоджень,

2) метод виявлення та аналізу причин несправностей з поділом ознак на головні, підтверджувальні та уточнювальні,

3) методи моделювання процесів пошкоджень деталей за різних видів несправностей.

Отримані з допомогою зазначених методів результати неодноразово обговорювалися у підрозділах підприємства. За підсумками нарад зазначено, що це результати мають реальне практичне значення для поточної діяльності. Розроблені методи дозволяють ще на попередній стадії дослідження виявити причину несправності двигуна або, як мінімум, помітно скоротити фінансові та часові витрати для її визначення.

Використання результатів наукових досліджень про к.т.н. О.Е.Хрулєва дозволило підвищити якість послуг з ремонту автомобільних двигунів, що надаються клієнтам, у тому числі розробити заходи щодо профілактики деяких відмов та оптимізувати витрати на усунення несправностей. З іншого боку, використання результатів роботи дозволило помітно підвищити рівень підготовки персоналу підприємства.

Керівник Ю.В.Кочуренко

Фізична особа - підприємець
м. Одеса
ІНН 2476604870
АБ-Инжиниринг
Спеціалізований моторний центр
Кочуренко Юрій Вільович