

УДК 629.113(07):004.01:004.04

Каганюк О.К., к.т.н., доц., Поліщук М.М. к.т.н., Головчук Т.В.  
Луцький національний технічний університет

## ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ДІАГНОСТУВАННІ ДВИГУНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ «ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ»

**Каганюк О.К., Поліщук М.М., Головчук Т.В. Використання нанотехнологій при діагностуванні двигуна в умовах експлуатації «транспортного засобу».** В даній статті розглядається питання розширення можливостей діагностики технічного стану двигунів внутрішнього згорання шляхом автоматизації вимірювання і оцінювання відразу трьох параметрів: частоти, амплітуди та часу. Таке уявлення найбільш зручне для аналізу нестационарних вібрацій і діагностиці ДВЗ дозволяє виявити безліч дефектів.

**Ключові слова:** акустичні датчики вібрації, двигун внутрішнього згорання, мікроконтролер, обчислювальна машина.

**Каганюк О.К., Поліщук Н.Н., Головчук Д.В. Использование нанотехнологий при диагностировании двигателя в условиях эксплуатации «транспортного средства».** В данной статье рассматривается вопрос расширения возможностей диагностики технического состояния двигателей внутреннего сгорания путем автоматизации измерения и оценки сразу трех параметров: частоты, амплитуды и времени. Такое представление наиболее удобное для анализа нестационарных вибраций и диагностике ДВС позволяет выявить множество дефектов.

**Ключевые слова:** акустические датчики вибрации, двигатель внутреннего сгорания, микроконтроллер, вычислительная машина.

**Kaganyuk A.K., Polischuk N.N., Golovchuk T.V. The use of nanotechnology in diagnosing engine operating conditions in the "vehicle".** This article discusses the issue of expansion of diagnostic possibilities of a technical condition of the internal combustion engine by automating the measurement and evaluation of three parameters: frequency, amplitude and time. This representation is most convenient for the analysis of non-stationary vibration diagnostics and ICE reveals many defects.

**Keywords:** acoustic vibration sensors, the internal combustion engine, a microcontroller, computer.

Забезпечення якості машин неможливе без широкого використання на всіх стадіях їхнього життєвого циклу без проведення технічних засобів діагностування. Широка номенклатура машинобудівної продукції, велике число вимірюваних діагностичних параметрів, роблять **особливо актуальним** реалізацію різних алгоритмів та пристроїв діагностування. Технічна діагностика автомобільного транспорту стає своєрідним індикатором і гарантом якості та надійності нової техніки, тому її застосування у світі з кожним роком зростає.

У процесі експлуатації автомобілів поступово знижується ефективна потужність це є основною **проблемою** продовження життєдіяльності двигунів не тільки внутрішнього згорання, а і інших засобів, які використовуються в досягненні конкретних цілей. Часте погіршення цих показників відбувається через розрегулювання системи двигуна і не може служити підставою для відправлення двигуна на капітальний ремонт. У більшості випадків втрати потужності і низька економічність за паливом можуть бути відновлені на автотранспортних підприємствах при наявності засобів оцінки кількісних значень цих показників, тобто при застосуванні засобів технічної діагностики.

Дана стаття спрямована на розробку підсистеми віброакустичного контролю технічного стану поршневого двигуна внутрішнього згорання.

Для контролю технічного стану двигуна необхідно використовувати ІТ технології, які дозволяють ефективно знаходити больові точки двигуна.

Комп'ютерна підсистема повинна виконувати:

- аналіз загального рівня вібрації, що дозволяє установити наявність несправностей двигуна;
- спектральний аналіз вібросигналу, що дозволяє робити висновки про дисбаланс, неспіввісність чи ослаблення з'єднань, вихори в масляному клині підшипника, дефекти пасової передачі, надмірне ослаблення з'єднань або стукіт у машині.
- частотно-часовий аналіз вібросигналів, що дозволяє визначити не тільки безліч дефектів, але й у багатьох випадках установити причину їхнього виникнення.

Таким чином, передбачається, що упровадження розроблювальної підсистеми вібродіагностики дозволяє знизити витрати на технічне обслуговування автомобільних двигунів.

В даній час існує велика кількість пристроїв, що використовують теплове розширення газів. До таких пристроїв відноситься карбюраторний двигун, дизелі, турбореактивні двигуни і т.д.

Як енергетичні установки автомобілів, найбільше поширення одержали двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ), у яких процес згорання палива з виділенням теплоти і перетворенням її в механічну роботу відбувається безпосередньо в циліндрах [1].

Швидке поширення ДВЗ у промисловості, на транспорті, у сільському господарстві і стаціонарній енергетиці було обумовлено рядом їхніх позитивних особливостей, основною з яких є **висока економічність**. До позитивних особливостей ДВЗ варто віднести також те, що вони можуть бути з'єднані практично з будь-яким споживачем енергії. Це пояснюється широкими можливостями одержання відповідних характеристик зміни потужності і крутячого моменту цих двигунів.

ДВЗ успішно використовуються на автомобілях, тракторах, сільськогосподарських машинах, тепловозах, судах, електростанціях і т.д., тобто ДВЗ відрізняються доброю пристосованістю до споживача.

Обмежені можливості постійного контролю технічного стану автомобіля безпосередньо в процесі експлуатації приводять до того, що дефекти, що розвиваються, виявляються на пізній стадії, коли ремонт об'єкта становиться недоцільним.

Дефекти, зв'язані з відносно невеликим зниженням потужності, збільшенням витрати палива, підвищенням токсичності вихлопу, деформації ходової частини, зниженням ефективності гальм, можуть бути не помічені навіть досвідченим водієм. Такого роду дефекти на стадії їхнього зародження можна знайти тільки за допомогою діагностування [1].

Існує безліч методів діагностування стану різних вузлів автомобіля, параметрами яких можуть бути [2] :

- тиск олії в головній масляній магістралі двигуна;
- питома витрата палива;
- зміст окису вуглецю в газах, що відробили;
- обсяг газів, що прориваються;
- тиск газів;
- витрата стиснутого повітря, подаваного в циліндри, чи падіння його тиску;
- віброакустичні параметри та багато інших.

При експлуатації машини для оцінки технічного стану її складових частин можуть використовуватися вібраційні методи та проводиться контроль зміни основних показників режиму роботи. Тому що значення вібрації складових частин машин залежить від режиму роботи і стану опорних конструкцій, то при аналізі її змін необхідно це враховувати.

Найбільш цілеспрямованим для огляду технічного стану двигуна автомобіля може бути віброакустична діагностика.

Віброакустичні дані, зняті з ДВЗ мають дуже велику інформативність і можуть бути використані для виявлення широкого спектра пошкоджень без безпосереднього розкриття двигуна при діагностиці. Ці властивості дозволяють виділити віброакустичні методи як найбільш раціональні.

Коливання, які реєструються віброакустичним датчиком, встановленим у контрольній точці, являють собою суперпозицію коливань від різних віброакустичних джерел. Кожне віброакустичне джерело має свій спектр і час активності щодо фази роботи ДВЗ. Інтенсивність віброакустичних джерел визначається потужністю порушення, що залежить від конструктивних параметрів складових частин поршневого двигуна і від їхнього розташування, від технологічних дефектів, від технічного стану їхніх кінематичних пар і елементів проточної частини, режиму роботи і крапки виміру параметрів віброакустичних сигналів. Конструктивні параметри і дефекти складових частин агрегату впливають не тільки на рівень вібрації, але і на перерозподіл енергії між різними частинами складового спектра.

Основною особливістю вібродіагностики ДВЗ є те, що ДВЗ являє собою джерело нестаціонарних вібрацій. З огляду на цей факт, доцільним є вибір тих методів вібродіагностики, що дозволяють визначити виникнення тих чи інших віброколивань, прив'язуючись до робочого такту ДВЗ.

Основними частинами ДВЗ є кривошипно-шатунний механізм і газорозподільний механізм, а також системи живлення, охолодження, запалювання і мастильна система.

Кривошипно-шатунний механізм перетворює прямолінійний зворотно-поступальний рух поршня в обертальний рух колінчатого вала.

Механізм газорозподілу забезпечує своєчасний впуск пальної суміші в циліндр і видалення з нього продуктів згоряння.

Система живлення призначена для готування і подачі пальної суміші в циліндр, а також для відводу продуктів згоряння.

Мастильна система служить для подачі олії до взаємодіючих деталей з метою зменшення сили тертя і часткового їхнього охолодження, поряд з цим циркуляція олії приводить до змивання нагару і видаленню продуктів зношування.

Система охолодження підтримує нормальний температурний режим роботи двигуна, забезпечуючи відвід теплоти від елементів, які нагріваються в процесі роботи ДВЗ до високої температури.

Система запалювання призначена для запалення робочої суміші в циліндрі двигуна.

Таким чином, поршневий двигун складається з циліндра і картера, що знизу закритий піддоном. У середині циліндра переміщається поршень з компресійними (ущільнювальними) кільцями, що має форму склянки з днищем у верхній частині. Поршень через поршневий палець і шатун зв'язаний з колінчатим валом, що обертається в корінних підшипниках, розташованих у картері.

Колінчатий вал складається з корінних шийок, шік і шатунної шийки. Циліндр, поршень, шатун і колінчатий вал складають так називаний кривошипно-шатунний механізм. Зверху циліндр накритий голівкою з клапанами, відкриття і закриття яких строго погоджено з обертанням колінчатого вала, а отже, і з переміщенням поршня. Переміщення поршня обмежується двома крайніми положеннями, при яких його швидкість дорівнює нулю. Крайнє верхнє положення поршня називається верхньою мертвою точкою (ВМТ), крайнє нижнє його положення - нижня мертва точка (НМТ). Невпинний рух поршня через мертві точки забезпечується маховиком, що має форму диска з масивним ободом. Відстань, прохідна поршнем від ВМТ до НМТ, називається ходом поршня.

Дія поршневого двигуна внутрішнього згоряння засновано на використанні роботи теплового розширення нагрітих газів під час руху поршня від ВМТ до НМТ. Нагрівання газів у положенні ВМТ досягається в результаті згоряння в циліндрі палива, перемішаного з повітрям. При цьому підвищується температура газів і тиску. Тиск під поршнем дорівнює атмосферному, а в циліндрі воно набагато більше, тому під дією різниці тисків поршень буде переміщатися вниз, при цьому гази - розширюватися, роблячи корисну роботу. Щоб двигун постійно виробляв механічну енергію, циліндр необхідно періодично заповнювати новими порціями повітря через впускний клапан і палива через форсунку або подавати через впускний клапан суміш повітря з паливом. Продукти згоряння палива після їхнього розширення видаляються з циліндра через впускний клапан. Ці задачі виконують механізм газорозподілу, керуючий відкриттям і закриттям клапанів, і система подачі палива.

Такий процес безсумнівно викликає відповідні віброколивання в конкретні моменти роботи двигуна.

Робочим циклом двигуна називається періодично повторюваний ряд послідовних процесів, що протікають у кожному циліндрі двигуна і зумовлюючих перетворення теплової енергії в механічну роботу.

На кожному з етапів робочого циклу виникають характерні вібрації, реєструючи й аналізуючи які можна контролювати технічний стан ДВЗ.

Для проведення будь-якого аналізу необхідно мати інформацію про об'єкт дослідження. Для ДВЗ - це дані про обсяг циліндра, ході поршня, довжину шатуна, радіус кривошипа, число оборотів в одиницю часу, робочому циклі двигуна (моментах початку всіх процесів, зв'язаних з роботою ДВЗ, кутах повороту колінчатого вала щодо деякої початкової крапки) і порядку роботи циліндрів.

Можливість прямої заміни структурних параметрів, а отже, і можливість їхнього безпосереднього використання для діагностики дуже обмежена. Тому при діагностиці параметрів технічного стану механізму, як правило, приходиться вимірювати процеси, які впливають на загальний технічний стан ДВЗ. Зазначені процеси, будучи функціонально зв'язані технічним станом механізму, містять необхідну для діагностики інформацію. Вони називаються діагностичними ознаками. При діагностиці двигунів найбільше часто використовують такі ознаки, як ефективність механізму, параметри коливальних процесів, тепловий стан, герметичність, склад олії й ін. Кожну з діагностичних ознак можна кількісно оцінювати за допомогою відповідних діагностичних параметрів.

Для віброакустичної діагностики поршневих двигунів використовуються вібрації, тобто коливальні процеси пружного середовища, що виникають при роботі механізмів. Джерелом цих коливань є газодинамічні процеси (згоряння, випуск, впуск), регулярні механічні зіткнення в сполученнях за рахунок зазорів і невірноваженості мас, а також хаотичні коливання, обумовлені процесами тертя. При роботі двигуна всі ці коливання накладаються один на одного і, взаємодіючи, утворюють випадкову сукупність коливальних процесів, названу спектром. Це ускладнює віброакустичну діагностику через необхідність пригнічення перешкод, виділення корисних сигналів і розшифровки коливального спектра.

Вібрації сприймаються безпосередньо на поверхні діагностуючого механізму, завдяки чому дають досить достовірну інформацію про його технічний стан. Найпростішим і основним показником є загальний рівень вібрації.

Можливість здійснення віброакустичної діагностики двигуна, тобто можливість розшифровки коливальних процесів, обумовлена наступними положеннями. Коливання, що виникають при зіткненнях сполучених деталей, по своїх параметрах різко відрізняються як від коливань газодинамічного походження, так і від коливань, обумовлених тертям. Кожна пара, що зткнеться, породжує свої власні коливання. При зміні зазорів потужність коливань різко змінюється внаслідок зміни енергії зіткнення, при цьому також змінюється тривалість зіткнень.

Приналежність коливань пар, що зтикаються, може бути визначена по фазі щодо опорної точки (ВМТ, посадка клапана й ін.). Величина параметрів сигналу змінюється від швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна.

Діагностичні ознаки для ДВЗ можна розділити на часові, частотні і частотно-часові [4].

Одним з найважливіших часових діагностичних ознак є час виникнення ударів при відкритті-закритті клапанів, підпалювання палива, ударів у сполученнях і т.д.

Характеристика в частотній області або спектр, прекрасний інструмент для виявлення періодичностей у сигналі. Великою її перевагою є те, що на одному графіку відображаються амплітуди коливань, що сильно розрізняються за значенням.

Зазвичай при аналізі спектра розрізняють 3 групи складових вібрації: гармоніки, несинхронні складові і субгармоніки [3].

Гармоніки являють собою піки на частотах, кратних частоті циклу дії (частоті обертання) машини; по них можна робити висновки про дисбаланс, неспіввісність чи ослаблення з'єднань. Несинхронні складові спостерігаються на частотах, не кратних частоті обертання; аналіз цієї групи складових дозволяє виявляти дефекти, наприклад, елементів підшипників кочення і ременів.

Субгармоніки - складові, котрі лежать нижче частоти обертання.

Вони можуть бути обумовлені такими явищами як вихори в масляному клині підшипника, дефекти пасової передачі, надмірне ослаблення з'єднань або стукіт у машині.

На рисунку 1 показаний приклад часової і спектральної характеристик вібросигналу, знятого з ДВЗ.

Частотно-часове уявлення характеристик поєднує спектральну характеристику і часову, і дозволяє оцінювати відразу три параметри – частоту, амплітуду і час. Таке уявлення найбільш зручне для аналізу нестационарних вібрацій і при діагностиці ДВЗ дозволяє виділити безліч дефектів.

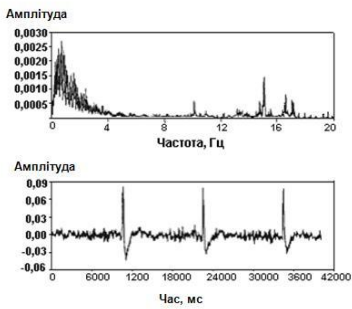


Рисунок 1 – Сигнал віброприскорення та його спектр

Для розробки підсистеми діагностики ДВЗ з використанням акустичного контролю нами була запропонована наступна функціональна схема (рис.2).

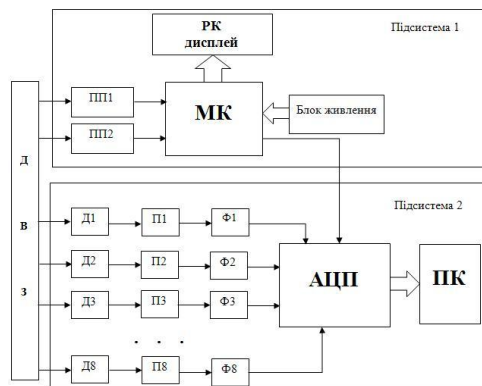


Рисунок 2 – Функціональна схема системи контролю технічного стану двигуна внутрішнього згоряння

Система поділяється на дві підсистеми. Підсистема 1 виконує контроль потужності кожного з циліндрів ДВЗ і передає в підсистему 2 сигнал синхронізації, що несе інформацію про кут повороту вала, що дозволяє визначити фазу робочого такту ДВЗ. Підсистема 2 робить вібродіагностику ДВЗ.

У підсистемі 1 сигнал з котушки запалювання і сигнал з анода свічі через погоджувальні пристрої (ПП1 і ПП2) надходять на входи мікроконтролера (МК) (також ці сигнали передаються на аналого-цифровий перетворювач (АЦП), з якого можуть бути виведені на персональний комп'ютер (ПК)), де виробляється оцінка потужності кожного з циліндрів двигуна. Блок живлення необхідний для введення потрібних налаштувань і параметрів аналізу. Отримані дані про потужність циліндрів виводяться на РК дисплей.

У підсистемі 2 сигнал з котушки запалювання і сигнал з анода свічі через датчики (Д) надходить до підсилювачів сигналу (П), а звідти проходить через фільтри (Ф), і передається до (АЦП), з якого інформація виводиться на (ПК).

Дану підсистему можна адаптувати і використовувати для різного типу двигунів і різної кількості циліндрів. Це дозволяє зробити її універсальною.

На основі аналізу і частково проведених досліджень по використанню віброакустичного контролю технічного стану двигуна, можна зробити **наступні висновки:**

1. найбільш раціональним методом є – віброакустичний.
2. Віброакустичний метод дозволяє контролювати велику кількість параметрів.
3. За допомогою віброакустичного методу контролю стає можливим підтримувати технічний стан двигуна на протязі більш довгого періоду експлуатації.

1. Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. и др. Технические средства диагностирования – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с., ил.
2. Ширман А. Р., Соловьев А. Б. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования. Библиогр., – М, 1996. – 276 с.
3. Бендат Д., Пирсол А. Применение корреляционного и спектрального анализа.- М.: Мир, 1982.-362с.
4. Явленский К.Н., Явленский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем.-Л.: Машиностроение, 1983.-239с.