

УДК 621.431.004.53

## ОСОБЛИВОСТІ ВІБРОАКУСТИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СПРЯЖЕНЬ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Задворнов Я. М., наук. співр., y\_zadvornov@mail.ua

Рязанцев В. В., мол. наук. співр., artlic@ukr.net

Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

### Анотація

**Мета.** Встановити переваги та недоліки віброакустичного діагностування технічного стану спряжень деталей дизельних двигунів сільськогосподарської техніки.

**Методи.** Аналіз застосування віброакустичного діагностування з використанням індуктивного методу.

**Результати.** Встановлено переваги та недоліки контролю справності техніки за допомогою діагностичних засобів, що не потребують втручання в механічну частину техніки, а саме, розбирання окремих її вузлів, та дає можливість перевірки роботи самих засобів бортової діагностики (стан електричних ланцюгів давачів і виконавчих органів автоматики, а також деяких функціональних систем), що є переважним в умовах експлуатації сільськогосподарської техніки. Висвітлено ефективність використання ультразвуку у визначенні

технічного стану техніки за допомогою яких засобів це можна здійснити та специфіку встановлення давачів і основні місця збурення віброакустичних сигналів дизельного двигуна.

**Висновки.** Системи комплексної діагностики замінюють низку механічних діагностичних засобів та дають змогу діагностувати як морально застарілу техніку, так і новітню техніку, оснащену бортовими електронними засобами не залежно від марки. Використання стендів комплексної діагностики, що поєднують вимірювання параметрів віброакустики, гідроакустики, тисків і електричних напруг є перспективним в умовах експлуатації сільськогосподарської техніки.

**Ключові слова:** сільськогосподарська техніка, дизельний двигун, бортові електронні засоби, віброакустичне діагностування, давач, ультразвук, технічний стан.

UDC621.431.004.53

## PECULIARITIES OF VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS OF A TECHNICAL CONDITION OF DETAILS INTERFACES IN DIESEL ENGINES

Zadvornov Y. M., Researcher, y\_zadvornov@mail.ua

Ryazancev V. V., Junior Researcher, artlic@ukr.net

National scientific center «Institute of Agricultural Engineering and Electrification»

### Annotation

**Purpose.** To established advantages and lacks of vibroacoustic diagnostics of a technical condition of details interfaces in diesel engines for agricultural machines.

**Methods.** Analysis of apply the vibroacoustic diagnostics using the inductive method.

**Results.** Established pros and cons of control proper operation of equipment using diagnostic tools that do not require the intervention of the mechanical part of equipment, namely, dismantling some of its components, and enables verification of most vehicles on-board diagnostic (condition electrical circuits of sensors and executive bodies of automation and some functional systems), which is advantageous in terms of operation of agricultural machinery. The article deals with the efficiency of ultrasound in determining

the technical condition of vehicles by which means it can be carried out and specific installation of sensors and the main place of signal disturbance diesel engine.

**Conclusions.** Systems of complex diagnostics replace a number of mechanical diagnostic means and allow diagnosing both the obsolete technics, and the newest technics equipped with onboard electronic means irrespective of mark. Use of stands of the complex diagnostics uniting measurements of parameters vibroacoustics, hydro acoustics, pressure and electric pressure is perspective under operating conditions agricultural machinery.

**Keywords:** agricultural machinery, diesel engine, onboard electronic means, vibroacoustic diagnostics, sensor, ultrasound, technical condition.

УДК 621.431.004.53

## ОСОБЕННОСТИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОПРЯЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Задворнов Я. М., науч. сотр., y\_zadvornov@mail.ua

Рязанцев В. В., мл. науч. сотр., artlic@ukr.net

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

### Аннотация

**Цель.** Установить преимущества и недостатки виброакустического диагностирования технического состояния сопряжений деталей дизельных двигателей сельскохозяйственной техники.

**Методы.** Анализ применения виброакустического диагностирования с использованием индуктивного метода.

**Результаты.** Установлены преимущества и недостатки контроля исправности техники с помощью диагностических средств, не требующих вмешательства в механическую часть техники, а именно, разборка отдельных ее узлов, и дает возможность проверки работы самих средств бортовой диагностики (состояние электрических цепей датчиков и исполнительных органов автоматики, а также некоторых функциональных систем), является предпочтительным в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники. Освещены эффективность использования ультразвука в определении технического состояния

**Проблема.** Однією з важливих умов забезпечення ефективної і надійної роботи дизелів, як основних енергетичних засобів сільськогосподарської техніки, є своєчасне виявлення та попередження відмов, що виникають в процесі експлуатації. Своєчасне виявлення та усунення несправностей складових дизельних двигунів в подальшому дає змогу зменшити інтенсивність процесів зношування та попередити аварійні відмови, суттєво зменшуються поточні витрати на ремонт техніки, підвищується коефіцієнт готовності машинно-тракторного парку.

Проте, відсутні надійні та ресурсоощадні способи діагностування технічного стану деталей, спряжень, механізмів, вузлів та агрегатів. В умовах експлуатації аналіз технічного стану значно ускладнюється важкодоступністю до механізмів та складністю демонтажу окремих вузлів. У багатьох випадках ремонт чи відновлення однієї деталі економічно вигідніше від заміни всього вузла чи агрегату. Однак, для прийняття відповід-

техники, и с помощью каких средств это можно осуществить и специфику установки датчиков и основные места возмущения виброакустических сигналов дизельного двигателя.

**Выводы.** Системы комплексной диагностики заменяют ряд механических диагностических средств и позволяют диагностировать как морально устаревшую технику, так и новейшую технику, оснащенную бортовыми электронными средствами независимо от марки. Использование стендов комплексной диагностики, объединяющих измерения параметров виброакустики, гидроакустики, давлений и электрических напряжений является перспективным в условиях эксплуатации сельскохозяйственной техники.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственная техника, дизельный двигатель, бортовые электронные средства, виброакустическое диагностирование, датчик, ультразвук, техническое состояние.

ного рішення потрібно поставити точний (точковий) діагноз. Це спрощує прийняття рішення потреби ремонту чи заміни окремої деталі, або всього вузла, для найбільш повного використання їх ресурсу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основними напрямками розвитку техніки є інтелектуалізація техніки, збільшення потужності двигунів, збільшення робочих швидкостей, зменшення непродуктивних витрат та залежності від людського фактору[1].

Останнім часом на техніці провідних західних виробників широко використовуються бортові електронні засоби (БЕЗ), що виконують функції контролю, регулювання або автоматичного управління системами і механізмами, забезпечують необхідною інформацією, значно полегшують управління та зменшують навантаження на оператора. Типовий бортовий комп'ютер керує системами: управління подачі пального, гідравлічною, гальмівною, управління трансмісією;

видає інформацію параметрів роботи двигуна: миттєву витрату пального, температуру охолоджуючої рідини, тиск оливи, частоту обертання колінчастого вала, витрату повітря, кількість витраченого пального, температуру зовнішнього повітря тощо. Ці функції логічно пов'язані з особливостями будови і функціонування відповідних систем і механізмів трактора і з режимами роботи як самого трактора, так і машинно-тракторного агрегату (МТА) в цілому. Логічний зміст функції контролю технічного стану та режимів роботи в використовуваних за кордоном БЕЗ полягає в тому, що на основі вимірів поточних значень ряду параметрів, оцінюється ситуація за ознакою наявності (або відсутності) відхилень, які потребують негайного (або відкладеного) втручання у вигляді зміни режимів роботи або проведення необхідних операцій з обслуговування і ремонту [2,3].

В разі відхилень від нормальної роботи та поломок, БЕЗ сигналізують відповідними діагностичними кодами. Повну розшифровку кодів можуть здійснювати представники сервісних служб за допомогою спеціалізованих сканерів, що відповідають певній марці трактора чи комбайна, при чому протоколи обміну інформацією між зовнішніми комп'ютерами і контролерами тримаються в таємниці. Так забезпечується непорушність чинного курсу на предметну орієнтацію сервісного обладнання для конкретних марок тракторів та комбайнів та створюється монополія в сфері надання сервісних послуг [2-4].

Крім того, існують програмні або програмно-апаратні засоби – Digital rights management (DRM), які навмисно обмежують або ускладнюють дії з об'єктами авторських і суміжних прав в електронній формі (копювання, модифікацію, перегляд і т. п.) після їх продажу кінцевому користувачу. Так в джерелі [5] йдеться про неможливість відремонтувати трактор John Deere 8520T власними силами, і фермер вимушений чекати техніків компанії John Deere.

Звичайно, БЕЗ машини сигналізують про значні поломки на панель приладів та видають повну інформацію при підключенні сканера, та власникові техніки необхідно володіти інформацією щодо залишкового ресурсу перед напруженим періодом експлуатації. Нажаль сучасні БЕЗ не мають технічної можливості видавати дану інформацію.

Діагностування механічними засобами є трудомістким процесом, та вимагає часткового або повного розбирання елементів систем двигуна, що знижує їх надійність і збільшує час постановки діагнозу [2,3,6].

Ні механічні, ні БЕЗ не передбачають використання безрозбірної віброакустичної діагностики, що має значні переваги при розв'язанні вищезначеної проблеми.

**Мета.** Розглянути переваги та недоліки віброакустичного діагностування технічного стану спряжень деталей дизельних двигунів сільськогосподарської техніки.

**Методи.** Аналіз застосування віброакустичного діагностування з використанням індуктивного методу.

**Результати.** Зниження платоспроможності сільськогосподарських товаровиробників обумовило різкий спад їх інвестиційної діяльності, зниження фондозабезпеченості, технічної та енергетичної оснащеності аграрного виробництва. Знос основних засобів у 10 – 15 разів перевищує їх оновлення. Найбільш гострою є проблема забезпеченості аграрного сектора тракторами і комбайнами. Потреба у відтворенні парку тракторів і комбайнів щорічно зростає, але висока їх вартість ускладнює розв'язання цієї проблеми. [5, 7-9].

Так, в господарствах одночасно експлуатується техніка, яка відпрацювала свій експлуатаційний строк, і новітня закордонна, що характеризується значним різноманіттям моделей [10-12]. Тому виникає потреба в технічних засобах для діагностування двигунів, як нових, оснащених БЕЗ, так і морально застарілих різних марок.

Але як би не відрізнялися двигуни за зовнішнім виглядом, у них один і той же принцип дії, значна кількість систем, вузлів і навіть деталей мають функціонально однакове призначення. Діючі навантаження обумовлені однаковими робочими процесами і подібними процесами дефект утворення. Причини, механізми і навіть зовнішні прояви деградації конструкції збігаються (абразивний знос контактуючих поверхонь, втомні мікротріщини і деформації, ослаблення кріплення, засмічення прохідних перерізів, порушення герметичності, пробій електричної ізоляції, погіршення експлуатаційних характеристик, поява сторонніх звуків тощо) [13].

Тому, вирішення задачі можливе за допомогою сучасних методів комплексного

технічного діагностування та контролю, що базуються на вимірюванні параметрів віброакустики, гідроакустики, тисків і електричної напруги механізмів в процесі роботи, з наступною їх обробкою в відповідних програмних середовищах.

З підвищенням вимог до діагностичної апаратури, підвищуються вимоги і до кваліфікації персоналу, що впливають з особливостей самої діагностики як завдання синтезу, коли з окремих інформаційних фрагментів, наприклад, механічного, гідравлічного та електричного походження необхідно зробити комплексний висновок.

До основних переваг такої діагностики можна віднести:

- можливість діагностувати поломки і виявляти розвиток дефектів на етапі їх зародження;
- можливість прогнозувати подальшу експлуатацію вузлів або машини в цілому, а також запланувати обсяг робіт з технічного обслуговування і ремонту;
- зниження очікуваного ризику виникнення аварійної ситуації при експлуатації устаткування;
- оперативність збору інформації про технічний стан устаткування;
- якісний аналіз і достовірність оцінки;
- низька трудомісткість методу і мобільність обладнання [14, 6].

Існує кілька причин, що викликають коливання об'єкта. Одна з них пов'язана з невірноваженістю рухомих деталей. Вона змушує механізм коливатися як єдине ціле щодо становища рівноваги. Ці коливання (вібрації) характеризуються низькими частотами (десятки, рідше сотні герц), порівняно великими амплітудами переміщення і малими прискореннями. Залежність частоти вібрацій від швидкісного режиму об'єкту є характерною рисою цього виду коливань, що дозволяє їх легко виявити і виділити.

Вібрація тіла завжди викликається якимись силами збудження. Ці сили можуть бути прикладені до об'єкта ззовні або виникати всередині нього самого. Вібрація конкретного об'єкта повністю визначається силою збудження, її напрямком і частотою. Саме з цієї причини вібраційний аналіз дозволяє виявити сили збудження при роботі об'єкта. Ці сили залежать від стану об'єкта.

Знання їх характеристик і законів взаємодії дозволяє діагностувати вади останнього.

Ще одним джерелом коливань об'єкта слугують зіткнення його деталей. Вони відрізняються високими частотами (тисячі герц), малими амплітудами зміщення (частки мікрометрів) і значними прискореннями (десятки метрів на секунду в квадраті). Частоти цього виду коливань визначаються розмірами, формою і пружними константами матеріалу деталей. Їх амплітуда пропорційна швидкості зіткнення деталей. Коливання об'єкта, порушені зіткненням деталей називаються акустичним коливанням. У акустичній діагностиці вся необхідна інформація про стан об'єкта витягується з пружного коливання, яке поширюється по його корпусу під час роботи [15].

Для цілей вібродіагностики рішенням може служити запис вібраційних сигналів справного двигуна заданої моделі для подальшого застосування при визначенні відхилення від норми з використанням даних сигналів і отриманих для порівняння.

На першому етапі для кожного типу двигуна складається база даних вібраційних сигналів в наступній послідовності:

1. Етап збору бази даних сигналів, отриманих з справного та двигуна з певним ступенем зносу.

2. Внесення в системи двигуна контрольованих оборотних несправностей. Для сучасних двигунів, оснащених діагностичним роз'ємом, є можливість часткової симуляції несправностей програмним методом. Це дозволить дослідити вібраційний сигнал з метою пошуку і накопичення діагностичних ознак.

3. Вібродіагностика при наявності початкового сигналу справного двигуна даного типу, з метою визначення відхилення від норми роботи його систем. Слід зазначити, що достовірність методів вібродіагностики істотно залежить від топології розташування давачів. Тому при калібруванні і безпосередньо при діагностиці топологія давачів повинна залишатися незмінною і відповідати ISO 13373-1: 2002. Закріплення вимірювальних вібраційних давачів виконується відповідно до вимог стандарту. Контрольні точки вимірювань фіксуються в протоколі проведення діагностики, для можливості коректного порівняння даних при повторній діагностиці [16].

Останнім часом дедалі більшу роль відіграє непряма діагностика, що базується на аналізі попутних фізичних явищ, обумовлених і синхронно супроводжуваних робочі процеси і процеси деградації деталей. Мікроскопічне поверхневе або об'ємне пошкодження механічно напруженої деталі проявляється, зокрема, у вигляді генерації ультразвукових деформаційних хвиль (акустична емісія). Частина ультразвукової хвильової енергії, що реєструється – мізерно мала, в порівнянні з енергією шуму працюючого механізму. Проте, сигнали, що викликає дефект, можуть бути зареєстровані спеціальною апаратурою, оскільки звичайні технологічні шуми зосереджуються далеко в низько-частотній області енергетичного спектру. Параметрами діагностичного сигналу слугують параметри акустичного коливання, що виникають в матеріалі механізму [13,17-19].

Окремо, необхідно виділити явище акустичної емісії (АЕ). Згідно ГОСТ 27655-88 акустичну емісію визначають як випромінювання матеріалом механічних пружних хвиль, викликане динамічною локальною перебудовою його внутрішньої структури.

Джерела АЕ-сигналів при терті твердих тіл: пружна взаємодія, удари; зміна напружено-деформованого стану локального обсягу поверхневого шару твердого тіла; пластична деформація, руйнування; розмноження, рух і взаємодія дислокацій; звільнення енергії при циклічному деформуванні або фазовому зміцненні-ослабленні і руйнуванні поверхневого шару; зміна структури поверхонь тертя; утворення мікротріщин, мікропор, нових поверхонь в результаті зносу; утворення частинок зносу; викришування поверхні, утворення втомної раковини.

Крім того, до АЕ відносять високо-частотне акустичне випромінювання, що виникає при витіканні рідин і газів з отворів в емностях і трубопроводах. В даний час загально визнаною є думка, що АЕ – явище, яке супроводжує чи не всі фізичні процеси в твердих тілах і на їх поверхні, а можливість її реєстрації при протіканні більшості процесів визначається лише чутливістю використовуваної апаратури (ширина спектру сигналу досягає десятків МГц). Тому реєстрація АЕ надає широкі можливості для дослідження твердих тіл, їх взаємодії між собою і з рідкими та газоподібними середовищами [18, 19].

Розташування давачів є важливим фактором, що впливає на якість та точність вимірювань. Існує принаймні три основних способи закріплення давачів:

- жорстке кріплення за допомогою шпильки, гвинтів, клею;

- швидко знімне кріплення за допомогою магніту, воску, липкої стрічки, спеціального тримача тощо;

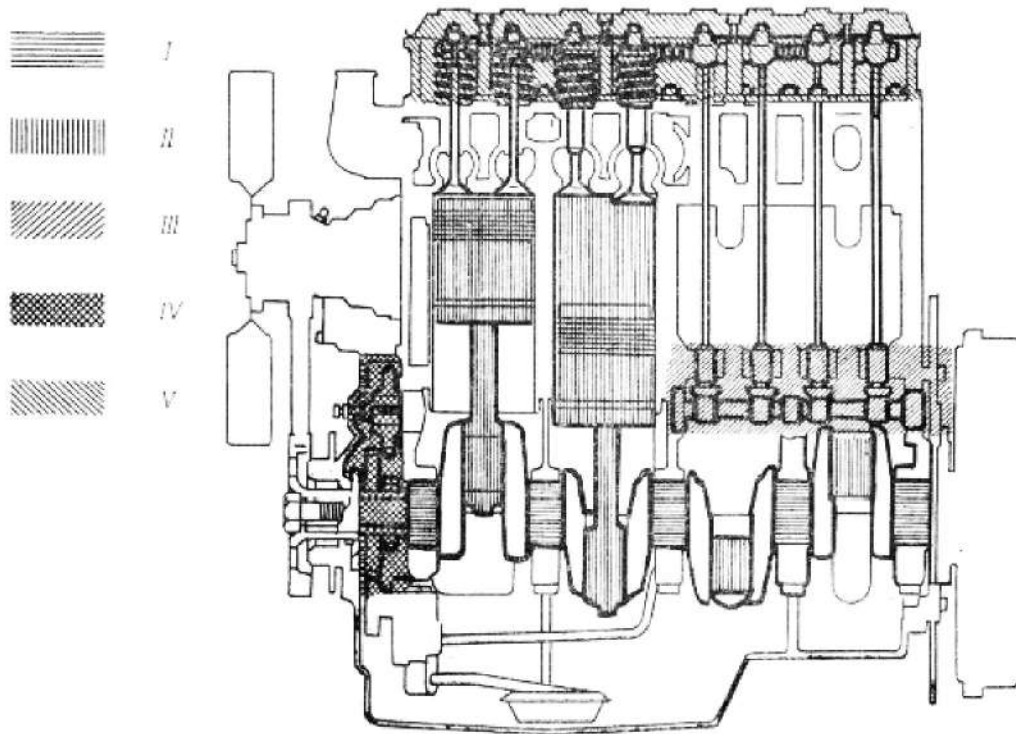
- забезпечення контакту з об'єктом шляхом притиснення і утримання його рукою до об'єкта. Віброакустичний сигнал передається через спеціальний щуп або елементи корпусу, що контактують з об'єктом.

Слід приділяти увагу підготовці поверхні для кріплення давачів, забезпечуючи тісний контакт, та запобігати потраплянню в зону контакту бруду, сторонніх решток. Навіть тонкий шар фарби, невелика нерівність спотворюють потужність високих частот в кілька разів.

Будь-який об'єкт діагностування має типові зони кореспондування та вимоги до встановлення давачів (рис.1,2) [20]. Давачі потрібно розміщувати з врахуванням зон, та на найкоротшій відстані до кінематичної пари, та за нормаллю до поверхні.

Розробка алгоритмів, програм, діагностичних параметрів та їх граничних значень, методів та засобів вимірювання і прогнозування залишкового ресурсу є доволі трудомісткими дослідженнями. Для підвищення технічного рівня рішення таких задач потрібна висока кваліфікація спеціалістів [21], та дороговартісне обладнання.

На сьогодні існує низка діагностичних стендів комплексної діагностики, таких як: «MT Pro», «Дизель-Тестер МТ10Д», «USB Autoscope» продукти НПП "ИНТЕРПРИБОР" [22-25] та ін., і особливої уваги серед них заслуговує діагностичний комплекс Дельфін-1М виробництва ЗАТ «Циклон», перевагою якого є можливість синхронного спостереження за робочими процесами (вимірювачі тиску, температур, електричних струмів і напруг), процесами утворення дефектів (вібровимірювачі інфра-, ультра- і звукової області частот, вимірювачі пульсації тиску), та виконувати обробку і аналіз за допомогою сучасного програмного забезпечення.

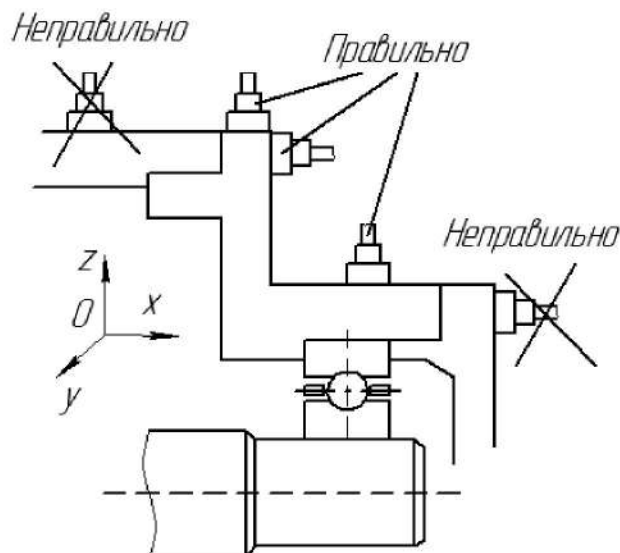


**Рис. 1.** Схема зон прослуховування дизеля Д-240:

I - зона корінних шийок колінчастого вала; II - зона циліндропоршневої групи;  
 III - зона розподільного вала; IV - зона розподільних шестерень; V-зона клапанного механізму.

**Fig. 1.** Scheme listening zones of diesel D-240:

I – Zone indigenous necks crankshaft; II –Liner cylinder end pistonszone;  
 III -Camshaft zone; IV –distribution gearszone; V–valve mechanismzone.



**Рис. 2.** Вимоги щодо встановлення датчиків на підшипниковий вузол

**Fig. 2.** Requirements for installing sensors on the bearing assembly

Всього реалізовано 8 незалежних інформаційних каналів (рис.3), що базуються на різних фізичних принципах. Переважна увага приділяється інформаційним аспектам віброакустичних випромінювань і їх ув'язці з проявами аномалій в параметрах тисків і електричних напруг. Кожному вимірювальному каналу відповідає атестована шкала (табл.1). Така розводка датчиків є рекомендованою, оскільки використовувалася при метрологічній атестації.

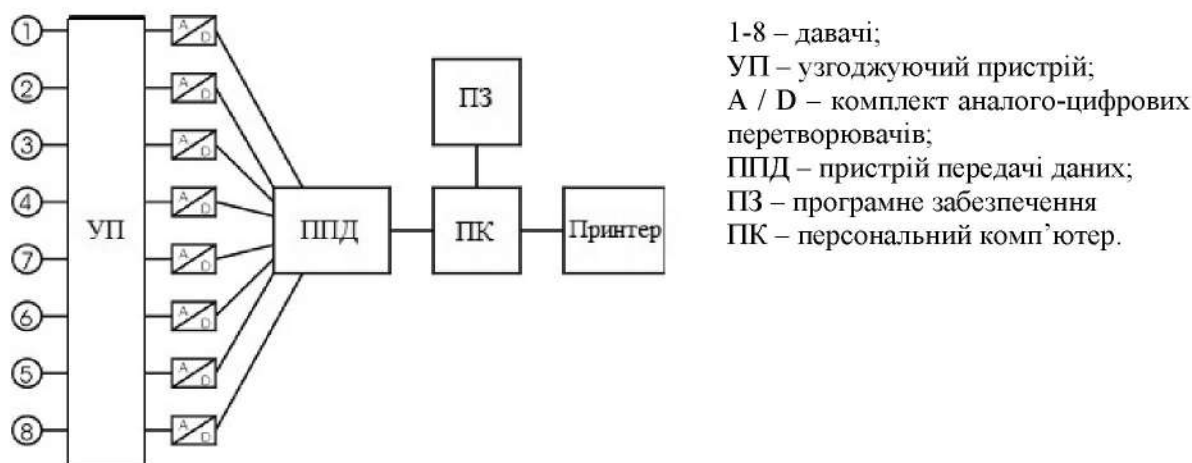


Рис. 3. Блок-схема станда «Дельфин - 1М»  
Fig. 3. Block diagram of the stand "Dolphin - 1M"

Таблиця 1. Характеристики вимірювальних каналів.  
Table 1. Characteristics of measuring channels.

№ каналу	Найменування каналу	Діапазон вимірювань
1, 2	Конструкційна ультразвукова акустика	Огинає в смузі частот 80 - 100 кГц
3	Вібрації високочастотні	смуга частот 3 - 12600 Гц
4	Вібрації низькочастотні	смуга частот 1 - 200 Гц
5	Електричні напруги	0 - 30 В
6	Тиски	0 - 250 ати
7	Сигнал початку відліку	-
8	Електричні напруги	0 -30000 В

Давачі конструкційної акустики (ультразвукові) і вібрацій п'єзоелектричні серії АВС з власними частотами і міцністю, забезпечують необхідні частотні і амплітудні діапазони вимірювань. Містять смугові частотні фільтри і підсилювачі. Давачі тиску потенціометричні серії МД без демпферів. Давачі пульсацій тиску (гідроакустики) серії ЛХ п'єзоелектричні. За допомогою спеціальних перехідників робочі порожнини давачів з'єднуються з контрольованим середовищем.

Знімання параметрів вібрації здійснюється шляхом наклеювання або притиску давачів до відповідних точок конструкції. Для кореспондування в важкодоступних місцях чутливі елементи оснащуються стрижневими хвилеводами довжиною до 400 мм.

Застосування станду стосовно дизельних двигунів дає змогу визначити: геометричні координати джерела віброакустичних випромінювань – аномалії; фаза робочого циклу, при якій проявилася аномалія; амплітудно-частотний спектр причетних до аномалії «дзвінких» елементів конструкції;

траєкторії точок при вібраційному русі; зв'язок аномалії з робочими процесами; оцінка індикаторної потужності двигуна; оцінка потужності двигуна за розгоном; порівняння циліндрів по віддачі; визначення фаз газорозподілу; перевірка стану конструкції вузлів пневматичних і гідравлічних систем (ПНВТ, паливний і масляні насоси, регулятор тиску, впускна і вихлопна система, гальмівна система, форсунки та інжектори, система охолодження); перевірка стану електричних ланцюгів і вузлів, давачів автоматики; вимірювання обертів (колінчастий вал, центрифуга, турбоагнітач) і нерівномірності обертання протягом одного оберту.

Також стенд дозволяє виконувати: автоматичне виявлення дефектів підшипників (огранка тіл обертання, перекіс зовнішнього та внутрішнього кільця, послаблення посадки, пошкодження сепаратора, лунка на зовнішній доріжці, якість мащення, середньоквадратична віброактивність дефектів); оцінку стану КЗП, ШРКШ, карданної і головної передачі.

Будь-яка неполадка представляється подією, яка, можливо, зачіпає конструкцію і робочі процеси в ній. Дослідникам надається низка фактів, що демаскують описові ознаки неполадок, а також підказки експертної підпрограми [4,13,26].

**Висновки.** Системи комплексної діагностики замінюють низку механічних діагностичних засобів та дають змогу діагностувати як морально застарілу техніку, так і новітню техніку, оснащену бортовими електронними засобами не залежно від марки. Крім того є можливість перевірки роботи самих засобів бортової діагностики (стан

електричних ланцюгів давачів і виконавчих органів автоматики, а також деяких функціональних систем), що є переважним в умовах експлуатації сільськогосподарської техніки.

Перспективним є використання стендів комплексної діагностики, що поєднують вимірювання параметрів віброакустики, гідроакустики, тисків і електричних напруг. В сукупності дані параметри забезпечують ефективне та достовірне діагностування погіршення технічного стану на ранніх етапах дефектоутворення.

### Бібліографія

1. Гриненко О. А. Тенденції розвитку сільськогосподарської техніки крізь призму найавторитетнішої виставки «Agritechnica 2011» О.А.Гриненко Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Випуск 124. "Механізація сільськогосподарського виробництва" Том 2. ХНТУСГ. - X., 2012. – 452 с.
2. Зуєв О. О. Сучасні методи безконтактного діагностування двигунів внутрішнього згоряння / О. О. Зуєв // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету / відп. за вип. А. І. Панченко. - Мелітополь, 2009. – Вип. 9, т. 5. – С. 84-88.
3. Шипилевский Г. Б. Перспективы развития диагностики технического состояния тракторов на основе бортовых электронных средств / Г. Б. Шипилевский, В. С. Архипов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2004 № 7. – С.3-7.
4. Коновалов А. И. Диагностика и ремонт автомобилей: "Дельфин-диагностика [Электронный ресурс] / А. И. Коновалов, О. И. Лукьяненко – Режим доступу: [www.autodata.ru/article/all/diagnostika\\_i\\_remont\\_avtomobiley\\_delfin\\_diagnostika](http://www.autodata.ru/article/all/diagnostika_i_remont_avtomobiley_delfin_diagnostika)
5. Самостоятельный ремонт трактора John Deere – нарушение закона DMCA [Электронный ресурс]/ редактор А. Ализар режим доступу: <https://geektimes.ru/post/261130/>
6. Шкрегаль О. М. Застосування сучасних діагностичних методів та засобів підвищення технічного рівня машин / О. М. Шкрегаль, В. О. Лимаренко, Д. О. Рильський // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2014. – Вип. 145. – С. 174-178.
7. Грицишин М. І. Концептуальні питання відтворення матеріально-технічної бази аграрного сектору економіки України. / М. І. Грицишин, В. В. Адамчук / Вісник аграрної науки. – 2007. – С. 49 - 53.
8. Сидорчук О. В. Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки / О. В. Сидорчук, М. О. Василенко, С. С. Котенко, В. М. Кучерявий // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2014. – Вип. 99(2). – С. 299-307.
9. Адамчук В. В. Матеріально-технічна база галузі рослинництва України: стан та перспективи розвитку / В. В. Адамчук, М. І. Грицишин, Н. М. Перепелиця // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2015. – Вип. 2. – С. 246-254.
10. Шейченко В. О. Дослідження впливу терміну експлуатації зернозбиральних комбайнів на їх ефективність / В. О. Шейченко, М. М. Анеляк, А. Я. Кузьмич, С. О. Кустов // Механізація та електрифікація сільського господарства. - 2015. - Вип. 1. - С. 242-249.
11. Войналович О.В. Інформативність діагностичних інтервалів дефектоскопічного контролю деталей вузлів тракторів МТЗ-80 / О. В. Войналович // Механізація та електрифікація сільського господарства. – 2015. – Вип. 2. – С. 240-245.
12. Фастовець П. М. Визначення технічної доцільності застосування ревіталізатору "Мегафорс" для відновлення параметрів технічного стану циліндро-поршневої групи дизельних двигунів / П. М. Фастовець, О. М. Соколенко, Я. М. Задворнов // Механізація і електрифікація сільського господарства. – 2014. – Вип. 99(2). – С. 308-314.
13. Коновалов А. И. Техническая диагностика транспортных средств : учеб. изд. / А. И. Коновалов, О. Н. Лукьяненко, В. Д. Войтюк, С. М. Бондарь, С. М. Дюкарев; Нац. ун-т биотехнологий и природопользования Украины. – К.: ЧП Лысенко Н.М., –2010. – 126 с.
14. Баралевич В.Г. Виброакустическая диагностика автомобильных двигателей внутреннего сгорания В. Г. Баралевич, И. Н. Еримичой, Л. И. Панов// МНПК «Современные информационные и электронные технологии» Одесса, 25 – 29 мая 2015 г.



15. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов./ Б.В. Павлов–М.: Машиностр., 1971.– 224 с.

16. Разработка методики экспресс-диагностики двигателей внутреннего сгорания на основе вейвлет-анализа. К.С. Тыманюк, В.Л. Костенко, А.А. Николенко, А.М. Теплечук, Д.О. Адаменко – Технологический аудит и резервы производства – № 4/3(30), 2016. – С. 47–52.

17. Оксень Д. Е. Исследование процесса формирования виброакустического поля в механизмах двигателя внутреннего сгорания / Д. Е. Оксень, Е. И. Оксень // Двигатели внутреннего сгорания. – 2013. – № 1. – С. 116-121.

18. Баранов В.М. Акустическая эмиссия при трении/ В.М. Баранов, Е.М. Кудрявцев, Г.А. Сарычев, В.М. Щавелин – М.: Энергоатомиздат, 1998. –256 с.

19. Douglas R.M. Monitoring of the piston ring-pack and cylinder liner interface in diesel engines through acoustic emission measurements // Submitted for the degree of Doctor of Philosophy on completion of research in the Department of Mechanical Engineering, School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, 2007.– 295p.

20. Гиоев З. Г. Основы виброакустической диагностики электромеханической систем локомотивов: Монография./ З. Г. Гиоев – М.: УМЦ ЖДТ, 2008. – 307 с.

21. Мигаль В.Д. Анализ развития и задачи подготовки высококвалифицированных специалистов по технической диагностике транспортных машин / В. Д. Мигаль, В. И. Клименко, Л. А. Рыжих // Автомоб. трансп., – 2011. – Вып. 29. – С. 172-178.

22. Диагностический комплекс МТ Pro (осциллограф мотор-тестер) [Электронный ресурс]. - Режим доступу: <http://mlab.org.ua/production/mtpro.html>

23. Перечень электронных приспособлений для диагностики автомобиля фирмы НПП «Интерприбор» [Электронный ресурс]. - Режим доступу: <https://www.interpribor.ru/products>

24. Аксессуары для Дизель-Тестера МТ10Д с блоком АМД-4Д [Электронный ресурс]. - Режим доступу: [http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d\\_ac#](http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d_ac#)

25. USB Autoscope осциллографы с функциями мотортестера [Электронный ресурс]. - Режим доступу: <http://injectorservice.com.ua/oscilloscope.php>

26. Вчені технічного інституту НАУ виробництву / за ред. І.І Ібатуліна, В. П. Лисенка, Д. Г. Войтюка, В. В. Козирського, І. П. Радька, Я. М. Михайловича, В. Б. Онищенко. – К.: ЦТІ Енергетика та електрифікація, 2006. – 74 с.

## Reference

1. Hrynenko O. A Tendentsii rozvytku silskohospodarskoi tekhniky kriz pryzmu naiavtorytetnishi vystavky «Agritechnica 2011» O. A. Hrynenko Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. Vypusk 124. "Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva" Tom 2. KhNTUSH. – Kh., 2012. – 452 s.

2. Zuev O. O. Suchasni metodi bezkontaktного diagnostuvannya dviguniv vnutrishnogo zgoryannya / O. O. Zuev // Praci Tavrijskogo derzhavnogo agrotexnologichnoho universytetu / vidp. za vip. A. I. Panchenko. - Melitopol, 2009. – Vip. 9, t. 5. – S. 84-88.

3. Shipilevskij G. B. Perspektivy razvitiya diagnostiki texnicheskogo sostoyaniya traktorov na osnove bortovykh elektronnykh sredstv / G. B. Shipilevskij, V. S. Arxipov // Traktory i selskoxozyajstvennye mashyny.– 2004 № 7. – S.3-7.

4. Konovalov A. Y. Dyahnostyka y remont avtomobilei: "Delfyn-dyahnostyka [Elektronnyi resurs] / A. Y. Konovalov, O. Y. Lukianenko – Rezhym dostupu: [www.autodata.ru/article/all/diagnostik](http://www.autodata.ru/article/all/diagnostik)

5. Samostoyatelnyj remont traktora John Deere — narushenie zakona DMCA [Elektronnij resurs]/ redaktor A. Alizar rezhim dostupu: <https://geektimes.ru/post/261130/>

6. Shkrehal O. M. Zastosuvannya suchasnykh diahnostychnykh metodiv ta zasobiv pidvyshchennia tekhnichnoho rivnia mashyn / O. M. Shkrehal, V. O. Lymarenko, D. O. Rylskiy // Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. – 2014. – Vyp. 145. – S. 174-178.

7. Hrytsyshyn M. I. Kontseptualni pytannia vidtvorennia materialno-tekhnichnoi bazy ahrarnoho sektoru ekonomiky Ukrainy. / M. I. Hrytsyshyn, V. V. Adamchuk / Visnyk ahrarnoi nauky. – 2007. – S. 49 – 53.

8. Sydorchuk O. V. Problemy tekhnichnoho servisu silskohospodarskoi tekhniky / O. V. Sydorchuk, M. O. Vasylenko, S. S. Kotenko, V. M. Kucheriavyi // Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. – 2014. – Vyp. 99(2). – S. 299-307.

9. Adamchuk V. V. Materialno-tekhnichna baza haluzi roslynyntstva Ukrainy: stan ta perspektyvy rozvytku / V. V. Adamchuk, M. I. Hrytsyshyn, N. M. Perepelytsia // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. – 2015. – Vyp. 2. – S. 246-254.

10. Sheichenko V. O. Doslidzhennia vplyvu terminu ekspluatatsii zernozbyralnykh kombainiv na yikh efektyvnist / V. O. Sheichenko, M. M. Aneliak, A. Ia. Kuznych, S. O. Kustov // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. - 2015. - Vyp. 1. - S. 242-249.

11. Voinalovych O. V. Informatyvni diahnostychnykh intervaliv defektoskopichnoho kontroliu

detalei vuzliv traktoriv MTZ-80 / O. V. Voinalovych // Mekhanizatsiia ta elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. - 2015. - Vyp. 2. - S. 240-245.

12. Fastovets P. M. Vyznachennia tekhnichnoi dotsilnosti zastosuvannia revitalizantu "Megafors" dlia vidnovlennia parametriv tekhnichnogo stanu tsylindro-porshnevoi hrupy dyzelnykh dvyhuniv / P. M. Fastovets, O. M. Sokolenko, Ia. M. Zadornov // Mekhanizatsiia i elektryfikatsiia silskoho hospodarstva. - 2014. - Vyp. 99(2). - S. 308-314.

13. Konovalov A. I. Tekhnicheskaya diagnostika transportnyx sredstv : ucheb. izd. / A. I. Konovalov, O. N. Lukyanenko, V. D. Vojtyuk, S. M. Bondar, S. M. Dyukarev; Nac. un-t bioteknologij i prirodopolzovaniya Ukrainy. - K. : ChP Lysenko N.M., 2010. - 126 s.

14. Baralevich V. G. Vibroakusticheskaya diagnostika avtomobilnyx dvigatelej vnutrennego sgoraniya V. G. Baralevich, I. N. Erimichoj, L. I. Panov // MNPK «Sovremennye informacionnye i elektronnye tehnologii» Odessa, 25 - 29 Maya 2015 g.

15. Pavlov B. V. Akusticheskaya diagnostika mexanizmov. / B.V. Pavlov - M.: Mashinotr, 1971. - 224 s.

16. Razrabotka metodiki ekspress-diagnostiki dvigatelej vnutrennego sgoraniya na osnove veivlet-analiza. K.S. Tymanyuk, V. L. Kostenko, A. A. Nikolenko, A. M. Teplechuk, D. O. Adamenko - Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva — № 4/3(30), 2016. - S. 47-52.

17. Oksen D. E. Issledovanie processa formirovaniya vibroakusticheskogo polya v mexanizmax dvigatelya vnutrennego sgoraniya / D. E. Oksen, E. I. Oksen // Dvigateli vnutrennego sgoraniya. - 2013. - № 1. - S. 116-121.

18. Baranov V. M. Akusticheskaya emissiya pri trenii / V. M. Baranov, E. M. Kudryavcev, G. A. Sarychev, V. M. Shhavelin - M.: Energoatomizdat, 1998. 256 s.

19. Douglas R. M. Monitoring of the piston ring-pack and cylinder liner interface in diesel engines through acoustic emission measurements // Submitted for the degree of Doctor of Philosophy on completion of research in the Department of Mechanical Engineering, School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, 2007. - 295p.

20. Gioev Z. G. Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki elektromexanicheskij sistem lokomotivov: Monografiya. / Z. G. Gioev - M.: UMC ZhDT, 2008. - 307 s.

21. Migal V. D. Analiz razvitiya i zadachi podgotovki vysokokvalificirovannyx specialistov po tekhnicheskoy diagnostike transportnyx mashin / V. D. Migal, V. I. Klimenko, L. A. Ryzhix // Avtomob. transp.. - 2011. - Vyp. 29. - S. 172-178.

22. Diagnosticheskij kompleks MT Pro (oscylograf motor-tester) [Elektronnij resurs]. -

Rezhim dostupu:

<http://mlab.org.ua/production/mtpro.html>

23. Perechen elektronnix prisposoblenij dlya diagnostiki avtomobilya firmy NPP «Interpribor» [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: <https://www.interpribor.ru/products>

24. Aksessuary dlya Dizel-Testera MT10D s blokom AMD-4D [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu:

[http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d\\_ac#](http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d_ac#)

25. USB Autoscope oscillografiya s funkciyami motortestera [Elektronnij resurs]. - Rezhim dostupu: <http://injectorservice.com.ua/oscilloscope.php>

26. Vcheni tekhnichnogo instytutu NAU vyrobnytstvu / za red I.I. Ibatulina, V. P. Lysenka, D. H. Voitiuka, V. V. Kozyrskoho, I. P. Radka, Ia. M. Mykhailovycha, V. B. Onyshchenka. - K.: TsTI Enerhetyka ta elektryfikatsiia, 2006. - 74 s.

### Reference

1. Grinenko O. A. Trends in agricultural machinery in the light of the most authoritative exhibition «Agritechnica 2011» A. A. Grinenko Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. Issue 124. "Mechanization of agriculture", Volume 2. KNTUA. - Kh., 2012. - 452 p.

2. Zuev A. A. Modern methods of contactless diagnostics of internal combustion engines / A. A. Zuev // Proceedings Tauride Agrotechnological State University / ed. by A. I. Panchenko. - Melitopol, 2009. - Vol. 9, v. 5. - pp. 84-88.

3. Shipilevsky G. B. Prospects for the development of diagnostics of technical condition of tractors on the basis of airborne electronic aids / G. B. Shipilevsky, V. S. Arkhipov // Tractors and agricultural machinery. - 2004. - № 7. - pp. 3-7.

4. Konovalov A. I. Diagnosis and repair of motor vehicles, "Dolphin-diagnosis [Electron resource] / A. I. Konovalov, O. I. Lukyanenko - Access Mode: [www.autodata.ru/article/all/diagnostika\\_i\\_remont\\_avtomobilya\\_delfin\\_diagnostika](http://www.autodata.ru/article/all/diagnostika_i_remont_avtomobilya_delfin_diagnostika)

5. Self Repair John Deere tractor - a violation of the DMCA [Electron resource] / editor A. Alizar access mode: <https://geektimes.ru/post/261130/>

6. Shkrehal O.M. The use of modern diagnostic methods and means to improve the technical level of machines / O. M. Shkrehal, V. A. Limarenko, D. A. Rila // Journal of Kharkov National Technical University of Agriculture Petro Vasilenko. - 2014 - Vol. 145. - pp. 174-178.

7. Grytshyn M. I. Conceptual issues of reproduction material base of the agricultural sector of Ukraine. / M. I. Grytshyn, V. V. Adamchuk / Bulletin of Agricultural Science. - 2007. - pp. 49 - 53.

8. Sydoruk O. V. Problems of technical service of agricultural machinery / O. V. Sydoruk, M. O. Vasilenko, S.S.Kotenko, V. M. Kucheriavyyi //

Mechanization and electrification of agriculture. – 2014 – Vol. 99 (2). – pp. 299-307.

9. Adamchuk V. V. Material base crop Ukraine: state and prospects of development / V. V. Adamchuk, M. I. Grytsyshyn, N. M. Perepelytsya // Mechanization and electrification of agriculture. – 2015. – Vol. 2. – pp. 246-254.

10. Sheychenko V. A. Investigation of the life of the combine harvesters to their effectiveness / V. A. Sheychenko, M. M. Anelyak, A. Y. Kuzmich, S. O. Kustov // Mechanization and electrification of agriculture. – 2015. – Vol. 1. – pp. 242-249.

11. Voinalovych A. V. Informational intervals defectoscopic diagnostic control units details of tractors MTZ-80 / A. V. Voinalovych // Mechanization and electrification of agriculture. – 2015. – Vol. 2. – pp. 240-245.

12. Fastovets P. M. Determining technical feasibility of revitalizant "Megafors" to restore the parameters of technical condition of cylinder-piston diesel engines / P. M. Fastovets, O. M. Sokolenko, Y. M. Zadornov // Mechanization and electrification of agriculture. – 2014 – Vol. 99 (2). – pp. 308-314.

13. Konovalov A. I. Technical diagnostics of vehicles: Textbook. ed. / A. I. Konovalov, O. N. Lukyanenko, V. D. Voytyuk, S. M. Bondar, S. M. Dyukarev; Nat. Univ of Biotechnology and Environmental Sciences of Ukraine. – K.: PE Lysenko N. M. – 2010. – 126 p.

14. Baralevich V. G. Vibroacoustic diagnostics automotive internal combustion engines V. G. Baralevich, J. H. Erimichov, L. I. Panov // PBMCs "Modern information and electronic technologies" Odessa, 25 - 29 May 2015

15. Pavlov B. V. Acoustic diagnostics mechanisms. / B. V. Pavlov – M.: mechanical engineering, 1971. – 224 p.

16. Development of a technique of rapid diagnosis of internal combustion engines based on wavelet analysis K. S. Tymanyuk, V. L. Kostenko, A. A. Nikolenko, A. M. Teplechuk, D. O. Adamenko - Technological audit and production of reserves – number 4/3 (30), 2016. pp. 47–52.

17. Oxen D. E. Research of the formation of vibro-acoustic field in the mechanisms of the internal combustion engine / D. E. Oxen, E. I. Oxen // Internal combustion engines. – 2013. – № 1. – pp. 116-121.

18. Baranov V. M. Acoustic emissions by friction / V. M. Baranov, E. M. Kudryavtsev, G. A. Sarychev, V. M. Schavelin – M.: Energoatomisdat, 1998. – 256 p.

19. Douglas R. M. Monitoring of the piston ring-pack and cylinder liner interface in diesel engines through acoustic emission measurements // Submitted for the degree of Doctor of Philosophy on completion of research in the Department of Mechanical Engineering, School of Engineering and Physical Sciences, Heriot-Watt University, 2007. – 295p.

20. Gioev Z. G. Basics vibroacoustic diagnostics of locomotives electromechanical systems. Monograph / Z. G. Gioev – M.: ZHDT UMTS, 2008. – 307 p.

21. Migal V. D. Analysis of the development and problems of training highly qualified specialists for technical diagnostics of transport vehicles / V. D. Migal, V. I. Klimenko, L. A. Ryzhikh // Cars. transp .. – 2011. – Vol. 29. – pp. 172-178.

22. The diagnostic complex MT Pro (oscilloscopes motor-tester) [Electron resource]. - Access mode: <http://mlab.org.ua/production/mtpro.html>

23. List of E-devices for vehicle diagnostics SPE "Interpribor" [Electron resource]. - Access mode: <https://www.interpribor.ru/products>

24. Accessories Diesel Tester MT10D with AMD-4D unit [Electron resource]. - Access mode: [http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d\\_ac#](http://www.nppnts.ru/index.php?mod=amd4d_ac#)

25. USB Autoscope oscilloscopes motortester functions [Electron resource]. - Access mode: <http://injectorservice.com.ua/oscilloscope.php>

26. Scientists Technical Institute of NAU for production / Ed. by I. I. Ibatulin, V. P. Lysenko, D. G. Voytyuk, V. V. Kozyrsky, I. P. Radko, Y. M. Mikhailovich, V. B. Onishchenko. – K.: TSTI Energy and Electrification, 2006. – 74 p.