

# **СТВОРЕННЯ, ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ, РЕМОНТ І НАДІЙНІСТЬ МАШИН**

УДК 621.431.004

## **Визначення технічного стану секцій паливного насоса високого тиску віброакустичним методом**

**Василенко М. О.**, к.т.н., с.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

**Задворнов Я. М.**, н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»

**Рязанцев В. В.**, м.н.с., Національний науковий центр «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», e-mail: [artlic@ukr.net](mailto:artlic@ukr.net)

### **Анотація**

**Мета.** Встановити вплив технічного стану прецизійних пар паливного насоса високого тиску (ПНВТ) на величину та характер віброакустичних сигналів.

**Методи.** Аналіз застосування віброакустичного діагностування для прецизійних пар паливного насоса високого тиску та обробка знятих осцилограм з використанням індуктивного методу.

**Результати.** Встановлено вплив зношення прецизійних пар насоса УТН-5 на віброакустичний сигнал, що проявляється у вигляді додаткових збурень у зоні переднього фронту (вплив плунжерної пари) та заднього фронту (вплив нагнітального клапана) основного імпульса, який виникає в результаті дроселювання під час нагнітання пального. Це дозволяє визначити

технічний стан прецизійних пар паливного насоса безрозбірним віброакустичним методом.

**Висновки.** Зношені прецизійні пари паливного насоса УТН-5 зумовлюють виникнення характерних додаткових збурень віброакустичного сигналу в порівнянні з придатними парами. Запропонована технологія визначення технічного стану паливного насоса дизельного двигуна за допомогою безрозбірного діагностування з використанням віброакустичного методу забезпечує зниження часу проведення діагностичних заходів завдяки заміні механічних діагностичних засобів, які потребують операцій демонтажу, та підвищує надійність роботи вузлів унаслідок зменшення кількості втручань в окремі спряження.

**Ключові слова:** дизельний двигун, паливний насос високого тиску, плунжерна пара, нагнітальний клапан, віброакустичне діагностування, датчик, технічний стан.

UDC 621.431.004

## **Determination of the technical condition of sections of high pressure fuel pump by vibroacoustic method**

**Vasilenko M. O.**, Ph.D., Senior Scientist, National scientific center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”

**Zadvornov Y. M.**, Researcher, National scientific center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”

**Ryazantsev V. V.**, Junior Researcher, National scientific center “Institute of Agricultural Engineering and Electrification”, e-mail: [artlic@ukr.net](mailto:artlic@ukr.net)

### **Annotation**

**Purpose.** To establish influence of a technical condition precision pairs of the high pressure fuel

pump (HPFP) on the size and character vibroacoustic signals.

**Methods.** Analysis of the application of vibroacoustic diagnostics for precision pairs of a high-

pressure fuel pump and the processing of the taken oscillograms using the inductive method.

**Results.** Influence of deterioration of precision pairs pump UTN-5 on a vibroacoustic signal that is shown in the form of additional indignations in a zone of forward front (influence of the plunger pair) and rear front (influence of the pressurization valve) basic impulse which results from throttling at fuel pumping is established. It allows to define a technical condition of precision pairs of fuel pump by non-dismantling vibroacoustic method.

**Conclusions.** The run-out precision pairs of the UTN-5 fuel pump cause the appearance of

characteristic additional vibroacoustic disturbances in comparison with suitable vapors. The proposed technology for determining the technical condition of a fuel pump diesel engine with the help of seamless diagnostics using the vibroacoustic method provides a reduction in the time of diagnostic measures by replacing mechanical diagnostic tools that require dismantle operations and increases the reliability of the nodes as a result of reducing the number of interventions in separate pairs.

**Keywords:** diesel engine, high pressure fuel pump, plunger pair, pressurization valve, vibroacoustic diagnostics, sensor, technical condition.

УДК 621.431.004

### Определение технического состояния секций топливного насоса высокого давления виброакустическими методом

**Василенко М. А.**, к.т.н., с.н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

**Задворнов Я. М.**, н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»

**Рязанцев В. В.**, м.н.с., Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства», e-mail: artlic@ukr.net

#### Аннотация

**Цель.** Установить влияние технического состояния прецизионных пар топливного насоса высокого давления (ТНВД) на величину и характер виброакустических сигналов.

**Методы.** Анализ применения виброакустического диагностирования для прецизионных пар топливного насоса высокого давления и обработка снятых осциллограмм с использованием индуктивного метода.

**Результаты.** Установлено влияние износа прецизионных пар насоса УТН-5 на виброакустический сигнал, что проявляется в виде дополнительных возмущений в зоне переднего фронта (влияние плунжерной пары) и заднего фронта (влияние нагнетательного клапана) основного импульса, который возникает в результате дросселирования при нагнетании горючего. Это позволяет определять техническое состояние прецизионных пар топливного насоса безразборным виброакустическим методом.

**Выводы.** Изношенные прецизионные пары топливного насоса

УТН-5 обуславливают возникновение характерных дополнительных возмущений виброакустического сигнала по сравнению с при-

годными парами. Предложенная технология определения технического состояния топливного насоса дизельного двигателя с помощью безразборной диагностики с использованием виброакустического метода обеспечивает снижение времени проведения диагностических мероприятий за счет замены механических диагностических средств, требующих операций демонтажа, и повышает надежность работы узлов вследствие уменьшения количества вмешательств в отдельные сопряжения.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, топливный насос высокого давления, плунжерная пара, нагнетательный клапан, виброакустическое диагностирование, датчик, техническое состояние.

**Проблема.** Важливою умовою забезпечення ефективної і надійної роботи дизелів, як основних енергетичних засобів сільськогосподарської техніки, є виявлення та попередження відмов, що виникають у процесі експлуатації. Несвоєчасне виявлення та усунення несправностей складових дизельних двигунів підвищує інтенсивність процесів зношування та призводить до аварійних

відмов, збільшуються поточні витрати на ремонт техніки, знижується коефіцієнт готовності машинно-тракторного парку [1].

В умовах експлуатації виникає складність діагностування паливної апаратури механічними засобами. Часткове або повне розбирання елементів систем двигуна знижує їх надійність і збільшує час постановки діагнозу [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Високопродуктивне використання техніки в АПВ забезпечується відповідним рівнем її експлуатаційної надійності та технічного сервісу [2, 3].

У низці заходів, намічених для розвитку немонополізованого ринку технічного сервісу, передбачено, зокрема, обґрунтування діагностичних параметрів спряжень, вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки, нових принципів і способів діагностування та комп'ютерних технологій діагностування [4].

Тенденції оснащення агропромислового комплексу країни ведуть до насичення складною технікою та більш повного використання її виробничих можливостей [5].

Широке впровадження засобів діагностування в практику технічного обслуговування машин є ефективним заходом для скорочення експлуатаційних витрат [6].

Останнім часом дедалі більшу роль відіграє непряма діагностика, що базується на аналізі супутніх фізичних явищ, обумовлених і синхронно супроводжуваних робочі процеси та 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 викликають дефект, можуть бути зареєстровані спеціальною апаратурою, оскільки звичайні технологічні шуми зосереджуються далеко в низькочастотній області енергетичного спектру. Параметрами діагностичного сигналу слугують параметри акустичного коливання, що виникають у матеріалі механізму. Крім того, до акустичної емісії відносять високочастотне

акустичне випромінювання, що виникає при витіканні рідин і газів з отворів в ємностях і трубопроводах [7].

Для підвищення ефективності роботи дизельних двигунів тракторів важливим є використання сучасних методів діагностування, що не потребують втручання в механічну частину двигуна та розбирання окремих його вузлів.

Особливої уваги заслуговує метод віброакустичного діагностування, що полягає в дослідженні пружних коливань, які поширюються по корпусу об'єкта під час його роботи [8].

Сутність віброакустичного методу полягає в наступному. Під час роботи машини рух деталей супроводжується їх зіткненнями, в результаті яких у механізмах розповсюджуються пружні коливання. Із збільшенням зношення або при виникненні будь-яких дефектів характер шуму та вібрації змінюється [9].

Важливою перевагою віброакустичної діагностики перед іншими методами контролю є реагування тільки на небезпечні дефекти, що розвиваються. Але, слід зазначити, що до апаратури для аналізу вібрацій пред'являються високі вимоги. Сюди відносяться: дотримання заданого температурного режиму роботи апаратури, надійна екранізація сполучних кабелів від перешкод, стабільність характеристик блок-схеми в часі й їх прямолінійність на всьому діапазоні частот, швидкий прогрів апаратури до робочих режимів тощо.

**Мета досліджень.** Встановити вплив технічного стану прецизійних пар ПНВТ на величину та характер віброакустичних сигналів.

**Методика досліджень.** Дослідження проводили шляхом стендових випробувань паливного насоса УТН-5. Перелік приладів: стенд віброакустичної діагностики «Дельфін-1М» з комплектом датчиків, ноутбук (HP- 250G3) з програмним забезпеченням «Дельфін-1М», стенд регулювання та перевірки паливної апаратури, стенд для регулювання форсунок КИ-562, прилад для перевірки плунжерних пар.

Паливний насос УТН-5 комплектувався плунжерними парами (ПП) та нагнітальними

клапанами (НК) різного ступеню зношення. Технічний стан скомпонованих секцій контролювався на стенді для регулювання паливної апаратури за значенням циклової подачі. Форсунки використовувалися з роботоздатними розпилювачами, що відрегульовані на номінальний тиск початку впорскування 18 МПа.

Технічний стан елементів машини за віброакустичними параметрами слід перевіряти на таких режимах роботи, при яких характеристики процесів виявлялися б у

найбільш чистому вигляді, з найменшим впливом перешкод з боку інших спряжень. Тому прийнято наступні параметри роботи стенду перевірки паливної апаратури: частота обертання вала –  $150 \text{ хв}^{-1}$ ; положення рейки паливного насоса – максимальна подача.

Обробку віброакустичних сигналів, знятих із корпусу насоса УТН-5 за допомогою п'єзоелектричного датчика конструкційної акустики серії АВС (рис. 1), проводили з використанням програмного забезпечення «Дельфін-1М».

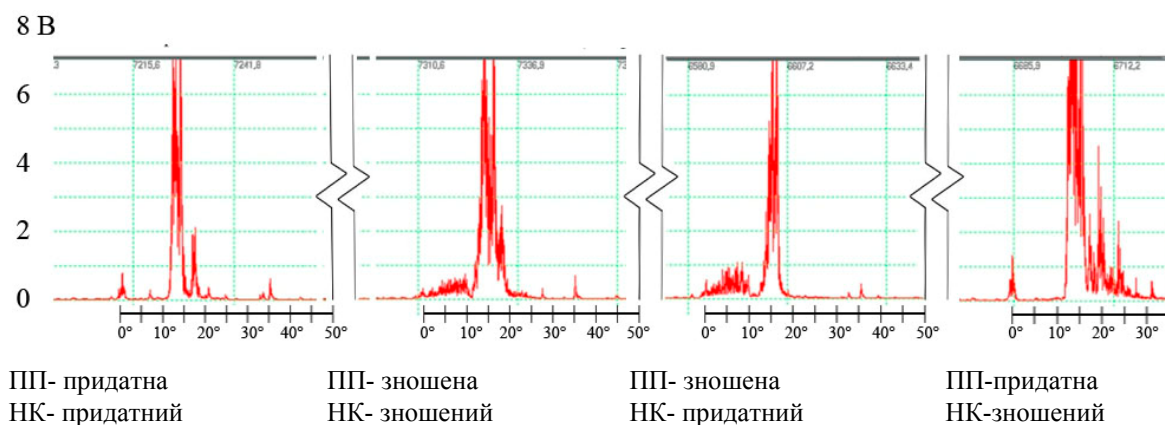


**Рис.1.** Паливний насос УТН-5 з встановленим датчиком конструкційної акустики серії АВС

**Fig. 2.** UTN-5 fuel pump with ABC series construction acoustic sensor installed

Суть обробки сигналів полягає в порівнянні та виявленні відмінностей їх амплітудно-часових характеристик, знятих із секцій з додатними та зношеними деталями у різних варіаціях. Сигнали розглядаються в межах одного оберту кулачкового вала насоса. При цьому відшукуються найбільш інформативні параметри сигналів, до яких можуть належати: пологість фронтів, частота, амплітуда, фазове положення відносно кута повороту кулачкового вала, тривалість.

**Результати досліджень.** У результаті досліджень встановлено вплив зношення прецизійних пар даного насоса на віброакустичний сигнал, що проявляється у вигляді додаткових збурень у зоні переднього фронту (вплив плунжерної пари) та заднього фронту (вплив нагнітального клапана) основного імпульса, який виникає в результаті дрослювання пального під час нагнітання (рис. 2).



**Рис. 2.** Віброакустичні сигнали окремих секцій (ПП – плунжерна пара, НК – нагнітальний клапан)

**Fig. 2.** Vibroacoustic signals of separate sections (PP – plunger pair, NK – pressurization valve)

Із наведених осцилограм видно, що тривалість сигналу від гранично зношеної плунжерної пари (14–17° повороту кулачкового вала) перевищує тривалість сигналу від придатної плунжерної пари (4–7° повороту кулачкового вала), що може слугувати критерієм для формування команди про ремонт чи заміну паливного насоса. На нашу думку, збільшення тривалості сигналу під час нагнітання (активний хід плунжера) обумовлено інтенсифікацією дроселювання рідини внаслідок зношення поверхонь плунжера та втулки.

Вплив зношення НК на тривалість сигналу проявляється в меншій мірі, що також підтверджується значеннями циклової подачі секції з придатним та зношеним НК.

Розглядаючи спектри сигналів можна зробити висновок, що їх форма також у незначній мірі залежить від стану ПП і НК. У випадках із зношеними деталями спектр сигналу набуває пілкоподібну форму з множиною дрібних сплесків на всій смузі частот, тоді як із придатними деталями формується плавна крива спектру з концентрацією основної частини енергії в зоні низьких частот.

Таким чином, параметр сигналу як «тривалість збурення» в градусах повороту кулачкового вала насоса у відповідній зоні осцилограми найкраще характеризує технічний стан ПП і НК. Тому на основі даних досліджень пропонується побудувати залежності даного параметра від технічного стану ПП і НК, що дасть змогу діагностувати

паливні насоси рядного типу в умовах експлуатації.

### Висновки

Зношені прецизійні пари паливного насоса УТН-5 зумовлюють виникнення характерних додаткових збурень віброакустичного сигналу в порівнянні з придатними парами. Запропонована технологія визначення технічного стану паливного насоса дизельного двигуна за допомогою безрозбірного діагностування з використанням віброакустичного методу забезпечує зниження часу проведення діагностичних заходів завдяки заміни механічних діагностичних засобів, які потребують операцій демонтажу, та підвищує надійність роботи вузлів унаслідок зменшення кількості втручань в окремі спряження.

### Бібліографія

1. Задворнов Я. М., Рязанцев В. В. Особливості віброакустичного діагностування технічного стану спряжень деталей дизельних двигунів. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2016. Вип. 4 (103). С. 175–185.
2. Система техніко-технологічного забезпечення виробництва продукції рослинництва / за ред. В. В. Адамчука,

М. І. Грицишина. К.: Аграрна наука, 2012. 416 с.

3. Адамчук В. В., Грицишин М. І., Перепелиця Н. М. Матеріально-технічна база галузі рослинництва України: стан та перспективи розвитку. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. 2015. Вип. 2. С. 246–254.

4. Проблеми технічного сервісу сільськогосподарської техніки / О. В. Сидорчук, М. О. Василенко, С. С. Котенко, В. М. Кучерявий. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. 2014. Вип. 2 (99). С. 299–307.

5. Мироненко В. Г., Ткачук С. В. Автоматизація технологічних процесів – як фактор створення сільськогосподарської техніки нового покоління. *Механізація і електрифікація сільського господарства*. 2014. Вип. 2(99). С. 11–17

6. Скибневский К. Ю. Методические указания по диагностированию машин. М.: ГОСНИТИ, 1976. 128 с.

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

8. 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.

9. Иорис Ю. И. Виброметрия, измерение вибрации и ударов. Общая теория, методы и приборы. М.: Машиностроение, 1963. 772 с.

#### Bibliografii

1. Zadvornov Y. M., Ryazantsev V. V. Osoblivosti vibroakustichnogo diagnostuvannya tehničnogo stanu spryazhen detaley dizelnih dviguniv. *Mehanizatsiya ta elektrifikatsiya sil'skogo gospodarstva*. 2016. Vip. 4 (103). S. 175–185.

2. Sistema texniko-texnologichnogo zabezpechennya virobництва produkcii rosli-

nnictva / za red. V. V. Adamchuka, M. I. Gricishina. – K.: Agrarna nauka, 2012. 416 s.

3. Adamchuk V. V., Grycyszyn M. I., Perepelycyia N. M. Materialno-texnichna baza galuzi roslynnycztva Ukrayiny: stan ta perspektyvy rozvytku. *Mexanizaciya ta elektrifikaciya sil'skogo gospodarstva*. 2015. Vyp. 2. S. 246–254.

4. Problemi texnichnogo servisu sil'skogospodarskoї texniki / O. V. Sidorchuk, M. O. Vasilenko, S. S. Kotenko, V. M. Kucheryavij. *Mexanizaciya i elektrifikaciya sil'skogo gospodarstva*. 2014. Vip. 2 (99). S. 299–307.

5. Myronenko V. G., Tkachuk S. V. Avtomatyzaciya texnologichnyx procesiv – yak faktor stvorennya sil'skogospodarskoї texniki novogo pokolinnya. *Mexanizaciya i elektrifikaciya sil'skogo gospodarstva*. 2014. Vip. 2 (99). S. 11–17

6. Skibnevskiy K. Y. Metodicheskie ukazaniya po diagnostirovaniyu mashin. M.: GOSNITI, 1976. 128 s.

7. Akusticheskaya emissiya pri trenii / V. M. Baranov, E. M. Kudryavtsev, G. A. Saryichev, V. M. Schavelin, M.: Energoatomizdat, 1998. 256 s.

8. Texnicheskaya diagnostika transportnyx sredstv: ucheb. izd. / A. I. Konovalov, O. N. Lukyanenko, V. D. Vojtyuk, S. M. Bondar, S. M. Dyukarev; Nac. un-t biotexnologij i prirodopolzovaniya Ukrainy. K.: ChP Ly-senko N. M., 2010. 126 s.

9. Iorish Y. I. Vibrometriya, izmerenie vibratsii i udarov. Obschaya teoriya, metody i priboryi. M.: Mashinostroenie, 1963. 772 s.

#### Bibliography

1. Zadvornov Y. M., Ryazantsev V. V. Peculiarities of vibroacoustic diagnostics of a technical condition of details interfaces in diesel engines. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2016. Vol. 4 (103). P. 175–185.

2. System of technical and technological maintenance of production of plant growing / under the editorships V. V. Adamchuk, M. I. Gricishin. K.: the Agrarian science, 2012. 416 p.

3. Adamchuk V. V., Gritsyshyn M. I., Perepelytsia N. M. The material and technical base of plant growing industry in Ukraine: the state of affairs and main perspectives on development. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2015. Iss. 2 (101). P. 246–254.
4. Problems of technical service of agricultural technique / O. V. Sidorchuk, M. O. Vasilenko, S. S. Kotenko, V. M. Kudrjavij. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2014. Iss. 2 (99). P. 299–307.
5. Mironenko V. G., Tkachuk S. V. Automation of technological processes – as a factor in the creation of a new generation of agricultural machinery. *Mechanization and electrification of agriculture*. 2014. Iss. 2 (99). P. 11–17.
6. Skibnevsky K. Y. Methodical instructions for diagnosing machines. M.: GOSNITI, 1976. 128 p.
7. Acoustic emission in friction / V. M. Baranov, E. M. Kudryavtsev, G. A. Sarychev, V. M. Shchavelin. M.: Energoatomizdat, 1998. 256 p.
8. 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.
9. Iorish Y. I. Vibrometry, measurement of vibration and shock. General theory, methods and devices. M.: Mechanical Engineering, 1963. 772 p.