

**В.В. Аулін, доц., канд. ф.-м. наук, , О.Ю. Жулай, асп.**  
*Кіровоградський національний технічний університет*

## **Аналіз діагностичних методів визначення технічного стану циліндро-поршневої групи дизельних двигунів мобільної сільськогосподарської техніки**

Проведено аналіз неруйнівних діагностичних методів визначення технічного стану циліндро-поршневої групи дизельних двигунів мобільної сільськогосподарської техніки. Виходячи з сучасних умов розвитку технічної діагностики, виявлено можливості та дана оцінка їх перспективності.

**циліндро-поршнева група, технічний стан, діагностика, мобільна сільськогосподарська техніка, інформаційне забезпечення (моніторинг)**

За останні десять років в сільському господарстві України сталося багато як позитивних, так і негативних змін. Процеси реорганізації та становлення сільськогосподарських агропідприємств не сприяли підвищенню рівня технічного обслуговування та ремонту наявної сільськогосподарської техніки. Поряд із загальним старінням (фізичним і моральним) автотракторного парку в агроформуваннях з'являється більш продуктивна та енергонасичена техніка сучасного світового рівня. Особливо це помітно в секторі мобільної сільськогосподарської техніки (МСГТ). Поряд з позитивними моментами: впровадження техніки нового покоління і принципово нових технологій, які роблять можливим підвищення продуктивності та ефективність їх використання, це призводить до певних труднощів в процесі експлуатації.

Виходячи з дійсної картини розвитку фірмового сервісу на Україні, просто нереально забезпечити своєчасне та якісне технічне обслуговування та ремонт техніки, що в свою чергу обумовлює значні трудові, матеріальні та фінансові затрати. Ці обставини приводять до того, що технічні служби агропідприємств вимушені працювати в дуже жорстких обмеженнях - техніка повинна бути в працездатному стані, але при цьому затрати на підтримання її в такому стані й на заданому рівні надійності потрібно звести до мінімуму. Вирішити ці проблеми без застосування адаптивної системи технічного обслуговування та ремонту та сучасного діагностичного обладнання неможливо.

Надійність МСГТ в основному визначається показниками довговічності, безвідмовності, ремонтпридатності та збереженості її силових агрегатів. Як правило, це дизельний двигун внутрішнього згорання, Надійність якого, без сумніву є одним з основних показників техніко-економічної ефективності його використання. Підвищення моторесурсу двигунів, при високому рівні безвідмовності майже рівноцінно збільшенню їх випуску заводами-виробниками. В зв'язку з цим важливого значення набуває можливість своєчасного та достовірного інформаційного забезпечення (моніторингу) технічного стану найбільш дорогих за вартістю та відповідальних за функціонування деталей і спряжень дизельних двигунів.

© В.В. Аулін, О.Ю. Жулай, 2005

При експлуатації техніки в умовах роботи сільськогосподарського виробництва дуже часто дизелі передчасно направляють в ремонт, базуючись лише на суб'єктивній

оцінці механізатора. При цьому не встановлюється дійсна причина відмови і в першу чергу проводяться роботи по ремонту та заміні дорогих деталей кривошипно-шатунного механізму (КШМ) та циліндро-поршневої групи (ЦПГ).

В роботах [1-3] встановлено, що дизельні двигуни, які надходять в капітальний ремонт на спеціалізовані ремонтні підприємства, мають значний залишковий ресурс, що знаходиться у допустимих межах, а отже не повністю реалізовується при експлуатації. Величина спрацювання деталей ЦПГ значно менша граничної [4]. При цьому тільки 5% дизелів мають граничний знос гільз циліндрів.

Зазначена проблема потребує нових закономірностей формування методів оцінки і прогнозування ресурсу силових агрегатів, які враховують індивідуальні особливості і зовнішні умови роботи конкретної машини, і безумовно є актуальною.

Впровадження технічного діагностування і прогнозування залишкового ресурсу в практику експлуатації машинно-тракторного парку дозволяє скоротити експлуатаційні затрати, пов'язані з передчасним ремонтом дизелів МСГТ [1].

Практичне значення проблеми прогнозування та раціонального використання ресурсу МСГТ дуже велике. Оптимальне використання ресурсу приведе до значної економії матеріалів, зменшення енергетичних і трудових витрат, а зекономлені кошти направити на розвиток та оновлення матеріально-технічної бази агропідприємства.

Метою даної роботи є аналіз науково обґрунтованих методів та їх можливостей для ефективного діагностування ЦПГ дизельних двигунів мобільної сільськогосподарської техніки.

На сьогодні існує багато класифікацій методів діагностування дизельних двигунів. В основу розробленої нами класифікації (рис. 1) була покладена класифікація розроблена Аллілуєвим В.О.[1]

Сукупність методів можна поділити на суб'єктивні і об'єктивні методи.

Суб'єктивні методи базуються на власному відчутті та сприйнятті змін в стану технічного об'єкту. Вони в свою чергу поділяються на органолептичні та програмні.

Органолептичними вважають такі методи, при застосуванні яких інформація про технічний стан отримується безпосередньо за допомогою органів чуття: зору, слуху, нюху, органів відчуття. Візуальними можна визначити місця підтікання рідини, колір випускних газів. На слух сприймаються характер стуків, шумів, перебоїв в роботі двигуна, оцінюється робота центрифуги за параметрами "вибігу". За допомогою органів відчуття визначають ступінь нагрівання механізмів, непрацюючу форсунки по відсутності імпульсів в паливопроводах.

Програмні методи – це методи, які характеризують певний порядок роботи технічного об'єкта і фіксують відхилення від його нормального стану. За допомогою цих методів можна визначити неполадки за першочерговими і допоміжними симптомами.

Суб'єктивні методи оцінки технічного стану двигунів можуть приводити до помилок, особливо за наявності прихованих несправностей. Внаслідок цього при експлуатації у ряді випадків проводять непотрібне розбирання вузлів і заміну багатьох деталей, які є ще придатними для подальшої роботи. Крім того, зайве розбирання вузлів і агрегатів погіршує загальний технічний стан сполучень і вузлів, порушуючи положення добре прироблених деталей.

Об'єктивні методи діагностування дають більш точну картину кількісних та якісних показників, на які не може вплинути власне сприйняття дослідником стану технічного об'єкту.

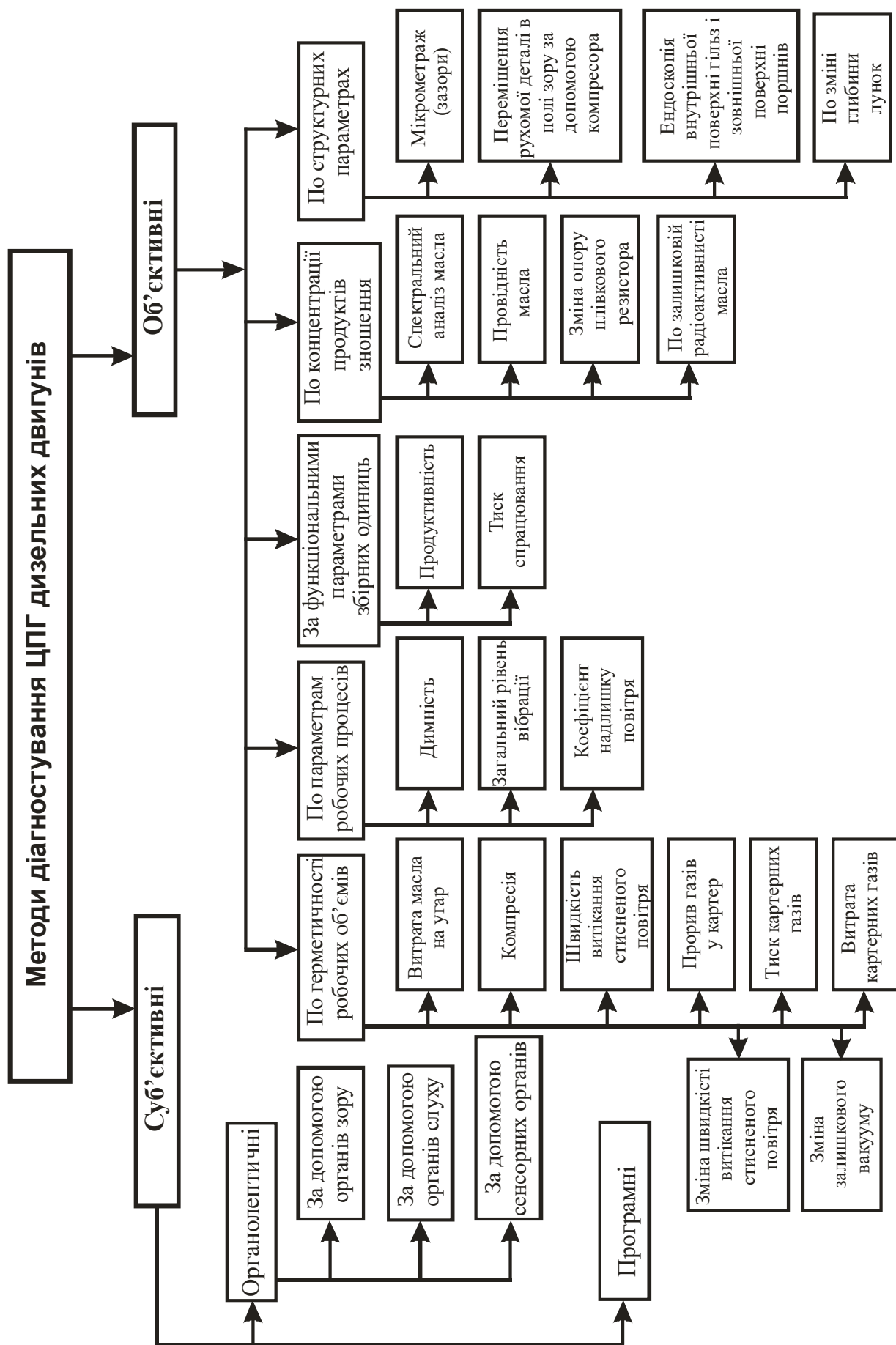


Рисунок 1. Класифікація методів діагностування ЦПГ дизельних двигунів МСГТ

До об'єктивних методів діагностування згідно принципу використання належать методи визначення: герметичності робочих об'ємів, параметрів робочих процесів, функціональних параметрів збірних одиниць, концентрації продуктів зношування, структурних параметрів.

За способом реалізації методу визначення герметичності робочих об'ємів можна визначити наступні показники: витрату картерних газів та їх прорив у картер, угару масла, компресію, швидкість витікання повітря, тиск; за параметрами робочих процесів - щільність, склад випускних газів; за функціональними параметрами збірних одиниць - продуктивність насосів, тиск відкриття клапанів, тиск впорскування палива, охолоджуючу здатність радіатора та ін.; по концентрації продуктів зношення - концентрацію продуктів зношення в маслі, спектральний аналіз, електропровідність масла, зміну опору плівкового резистора, залишкову радіоактивність масла; за структурними параметрами - мікрометраж зазорів різних з'єднань, переміщення рухомої деталі в полі зору (за допомогою компресора), стан поверхні деталей (ендоскопія), глибину прорізаних лунок.

На практиці найбільшого застосування набули інформативні способи перевірки технічного стану, які базувалися на визначенні кількості газів, що прориваються в картер, угару картерного масла, герметичності надпоршневих об'ємів (за величиною компресії і розрідження), витратами повітря через нещільності, тиску картерних газів. На сьогодні через ряд недоліків, характерних для кожного способу та недосконалості засобів їх реалізації вони не відповідають умовам достовірного та своєчасного інформаційного забезпечення (моніторингу) технічного стану.

Так, для методу визначення технічного стану ЦПГ по витраті картерних газів, рекомендовані для цієї мети газові лічильники мають суттєвий недолік - низьку точність, обумовлену втратами газів в атмосферу, через нещільності сальників колінчатого валу та з'єднань картеру під час виміру. Спроба подолання зазначених недоліків, використанням індикатора КИ-13671, перевагою якого є простота конструкції і низька трудомісткість діагностики, у випадку витоків газів не дає бажаної точності виміру. Крім того на кінцевий результат впливає випадкове розміщення поршневих кілець, рівень вібрації дизеля. В той час як діагностувати необхідно лише при роботі двигуна, прогрітому до номінальної температури. Також даний метод не дозволяє виявити окремий несправний циліндр, міру спрацювання гільз циліндрів, визначити першопричини зниження працездатності ЦПГ, до витоків через клапани взагалі нечутливий.

При визначенні стану ЦПГ по угару масла потрібно враховувати той факт, що сумарна витрата масла складається не лише з угару масла, а й втрат масла через нещільності ущільнень колінчатого валу і прокладки змащувальної системи двигуна. На угар масла впливає швидкісний та навантажувальний режими роботи дизеля. Для експрес – діагностики спосіб взагалі непридатний, оскільки при визначенні угару масла для кожного конкретного двигуна потрібні тривалі спостереження.

Оригінальну систему для діагностування дизелів розробила фірма "Бурмейстер і Вайн" (Данія). В зоні тертя спряження "гільза-кілець" встановлюється плівковий резистор, спрацювання якого обумовлює зміну його опору. Опір плівкового резистора є діагностичним параметром, за яким визначають знос гільзи з високою точністю ( $\pm 2\%$ ), (похибці вимірювання менше 1мкм) [5]. Цей спосіб, при значних позитивних моментах не позбавлений недоліків, найсуттєвішим із яких є необхідність встановлення резистора на кожен гільзу циліндра нового чи відремонтованого двигуна, що значно підвищує вартість проведення діагностування даним способом [6].

Порівняно велика вартість не сприяє широкому використанню на практиці способу діагностування за допомогою мікровідеокамер - ендоскопії [7]. За допомогою

цього способу можна отримати лише якісну оцінку стану поверхні гільз і поршнів. Кількісна ж оцінка спрацювання деталей ЦПГ ускладнена.

Загальну картину спрацювання деталей ЦПГ дизельних двигунів може бути визначено за абсолютною концентрацією елементів продуктів зносу в маслі (аналіз картерного масла).

За даним роботи [6] похибка прогнозування при використанні приведеної концентрації заліза в працюючому маслі складає близько 20%, а на основі балансу надходження і витрати заліза - близько 13%. Способи, засновані на визначенні концентрації окремих елементів продуктів зносу в працюючому маслі, вимагають систематичного обліку витрати масла по кожному агрегату при визначенні рівня його зносу. Ці способи є вельми трудомісткими, хоча зі створенням експресних методів аналізу працюючого масла стає можливим визначення величини зносу не лише деталей ЦПГ, а й силового агрегату в цілому. Не зважаючи на наявні недоліки, метод аналізу вмісту продуктів зносу в маслі слід визнати перспективним для діагностування автотракторних двигунів.

Низька точність отриманих даних класичного “компресійного” методу – при всіх його перевагах (простота, універсальність та ін.) робить його суто індикаторним. Навіть подальші його модифікації, такі як розробки фірми Mobil - електронний компресиметр з реєстрацією зміни величини напруги за допомогою високочутливого вольтметра, принцип дії якого оснований на вимірюванні напруги на клеммах стартера при прокручуванні колінчатого валу двигуна [7] мають недоліки притаманні, методу безпосереднього вимірювання компресії.

Багато недоліків “компресійного” методу усунуто у способі діагностування оцінки стану кожного циліндра за величиною вакууметричного тиску, який створюється при прокручуванні колінчатого валу двигуна пусковим пристроєм, розробленого ГОСНИТИ [8,9].

Вакуумний метод діагностики ЦПГ дозволяє в цілому звести до мінімуму відзначені недоліки і достатньо достовірно оцінити стан ЦПГ і, відповідно, визначити вид і обсяг не знеособлених ремонтних дій.

Суть методу полягає в наступному: в процесі прокручування колінчастого валу стартером або пусковим двигуном вимірюють розрідження в надпоршневому просторі на робочому такті розширення за допомогою вакуумного клапана. При цьому, на попередньому такті стиснення здійснюється повне продування циліндра через редукційний клапан малого тиску (3...10 МПа). Отримана величина повного вакууму (-P1) характеризує стан гільзи циліндра (якість поверхні і ступінь зносу) і щільність сполучення “клапан-сідло”. При цьому важливо відзначити, що вимірювання повного вакууму здійснюється з мінімальною трудомісткістю, оскільки не вимагає жорсткого кріплення вимірювального приладу перед вимірюванням. Проте величина повного вакууму практично не несе інформацію про стан кілець. Причина цього “явища” достатньо проста - при “круглій гільзі” і “щільних клапанах” наявність масляного клина завжди забезпечить високий вакуум. Перекриттям редукційного клапана ізолюють надпоршневий простір. Тепер на такті стиснення тиск підвищується до максимального значення у момент досягнення поршнем В.М.Т. При цьому частина повітря, що стискається, проникає через поршнєві кільця в картер двигуна. Після досягнення В.М.Т поршень йде вниз (такт розширення), повертаючись в початкову ординату початку такту стиснення. В цьому випадку вакуумний клапан “запам'ятовує” залишковий вакуум (-P2), величина якого пропорційна тій частині тиску (компресії), яка була “втрачена” при прориві частини повітря через компресійні кільця. При мало зношених і не закоксованих (рухомих) кільцях величина залишкового

вакууму вельми незначна. При зношених, закоксованих або поламаних компресійних кільцях значення  $-P_2$  істотно зростає.

Загальновідомо, що в перерізі зношена гільза має форму еліпса. При великому ступені зносу (більше 60 %) наявність зазора між еліпсним сектором дзеркала циліндра і круглим сектором компресійного кільця обумовлюється появою підсосу повітря з картера на такті розрідження (розширення), який неможливо зупинити масляним клином. Аналогічна картина спостерігається за наявності на поверхні гільзи сильного вироблення або вертикальних глибоких борозен [6]. Вказаний спосіб менш трудомісткий і більш точний в порівнянні з способом визначення компресії.

Способам визначення технічного стану ЦПГ по витраті повітря, що подається під тиском в надпоршневий простір, принцип “пневмокалібратора”, притаманний характерний недолік [10] - вони не враховують пружність поршневих кілець, а також спрацювання поршневих канавок і кілець по висоті. При цьому спрацюванні кільця стисненим повітрям притискуються до нижнього торця канавки поршня і циліндра. Зусилля з яким притискується кільце до гільзи при діагностуванні ЦПГ приладом К-69М досягає, як показують розрахунки 0,15 МПа, що зрівнюється з питомим тиском нового кільця. На витрату повітря також суттєво впливає взаємне розміщення замків поршневих кілець, а тому зміна витрати повітря перекриває діапазон зміни втрати повітря, зумовленої спрацюванням ЦПГ.

Віброметричні й акустичні методи діагностики для визначення ступеня зношеності спряжень, і як наслідок, технічного стану деталей ЦПГ, має такі позитивні якості: прийнятна точність, можливість аналітичної обробки даних. Але через необхідність створення для кожної конкретної марки двигуна свого алгоритму проведення робіт, складність апаратури і трудомісткості виключення із спектру перешкод при роботі двигуна в даний час не є можливим для практичного використання без їх доопрацювання. Проте роботи в цьому напрямку ведуться, що дозволяє віднести цей спосіб до перспективних [4].

До специфічних методів діагностування технічного стану можна віднести так званий метод штучних радіаційних баз (ШРАБ) та метод нейтронної активації. Суть методу ШРАБ полягає в наступному: у втулки циліндрів розміщують активовану вставку з радіоактивним джерелом ( $^{60}\text{Co}$ ) в точці перекладання верхнього компресійного кільця. Зниження активності втулки за одноразове напрацювання з урахуванням саморозпаду розраховується на ПЕОМ за допомогою спеціально створеної програми. Недоліками цього методу являється його загальна складність, пов'язана з необхідністю внесення конструктивних змін в ЦПГ та створення спеціальних програм для розрахунку швидкості спрацювання по зниженню активності втулки, що потребує значних витрат. Все це звужує поле діяльності методу до умов лабораторії. Незаперечними перевагами даного методу, в порівнянні з іншими, є висока точність інформації та можливість застосування для безперервного контролю (моніторингу) при розробці штатних приладів.

Аналіз існуючих методів для діагностування ЦПГ дозволив виявити основні їх недоліки. До них відноситься відносно велика трудомісткість діагностування, складність апаратного та інформаційного забезпечення, неприйнятна для подальшої обробки даних точність вимірювання параметрів. Отже на сьогоднішній день не існує методу діагностування, який би із заданою достовірністю, при низькій вартості робіт зміг дати достатньо інформації для визначення та прогнозування залишкового ресурсу мобільної сільськогосподарської техніки. Найбільш перспективними є методи визначення технічного стану ЦПГ за спектральним аналізом масла, вакууметричний та метод нанесення плівкового резистора на поверхню тертя. Однак і вони в повній мірі не задовольняють вимогам, що ставляться до бази діагностичної даних і потребують

удосконалення. Отже виникає необхідність створення методів і приладів для діагностування, які б ґрунтувались на суттєвих фізичних процесах, що відбуваються в спряжених деталях ЦПП дизелів та можливості моніторингу отриманої бази даних.

## Список літератури

- 1 Аллилуев В.А., Ждановский Н.С., Николаенко А.В. и др. Техническая диагностика тракторов и зерноуборочных комбайнов. –М.: Колос, 1978.- 287с.
- 2 Система технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственных машин по результатам диагностирования / В. М. Михлин; и др. — М.: Информагротех, 1995.
- 3 Демко А.А., Надточій О.В. Особливості використання зернозбиральних комбайнів в Україні // Перспективи розвитку механізації, електрифікації, автоматизації та технічного сервісу сільськогосподарського виробництва. // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції / 1-3 жовтня 1996р., Глеваха, С.51.
- 4 Бажинов А.В. Научные основы оценки ресурса силовых агрегатов транспортных машин с учетом условий эксплуатации. Дис... докт. техн. наук: 05.22.20.- Харьков 2001.– 324с.
- 5 Одяков Н.И. Техническая диагностика дизелей. – Калининград, 1981.- 106с.
- 6 Надточій О.В. Діагностування циліндро-поршневої групи дизеля комбайна за віброакустичними параметрами. Дис... канд. техн. наук: 05.05.11.- Національний аграрний університет, Київ 2001.– 256с.
- 7 Макс И.С. Методы и средства обработки сигналов при физических измерениях. -М.: Мир. 1983, т.1. – 462с.
- 8 Бельских В.И. Диагностирование и обслуживание сельскохозяйственной техники. - М.: Колос, 1980.– 575с.
- 9 Бельских В.И. Диагностика технического состояния и регулировка тракторов. - М.: Колос, 1973.- 240с.
- 10 Диагностика автотракторных двигателей. / Под ред. проф. Н.С. Ждановского.- Л.: Колос, 1977.- 264с.
- 11 Krause W. Neue Erkenntnisse bei der Ermittlung des Schädigungsstandes der Zylinder-Kolbin-Gruppen von Dieselmotoren. Agrartechnik, 1977, vol. 27, nr. 11, p. 507-508.

Проведен анализ неразрушительных диагностических методов определения технического состояния цилиндрико-поршневой группы дизельных двигателей мобильной сельскохозяйственной техники. Исходя из современных условий развития технической диагностики, выявлены возможности и дана оценка их перспективности.

. The analysis of undestructive diagnostic methods of determination of the technical state of cylinder-piston group of diesel engines of mobile agricultural technique is conducted. Coming from the modern terms of development of technical diagnostics, possibilities are exposed the given estimation of their perspective.

*Одержано 30.09.05*