

## АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І ДІАГНОСТИКИ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ МОБІЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

*В.Д.Войтюк, кандидат технічних наук*

*П.Б.Щербатий, асистент*

*Національний аграрний університет*

*Навчально-науковий технічний інститут*

*У статті розглянуто основні системи моніторингу і діагностики механічних коливань мобільних сільськогосподарських машин, які можна розділити на чотири групи за ступенем складності, оснащенням і програмним забезпеченням. Дослідження показали, що перехід від методу аварійного обслуговування (від поломки до поломки) до методу за фактичним технічним станом дозволяє забезпечити економію 47%. Аналогічно, перехід від методу планово-запобіжного обслуговування до обслуговування за станом означає економію витрат на обслуговування 32%.*

*В статье рассмотрены основные системы мониторинга и диагностики механических колебаний мобильных сельскохозяйственных машин, которые можно разделить на четыре группы по степени сложности, оснащению и программному обеспечению. Исследования показали, что переход от метода аварийного обслуживания (от поломки к поломке) к методу по фактическому техническому состоянию позволяет обеспечить экономию 47%. Аналогично, переход от метода планово-предупредительного обслуживания к обслуживанию по состоянию означает экономию расходов на обслуживание 32%.*

Традиційні методи технічного обслуговування мобільних сільськогосподарських машин можна розділити на дві категорії: експлуатація до виходу з ладу і планово-профілактичне обслуговування (по календарних термінах або ресурсі). Підвищення технічного рівня, якості і надійності машин, поліпшення їх використання зараз багато в чому залежить від засобів технічної діагностики. Тому багато фірм переходять на технічне обслуговування устаткування за станом — моніторинг і діагностика.

Системи моніторингу і діагностики механічних коливань можна розділити на чотири групи за ступенем складності, оснащення і програмного забезпечення. Проста система моніторингу механічних

коливань може бути реалізована у вигляді комбінації нескладного малогабаритного віброметра і стробоскопа. Віброметр повинен забезпечувати вимірювання загальних параметрів вібрації (віброзміщення, віброшвидкості і віброприскорення) в стандартних частотних діапазонах, а також мати нагоду виміряти параметри вібрації в інших частотних діапазонах (мати смугові фільтри нижніх і верхніх частот, що настроюються). Стробоскоп використовується для визначення частоти обертання і відносного переміщення деталей, а також для виявлення нестаціонарності частоти обертання. Бажано, щоб віброметр мав роз'єми для підключення навушників (для прослуховування механічних коливань) і реєструючої апаратури (осцилографа, аналізатора). Для кожної машини може бути проведено порівняння загальних рівнів вібрації зі встановленими в стандартах нормами або з базовими значеннями вібраційних характеристик, визначених користувачем індивідуально для кожної моделі машини в конкретних точках контролю. Основна перевага цієї системи полягає в тому, що не вимагається затрачувати багато часу на підготовку персоналу по віброконтролю машин. Недолік — виявлення відхилень від нормального функціонування машини тільки за наявності істотних дефектів, які важко ідентифікувати за наслідками віброконтроля.

Для визначення причин збільшення вібрації машини можна використовувати аналіз зміни декількох параметрів вібрації (віброзміщення, віброшвидкості і віброприскорення), результати вимірювання їх в різних частотних діапазонах і в різних точках контролю, але цьому необхідно навчитися.

Оперативна система моніторингу механічних коливань може бути реалізована за допомогою переносних портативних аналізаторів. Вона дозволяє проведення аналізу спектрів вібрації і її тимчасових реалізацій на місці експлуатації об'єкту контролю проводити відразу оцінку технічного стану і визначати дефекти.

Несправності машин визначаються користувачем за діагностичними словниками. Для вирішення задач діагностики необхідний контроль фази коливань, тому аналізатор повинен мати датчик оборотів. Двохканальний аналізатор дозволяє для діагностики використовувати кореляційний аналіз коливань, взаємні спектри і

функцію когерентності. Діагностика здійснюється за діагностичними словниками. Система вимагає підготовки кваліфікованого персоналу і часу на визначення причин підвищеної вібрації.

Напівстаціонарна система моніторингу і діагностики реалізується на базі персональної ЕОМ з розділенням функцій збору даних на місці і обробки їх в лабораторії. Сучасний моніторинг стану машин заснований на зборі величезних об'ємів даних, з яких шляхом аналізу, можна зробити висновок про технічний стан машини. Тільки професійний експерт здатний “заочно розібратися” в наборах даних, коректно зібраних іншими особами. Але експертів мало, причому у них різна кваліфікація і об'єм знань. Враховуючи цей факт, багато фірм для моніторингу використовують вимірювальні магнітофони або аналізатори-збірники даних, причому останні в даний час переважають. Вимірювальний магнітофон має перевагу перед збірником даних, оскільки він реєструє тимчасову реалізацію, яку можна неодноразово обробляти з метою пошуку нових істотних діагностичних ознак. Він дозволяє транспонувати тимчасову реалізацію (тобто провести запис сигналу на одній швидкості і відтворити на іншій), що дає можливість провести аналіз низькочастотних і високочастотних коливань звичайним аналізатором. Тому вимірювальний магнітофон необхідний при проведенні обстежень нових типів машин і вивченні причин нетрадиційних відмов, при дослідженні нестаціонарності вібраційного процесу. На підприємствах достатньо мати тільки збірники даних — портативний аналізатор.

Він повинен мати пам'ять для запам'ятовування спектрів і даних для його ідентифікації (місце експлуатації машини, її модель, технологічний номер, номер і дата обстеження, точка контролю вібрації, параметр вібрації, характеристики вузькополосного спектру), проводити аналіз нестаціонарності вібраційного процесу і модальний аналіз складових частин об'єкту контролю, балансування частин, що обертаються, у власних підшипниках і ін. Його доцільно доповнити мультиплексором, для проведення синхронного (в реальному часі) або синхронізованого аналізу відразу в декількох точках контролю. Він необхідний і для зниження трудомісткості при проведенні балансування деталей об'єктів, що обертаються.

Один недолік системи — періодичний контроль технічного стану. Як правило, відмови складових частин машин рідко мають рапто-вий характер.

Від початку виникнення якої-небудь несправності і досягнення її розвинутої стадії (граничного стану машини) проходить декілька тижнів і навіть місяців. Періодичність вібродослідження машин слід уточнювати по напрацюванню на відмову найслабшого вузла машини. Таким чином, напівстаціонарна система з щодобовим віброконтролем машин і системою безперервного контролю основних показників роботи машини (температури, тиску і ін.) дозволяє своєчасно виявляти несправності об'єктів контролю і виводити їх в ремонт. За наявності мультиплексора напівстаціонарну систему тимчасово можна використовувати як стаціонарну систему вібромоніторингу і діагностики. Системи безперервної моніторизації і діагностики (стаціонарні) застосовують для найвідповідальніших машин. Через високу вартість одного каналу вібрації кількість крапок на об'єкті контролю часто обмежують і, отже, дуже складно реалізувати повну його діагностику. Тому цю систему звичайно доповнюють напівстаціонарною системою.

Відповідно до вимог нормативних документів машини оснащуються системами управління і контролю основних показників режиму їх роботи. На базі цих систем реалізується параметрична їх система моніторингу і діагностики, яка доповнює віброакустичну систему.

Для аналізу і обробки зібраних даних на персональній ЕОМ багато фірм розробили пакети програм моніторингу і діагностики, при виборі яких необхідно стежити за тим, щоб вони відповідали вимогам національних стандартів України, дозволяли використовувати для моніторингу і діагностики машин програми інших фірм, а також вводити нові правила діагностики з урахуванням змін показників режиму роботи об'єкту. Тоді у підприємств при отриманні дозволу в Держстандарті і Держнаглядодохоронпраці України на офіційне упровадження систем моніторингу і діагностики устаткування не виникатимуть проблеми, як і при їх вдосконаленні. Це потрібно враховувати і при придбанні складальних одиниць даних-аналізаторів, які, як правило, працюють з програмами їх розробни-

ків. В даний час на ринку пропонується різне вітчизняне і зарубіжне програмне забезпечення для систем моніторингу і діагностики, які можна ділити на чотири рівні.

Перший рівень — це найпростіші і дешеві програми. Вони дозволяють створювати бази даних результатів віброконтролю машин і автоматизувати оцінку технічного стану їх складових частин за нормативними значеннями вібраційних характеристик.

Другий рівень — це системи, які використовують принцип заданих “порогів небезпеки” в певних частотних смугах спектру вібраційних характеристик. В кожному частотному діапазоні можна задати до 6-8 смуг різної ширини і з різними порогоми небезпеки. Наприклад, одна із смуг може бути названа “Дисбаланс”, друга — “Проточна частина”, третя — “Зубчате зчеплення” і т.д. Система оцінює, наскільки велике перевищення рівня вібрації, і, залежно від його величини, видає короткі повідомлення, наприклад, “невеликий дисбаланс”, “дисбаланс”, “неприпустимий дисбаланс”. Одним з недоліків системи є те, що вона не враховує зміни частоти обертання і не реєструє екстремуми спектру, які не потрапили в задані користувачем смуги, а також використовує дуже прості правила діагнозів, які не дозволяють встановити істинні причини зміни вібраційних характеристик. Наприклад, перевищення рівня на частоті обертання може бути викликано не тільки дисбалансом.

Третій рівень систем моніторингу і діагностики машин дозволяє обробляти не тільки їх вібраційні характеристики, але і деякі параметри режиму роботи (звичайно розробники пропонують враховувати частоту обертання, а інші параметри повинен вибрати користувач). Параметри режиму роботи — одночисельні дані, тому легше піддаються обробці в порівнянні з вузькополосними спектрами вібрації. Потрібно тільки враховувати те, що ці величини можуть як рости, так і зменшуватися. Тому в системі передбачають два рівні “порогу небезпеки”: при збільшенні параметра і при його зниженні.

Для виявлення несправностей за спектрами вібрації в системі використовується набір порогових рівнів у вигляді “масок” для кожного об’єкту. При використуванні набору “масок”, які охоплюють весь частотний діапазон, істотні зміни складових спектру

вібрації в контрольних крапках будуть знайдені і система дає повідомлення про можливу несправність, але зміна частоти обертання також не враховується. Для оцінки несправності система має файли “частот несправностей”, які необхідно враховувати для конкретного об’єкту. Протокол повідомлення користувачу звичайно включає наступні дані: частота, порядок кратності, ширина піку, рівень, пороговий рівень і перевищення. Система обробляє кожний спектр окремо.

Четвертий рівень систем моніторингу і діагностики машин — експертні системи. Однією з перших таких систем є програмне забезпечення Expert ALLERT (фірма DLI, США) [2]. Ця система включає систему третього рівня і на початковій стадії працює аналогічно їхній, а також включає розширені засоби діагностики і експертну систему. Відмінність експертної системи фірми DLI починається з того, що вона нормує всі її дані щодо робочої швидкості, щоб виключити її варіації на спектр, які можуть привести до зсуву піків в порівнянні з “маскою”. Потім система переходить до аналізу “характерних особливостей”. Особливості — це частоти, виділені при настройці системи. Фірма DLI використовує дані порядкового аналізу, тобто гармоніки частоти обертання. Дані представляються для кожної машини двома спектрами: діапазон низьких частот, наприклад від 0 до 10 гармонік і діапазон високих частот — від 0 до 100 гармонік. Для оцінки технічного стану використовується 14 порядків (10 з яких заздалегідь вибирає експерт, два з найвищих піків в низькочастотному діапазоні і два — у високочастотному) і рівень “підлоги”, нижче за яке знаходяться амплітуди 70% складових високочастотного діапазону, що залишилися. Далі системою проводиться кепстральний аналіз (для визначення, які частоти мають гармоніки) і перевірка діагностичних правил для об’єкту контролю (наприклад, не варто шукати ознаки зносу зубчатої пари, якщо її “ні”). Якщо правило підходить, то критерій несправності застосовується за всіма зібраними даними для конкретних об’єктів. Пакет програм використовує логічну схему, в якій враховується наявність або відсутність піків на декількох частотах (досконаліші діагностичні правила) і в різних точках контролю. Коли всі несправності розпізнано, програма при-

ступає до другої стадії діагнозу: видає рекомендації, що робити. Найважливішою особливістю експертної системи є те, що вона може використовувати ускладнену логіку для визначення діапазонів і обробляти дані по всій машині в цілому, а не кожний спектр окремо.

Слід зазначити експертну систему моніторингу і діагностики фірми BENTLI NEVADA (США), яка дозволяє оцінювати технічний стан машин і надійно визначати причини його зміни.

Фірма SPM (Швеція) розробила метод ударних імпульсів для діагностики підшипників качення. Її системи моніторингу і діагностики успішно використовуються при оцінці технічного стану підшипників качення машин.

З Українських експертних програм відзначимо програми ЗАО “Циклон”, м. Луганськ, яке розробило агрегатизований вимірювально-інформаційний комплекс, призначений для комп’ютерної діагностики ДВЗ, ходової частини, кузова. Використанно засоби спостереження за робочими процесами (вимірювання тиску і напруги) і за процесами дефектоутворення (інфра, ультра і звукової області частоти вібровимірювача). А також слід відзначити НПО “Енергія”, м. Луганськ.

З іншими системами моніторингу і діагностики машин і устаткування (програмним забезпеченням і технічними засобами) можна ознайомитися в інтернеті [3]. При створенні систем моніторингу і діагностики машин необхідно вирішити питання щодо підвищення надійності і оптимізації режиму їх роботи. Об’єкти контролю, які мають слабкі вузли необхідно модернізувати або замінити, як і об’єкти, які працюють в нестійкому діапазоні. Необхідно оцінювати технічний рівень нових об’єктів до введення їх в експлуатацію і при їх виробництві або ремонті контролювати стабільність якості. Одним з важливих етапів розробки технічної діагностики є роботи з визначення діагностичних ознак, об’єм і інформативність яких, повинні у принципі враховувати особливості прийнятих на стадії проектування конструкторських і технологічних рішень, якість виготовлення і монтажу, досвід експлуатації об’єктів — прототипів і особливості умов експлуатації об’єктів діагностики. У міру збору статистичних даних перелік діагностичних ознак повинен уточнюватися і удосконалюватися вирішальні правила розпізнавання дефектів.

Дослідження НН електроенергетики США показали, що перехід від методу аварійного обслуговування (від поломки до поломки) до методу за фактичним технічним станом дозволяє забезпечити економію 47%. Аналогічно, перехід від методу планово-запобіжного обслуговування до обслуговування по стану означає економію витрат на обслуговування 32%. Отже, витрати на створення систем моніторингу і діагностики машин швидко окупляться, а якщо врахувати і штрафи за забруднення навколишнього середовища, і виплати працюючим за шкоду здоров'ю, то соціально-економічний ефект буде значно вищим. Значне зменшення об'єму робіт по технічному обслуговуванню не обов'язково означає звільнення персоналу з технічного обслуговування. Його можна зобов'язати займатися підготовкою і проведенням вимірювань, а також більш ретельно проводити роботи по огляду і перевірці кожної машини, знятої з експлуатації для проведення ремонту. Завдяки цьому підвищиться надійність і безпека машин. Проведення термінових робіт, які раніше могли бути виконані тільки поспіхом, повинні стати надбанням минулого.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Bill Watts and Joe Van Dyke. An automated vibration – based expert diagnostic system. // Sound and vibration, september, 1993.
2. Сайт: [www.Vibration.Narod.Ru](http://www.Vibration.Narod.Ru)
3. Дулин С. К., Дулина Н. Г., Киселев И. А. Тематический мониторинг информационных сообщений / А.И. Эрлих (отв.ред.). – М. : Вычислительный Центр РАН, 2000. – 83с. : рис. – (Сообщения по прикладной математике / РАН. Вычислительный центр).
4. Диагностируем на "Дельфине". А. И. Коновалов, О. Н. Лукьяненко. – Луганск, 2006.