



УДК 004.94:621.822

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-3-2

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ДІАГНОСТУВАННЯ ДЕФЕКТІВ ЗУБОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У РЕДУКТОРАХ САМОХІДНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Веселовська Наталія Ростиславівна, д.т.н., професор
Ялина Ольга Олександрівна, аспірантка
Янішевський Василь Юрійович, аспірант
Вінницький національний аграрний університет

N. Veselovska, PhD, Associate Professor
O. Yalina, postgraduate
V. Yanishevskiy, postgraduate
Vinnytsia National Agrarian University

Інтенсивне використання технологій сільськогосподарського виробництва визнало інтенсивну характеристику сільськогосподарських виробників, що дозволило представити необхідність найчастіше діагностики, технічного обслуговування та ремонту.

Такий перехід обумовлений об'єктивними тенденціями розвитку сільськогосподарських машин. Розв'язок цієї проблеми припускає розробку і створення ефективних засобів моніторингу і діагностики стану елементів трансмісії сільськогосподарських машин; проведення оцінки величини залишкового ресурсу окремих елементів системи і дослідження процесів перетворення енергії в цих елементах; побудова математичних моделей, на основі яких можливо прогнозувати настання небезпечних ушкоджень залежно від умов експлуатації встаткування. Засоби діагностики повинні забезпечувати виконання оцінки стану робочих поверхонь взаємодіючих між собою елементів трансмісії, контролю зношування їх поверхонь і оцінку працездатності вузла в цілому або кінематичної пари без їхнього розбирання в період експлуатації. Час збору діагностичної інформації і виділення інформативних ознак і параметрів сигналів необхідно мінімізувати. Методи контролю повинні бути, по можливості, простими, а засоби, їх, що реалізують, - компактними, із вбудованими в них алгоритмами обробки інформації і прийняття рішень.

Найбільш інформативним параметром, що несе максимальну інформацію про стан вузла працюючої машини або агрегату, є механічні коливання (вібрації) - пружні хвилі, що поширюються в суцільних середовищах.

Вимірювання віброакустичних характеристик на підшипникових опорах механізмів дозволяє розпізнати такі дефекти і ушкодження як дисбаланс і перекося валів; ушкодження підшипників ковзання і кочення; ушкодження зачеплень у зубчастих передачах; ушкодження муфт; ушкодження електричних машин.

При системному використанні сучасних діагностичних методів вдасться уникнути серйозного ушкодження елементів трансмісії і скоротити експлуатаційні витрати на обслуговування сільськогосподарських машин внаслідок того, що ремонт проводиться тільки тоді, коли результати вимірювань указують на його необхідність.

Ключові слова: сільськогосподарські машини, діагностика, дефектація, зачеплення зубів, алгоритм.

Ф. 2. Табл. 1. Літ. 14.

1. Постановка проблеми

Інтенсивний розвиток технологій сільськогосподарського виробництва призвів до інтенсифікації виробництва сільськогосподарської техніки, що у свою чергу призвело до необхідності своєчасного діагностування, технічного обслуговування та ремонту.

За оцінками науковців А.І. Коновалова, В.Д. Войтюка скорочення обсягів планово-запобіжних ремонтів до 65-80% необхідних, приводить до прискореного нагромадження ушкоджень і, як наслідок, до виникнення аварійних відмов. При скороченні планово-запобіжних робіт на 1% час аварійних ремонтів збільшується на 2,0 - 2,5%, а їх вартість зростає, у порівнянні із плановими, в 4-5 раз [1]. Таке зростання вартості активів для власників аграрних підприємств і компаній вимагає більш ефективної



організації ремонтного виробництва - формуванні системи технічного обслуговування машини та обладнання на основі діагностики фактичного технічного стану встаткування, тобто перехід від системи планово-запобіжних ремонтів до сервісного обслуговування сільськогосподарських машин, що полягає в гарантованому забезпеченні фіксованих параметрів працездатності техніки, що обслуговується.

Такий перехід обумовлений об'єктивними тенденціями розвитку сільськогосподарських машин:

- ускладненням конструкції і, як наслідок, появою додаткових вимог як до кваліфікації обслуговуючого і експлуатаційного персоналу, так і до якості проведення ремонтних робіт;
- швидким зростанням кількості більш складної (як в обслуговуванні, так і в експлуатації) закордонної техніки і швидким моральним старінням вітчизняного обладнання, що вимагає істотних вкладень у його модернізацію і реновацію;
- підвищенням вимог до експлуатаційної надійності машин сільськогосподарського призначення;
- залежністю ефективності продажів сільськогосподарських машин від наявності сервісного супроводу в період життєвого циклу.

Усе вищевикладене вимагає розгляду нових підходів до підвищення ресурсу сільськогосподарських машин на основі моніторингу фактичного технічного стану і діагностування його зміни в процесі життєвого циклу машини, що дозволить вносити коректування показників ресурсу окремих елементів системи на стадії створення нової машини. Розв'язок цієї проблеми припускає:

- розробку і створення ефективних засобів моніторингу і діагностики стану елементів трансмісій сільськогосподарських машин;
- проведення оцінки величини залишкового ресурсу окремих елементів системи і дослідження процесів перетворення енергії в цих елементах;
- побудова математичних моделей, на основі яких можливо прогнозувати настання небезпечних ушкоджень залежно від умов експлуатації встаткування.

Засоби діагностики повинні забезпечувати виконання оцінки стану робочих поверхонь взаємодіючих між собою елементів трансмісії, контролю зношування їх поверхонь і оцінку працездатності вузла в цілому або кінематичної пари без їхнього розбирання в період експлуатації. Час збору діагностичної інформації і виділення інформативних ознак і параметрів сигналів необхідно мінімізувати. Методи контролю повинні бути, по можливості, простими, а засоби, їх, що реалізують, - компактними, із вбудованими в них алгоритмами обробки інформації і прийняття рішень.

2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Як свідчить аналіз відмов, що виникають у сільськогосподарських машинах, найбільше їх число припадає на механічне встаткування (головним чином – трансмісії, редуктора).

Як відомо, енергія, що втрачається у системі із різними видами тертя, затрачається на нагромадження енергії в деформованому обсязі і утворення локальних дефектів і дислокацій у деталях, що викликає їх необоротне руйнування, після чого накопичена енергія розсіюється в навколишнє середовище у вигляді тепла, звуку, вібрацій і т.п.[1-5]

Оцінка стану трансмісії по величині втрат потужності, хоча і має ряд переваг у порівнянні з іншими, непрямими методами, але в силу того, що вона є інтегральною, то на її основі не можна оцінити внесок того або іншого процесу в зміну технічного стану редуктора.

З діагностичних методів неруйнуючого контролю, придатних для моніторингу технічного стану сільськогосподарських машин, найбільш придатними є [3]:

- тепловий контроль (ТК);
- вібродіагностичний контроль (ВД).

Оцінка стану трансмісії по температурі масла у ванні її корпусу при гаданій простоті має ряд недоліків, що впливають на точність цього методу. Так, температура масла в різних точках трансмісії може бути різною через інерційність способу. Нагрівання масла залежить головним чином від втрат холостого ходу (постійні втрати) і величини зовнішнього тертя в кінематичних парах трансмісії. Втрати від динамічного складового навантаження йдуть на нагромадження втомленісних ушкоджень елементів привода і мало впливають на температуру масла. У свою чергу усталена температура масла залежить від інтенсивності охолодження корпусу редуктора. При цьому умови теплообміну при експлуатації не обов'язково збігаються з умовами експерименту. У цьому випадку підвищення



температури масла буде пов'язане зі зміною зовнішніх умов, а не зі станом трансмісії в процесі експлуатації. Отже, такий спосіб не дозволяє точно й однозначно оцінити стан трансмісії зернозбирального комбайна в умовах його експлуатації [6, 7, 8]

Однак, найбільш інформативним параметром, що несуть максимальну інформацію про стан вузла працюючої машини або агрегату, є механічні коливання (вібрації) - пружні хвилі, що поширюються в суцільних середовищах. Інформацію про зміну стану об'єкта можна одержувати практично миттєво. Саме ці особливості визначили застосування, у якості основного, вібраційного методу діагностики і контролю (ВД).

Вимірювання віброакустичних характеристик на підшипникових опорах механізмів дозволяє розпізнати такі дефекти і ушкодження як дисбаланс і перекося валів; ушкодження підшипників ковзання і кочення; ушкодження зачеплень у зубчастих передачах; ушкодження муфт; ушкодження електричних машин [4, 9-14].

При аналізі даних, отриманих при первинних обстеженнях головних приводів комбайнів, виявлено, що основними дефектами обладнання є:

- дисбаланс роторів;
- ексцентриситет валів агрегатів;
- дефекти підшипникових вузлів (перекося, ослаблення посадок, зношування бігових доріжок, тіл кочення і сепараторів);
- дефекти зубчастих передач (порушення геометрії зуба, зсув осі валу, порушення змащення).

3. Основні результати дослідження

Розглянемо більш докладно діагностику дефектів, властивих трансмісіям самохідних сільськогосподарських машин [5].

Нормально функціонуюча зубчаста передача навіть при відсутності дефектів може мати досить помітну вібраційну активність. Коливання при цьому виникають у широкому діапазоні частот і можуть мати досить складний состав і характер.

Колівання в зубчастих передачах, у тому числі і нормально функціонуючих, є наслідком двох основних причин – похибки виготовлення і складання (монтажу) зубчастих коліс і періодично мінливої твердості зубів по фазі зачеплення.

При реєстрації віброакустичних сигналів, які генеруються зубчастими парами, необхідно враховувати характерні риси їх роботи.

Похибки виготовлення складаються з постійних і змінних похибок у кроці зубів. Похибки монтажу проявляються у вигляді порушень співвідносності валів і перекося їх осей, порушенні бічних зазорів і ін.

Періодична зміна твердості зубів і постійна погрішність кроку зачеплення викликають появу у вібрації зубчастої передачі коливань на частоті зубів та її гармоніках

$$f_z = z_1 \times f_{r1} = z_2 \times f_{r2} \quad (1)$$

де z_1, z_2 – числа зубів; f_{r1}, f_{r2} – частоти обертання сполучених коліс.

Змінна погрішність у кроці зачеплення й порушення співвідносності (перекося осей валів) викликають вібрацію на частотах обертання валів обох коліс і (або) на модуляційних частотах:

$$k \times f_{r1}, k \times f_{r2} \text{ і } m \times f_z \pm k \times f_{r1}, m \times f_z \pm k \times f_{r2}.$$

Помилка виготовлення кожного з коліс зубчастої пари приводить до вібрації, пов'язаної із числом зубів діляльного колеса зубонарізного верстата рівнянням

$$f_g = z_g \times k \times f_r, \quad (2)$$

де z_g – число зубів діляльного колеса зубонарізного верстата, $k = 1, 2$.

Амплітуда гармонік у спектрі, викликаних вібраціями від зубчастих пар, у значній мірі залежать від переданою зубчастою парою навантаження. На холостому ходу зубчаста пара генерує дуже слабкий сигнал, порівнянний із власним шумом віброаналізатора. З ростом зусиль, переданих редуктором, зростає величина вібрації від зачеплення зубів. Така особливість роботи зубчастої пари вимагає, для виявлення тенденцій зміни технічного стану редуктора, проведення вимірів при однакової, бажане великий, навантаженню. Якщо вимірювання, що різняться за часом проведення, будуть виконані при різних навантаженнях редуктора, то всі результати цих вимірів виявляться непридатними для порівняльного аналізу при пошуку змін, що відбулися у редукторі.



Вібрація від пересполучення зубів є нестационарною в тому плані, що має у своєму складі кілька фаз «перекочування», точніше кажучи, «проковзування» зуба по зубу у зубчастих зачепленнях. Кожна із цих фаз збуджує коливання різної частоти, близькі по частоті до частоти пересполучення зубів. Кожний із зубів, у силу своїх специфічних відмінностей від інших зубів, генерує свої частоти. На це накладається ще й те, що пари зубів «що взаємно обкатуються» постійно міняються. Звичайно це приводить до того, що в спектрі вібрації зубчастої передачі з'являється шумовий компонент, дисперсія якого міняється з наробітком відповідно до розвитку локального зношування, тобто зменшується в процесі приробляння коліс, практично незмінна при нормальній роботі в досить тривалому інтервалі часу і росте по експоненті в процесі інтенсивного зношування.

Дуже часто це явище виникає не тільки на частоті пересполучення зубів, але й на частоті власних резонансів елементів зубчастої пари або редуктора. Це виникає з наступної причини. Мікроудари в зубчастому зачепленні збуджують коливання у досить широкому діапазоні, але максимальна амплітуда коливань буде повністю відповідати стандартній фізичній картині коливань, на частоті власного резонансу того або іншого близько розташованого елемента редуктора. Ця частота власного резонансу визначається конструкцією редуктора. Користуватись діагностикою стану зубчастої пари не по частоті пересполучення зубів, а по частотах власного резонансу елементів редуктора доводиться при діагностиці технічного стану швидкохідних мультиплікаторів, де частота пересполучення зубів може бути дуже високою і віброакустичний сигнал буде сильно загасати. Реєстрація високочастотного компонента вібрації, яка генерується зубчастою парою, ускладнена через великий декремент загасання високочастотних коливань, особливо у зазорах підшипників.

Шумовий компонент у спектрі вібрації, накладаючись на дискретні власні частоти деталей зубчастої передачі, може викликати резонанс і появу нових спектральних складових. До цього ж може приводити, наприклад, виникнення параметричного резонансу в прямозубих передачах, з появою відривних віброударних коливальних режимів.

Експлуатаційні дефекти зубчастої передачі умовно можна розділити на наступні види: абразивне зношування зубчастого зачеплення, викрашування зубів, тріщини і злам зубів, а також заїдання зубчастих коліс. Оскільки всі вони є факторами, що обурюють, властивості вібраційного сигналу (форма сигналу і спектр вібрації, особливо огинаючий спектр) при їх наявності завжди міняються. Зокрема, у спектрі можуть мінятися співвідношення між основними частотами порушення, з'являтися нові спектральні складові, значно змінюється рівень шумового компонента. На кривій сигналу вібрації можуть з'являтися ударні імпульси і змінюватись співвідношення між періодичними і шумовими складовими. У той же час слід ураховувати, що істотні зміни форми й спектра сигналу вібрації в основному спостерігаються при розвинених ушкодженнях.

На ранній стадії розвитку дефектів доцільно використовувати інші методи аналізу віброакустичного сигналу, такі як спектральний аналіз, аналіз спектра вузькополосного огинаючого спектра, вейвлет-перетворення віброакустичного сигналу та ін.

Більші проблеми при діагностуванні дефектів зубозачеплення у редукторах і мультиплікаторах різного типу на практиці викликає відсутність нормативної інформації із припустимих рівнів як усього вібросигналу, так і окремих його складових і гармонік.

Тому дуже велике значення в діагностиці стану зубчастих пар здобуває процедура порівняння спектра поточного вібросигналу зі спектром вібросигналу, зареєстрованого в попередньому вимірі, або у вимірі, який був виконаний на свідомо справному редукторі.

Такий підхід іноді називають «порівнянням з опорним спектром», причому вважається, що в якості опорного спектра необхідно використовувати сигнал з редуктора, стан якого свідомо повинне бути гарним, бездефектним. Такий підхід до діагностики редукторів, хоча і викликає у звичайних умовах досить суперечливі думки, стосовно до оцінки стану редукторів, напевно, є майже єдино можливим.

Крім того, різним типам форми зубчастих пар відповідають свої, відповідні до бездефектного стану, рівні вібрації. У підсумку в різних редукторах, навіть близьких по потужності, завжди різні рівні оцінки стану зубчастої пари, такі як «попередження» і «аварія».

Дефекти зачеплення зубів проявляються у передачах на своїй фінальній, кінцевій, звичайно вже необоротній фазі розвитку.

Документом, що нормує вібрацію корпусів редукторів (мультиплікаторів), є діаграма Блейка. Вона розроблена для трьох параметрів віброакустичного сигналу: пікового значення віброприскорення a_p , амплітудного значення віброшвидкості V_p , і розмаху коливань S_{p-p} , тому її застосування в питаннях



практичної вібродіагностики ускладнене через необхідність перерахування одних величин в інші з обліком гармонійних складових віброакустичного сигналу або вимірювання додаткових параметрів вібросигналу.

На сьогоднішній день існує велика кількість різних видів вимірів параметрів механічних коливань, що дозволяють оцінювати стан найрізноманітнішого встаткування. Залежно від розв'язуваних завдань можуть мінятися настроювання вимірів - одиниці вистави, смуги частот, час виміру, тип і кількість усереднень, однак, самі виміри залишаються практично незмінними.

Для добування корисної інформації про дефекти й ступеня їх небезпеки використовуються сучасні математичні методи аналізу випадкових процесів і ідентифікації систем: дослідження максимальних і мінімальних величин вібрації (аналіз Пік-фактору, метод ударних імпульсів, аналіз, що обгинає), спектральний аналіз на основі швидкого перетворення Фур'є, спектральний аналіз сигналів, перетворення сигналів з використанням безперервних і імпульсних вейвлетів і т.п. [3].

Для наочної ілюстрації була проведена класифікація розглянутих вище методів за такими критеріями як поширеність апаратної реалізації, придатність для експрес аналізу і періодичного моніторингу, перешкодозахищеність, необхідність використання апріорних даних, області застосування і т.д. Нижче, у таблиці 1, по п'ятибальній шкалі (5 – максимальна оцінка, прочерк - відсутність можливості) наведені порівняльні оцінки «загальнодоступних» методів діагностики за зазначеними вище критеріями.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики різних методів діагностики

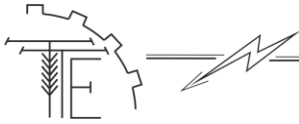
Метод діагностики	Синхронне нагромадження	Часовий аналіз	Спектр	Виділення, що обгинає	Експрес	Пік-фактор	Вейвлет
Апаратна реалізація	2	3	4	3	2	4	1
Необхідність навчання	2	5	4	4	1	2	5
Експрес - аналіз (по одному виміру)	-	-	4	3	5	2	5
Періодичний моніторинг	-	3	5	3	4	4	3
Ідентифікація дефекту	-	2	5	5	-	-	5
Оцінка стану змащення	-	-	3	3	-	5	-
Необхідність використання додаткових даних	-	3	4	5	-	-	4
Перешкодозахищеність	4	4	4	3	3	4	4
Обмеження на використання			4		5		

4. Висновки

При системному використанні сучасних діагностичних методів вдається уникнути серйозного ушкодження елементів трансмісії і скоротити експлуатаційні витрати на обслуговування сільськогосподарських машин внаслідок того, що ремонт проводиться тільки тоді, коли результати вимірювань указують на його необхідність.

Список використаних джерел

1. Коновалов А. И., Лукьяненко О.Н., Войтюк В. Д. *Техническая диагностика транспортных средств*. К. Нежин: Аспект – полиграфия, 2010. 120с.
2. Смашнюк О. В. *Аналітичні дослідження зміни технічного стану сільськогосподарської техніки для прогнозування її експлуатаційної надійності*. Вісн. ХНТУСГ ім. П. Василенка. Х., 2010. Вип. 100: Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. С. 174-178.
3. Войтюк В. Д., Щербатий П. Б. *Перспективні напрями розвитку методів і засобів технічної діагностики сільськогосподарських машин*. Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Х., 2010. Вип. 93:



- Механізація сільськогосподарського виробництва, т. 2. С. 201 - 208.
4. Веселовська Н. Р., Скоркін О. А., Котляр О. В., Ключко Ю. О., Старченко О. П. . *Інформаційний фонд релевантності конструкторсько-технологічних видів крупногабаритних з'єднань для передачі крутного моменту*. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Технології в машинобудуванні № 34 (1310), 2018
 5. Іскович-Лотоцький Р. Д., Зелінська О. В., Веселовський Я. П. *Оцінювання ефективності функціонування технологічного комплексу з використанням системного підходу*. Всеукраїнський науково-технічний журнал: "Техніка, енергетика, транспорт в АПК. №2 (97), 2017. Вінниця. С.109-114.
 6. Петров В. М. *Соціальні питання у технічному переоснащенні сільськогосподарського виробництва*. Економіка АПК. 2005. No 3. С. 118-125.
 7. Wilfried Reimche, Ulrich Sьdmersen, Oliver Pietsch, Christian Scheer, Fiedrich-Wilhelm Bach. *Basics of vibration monitoring for fault detection and process control*. 3rd Pan-American Conference for Nondestructive Testing, PANNDT, 2-6 June, 2003. 10 p.
 8. Torbatian M., Kahaei M. H., Poshtan J. *Bearing fault detection using Morlet wavelets*. 18th international Conference on electricity, Tehran, Tavanir. 21-23 October 2003. 5 p.
 9. Kahaei M. H., Torbatian M., Poshtan J. *Fault detection of bearings using Haar wavelets*. Proceedings of IEEE international conference, GCC. 2004. PP. 176-179.
 10. Marc Thuillard. *A review of wavelet networks, wavenets, fuzzy wavenets and their applications*. ESIT 2000, Aachen, Germany. 14-15 September 2000. 12 p.
 11. Khalid F. Al-Raheem, Asok Roy, K. P. Ramachandran, D. K. Harrison, Steven Grainger. *Rolling element bearing fault diagnosis using Laplace-wavelet envelope power spectrum*. EURASIP Journal on Applied Signal Processing. 2007. Vol. 2007, Issue 1. 14 p.
 12. J. C. Garcha-prada, C. Castejyn, O. J. Lara. *Incipient bearing fault diagnosis using DWT for feature extraction* . 12th Iftomm world congress in mechanism and machine science, Besamon (France). 17-21 June 2007. 6 p.
 13. Liu Qipeng, Yu Xiaoling And Feng Quanke. *Fault diagnosis using wavelet neural networks*. Neural Processing Letters. 2003. Vol. 18, Issue 2. PP. 115-123.
 14. Brian T. Holm-Hansen, Robert X. Gao, Li Zhang. *Customized wavelet for bearing defect detection*. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. 2004. Vol. 126, Issue 4. PP. 740 - 745.

References

- [1] Konovalov, A. Y., Lukianenko, O.N., Voitiuk, V. D. (2010). *Tekhnicheskaya dyagnostyka transportnykh sredstv* [Technical diagnostics of vehicles]. K. Nezhyn: Aspekt – polyhrafyia, 120p. [In Russian]
- [2] Smashniuk, O. V. (2010). *Analitichni doslidzhennia zminy tekhnichnoho stanu silskohospodarskoi tekhniki dlia prohnozuvannia yii ekspluatatsiinoi nadiinosti*. [Analytical studies of changes in the technical condition of agricultural machinery to predict its operational reliability] Visn. KhNTUSH im. P. Vasylenka. X., Vyp. 100: Problemy nadiinosti mashyn ta zasobiv mekhanizatsii silskohospodarskoho vyrobnytstva. S. 174-178. [in Ukrainian]
- [3] Voitiuk, V. D., Shcherbatyi, P. B. (2010). *Perspektyvni napriamy rozvytku metodiv i zasobiv tekhnichnoi diahnostryky silskohospodarskykh mashyn*. [Promising directions of development of methods and means of technical diagnostics of agricultural machines.] Visnyk KhNTUSH im. P. Vasylenka. X., 2010. Vyp. 93: Mekhanizatsiia silskohospodarskoho vyrobnytstva, t. 2. S. 201 - 208. [in Ukrainian]
- [4] Veselovska, N. R., Skorkin, O. A., Kotliar, O. V., Klochko, Yu. O., Starchenko, O. P. (2018). *Informatsiyni fond relevantnosti konstruktorsko-tekhnologichnykh vydiv krupnohabarytnykh ziednan dlia peredachi krutnogo momentu*. [Information fund of relevance of design and technological types of large-size connections for torque transmission.] Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Seriya: Tekhnologii v mashynobuduvanni № 34 (1310). [in Ukrainian]
- [5] Iskovych-Lototskyi, R. D., Zelinska, O. V., Veselovskyi, Ya. P. (2017). *Otsiniuvannia efektyvnosti funktsionuvannia tekhnologichnoho kompleksu z vykorystanniam systemnogo pidkhodu*. [Evaluation of the efficiency of the technological complex using a systems approach.] Vseukrainskyi naukovotekhnichnyi zhurnal: "Tekhnika, enerhetyka, transport v APK. №2 (97). Vinnytsia. S.109-114. [in Ukrainian]
- [6] Petrov, V. M. (2005). *Sotsialni pytannia u tekhnichnomu pereosnashchenni silskohospodarskoho vyrobnytstva*. [Social issues in the technical re-equipment of agricultural production.] Ekonomika APK.



- No 3. S. 118-125. [in Ukrainian]
- [7] Wilfried Reimche, Ulrich Sьdmersen, Oliver Pietsch, Christian Scheer, Fiedrich-Wilhelm Bach (2003). *Basics of vibration monitoring for fault detection and process control*. 3rd Pan-American Conference for Nondestructive Testing. PANNDT, 2-6 June. 10 p.
- [8] Torbatian, M., Kahaei, M. H., Poshtan, J. (2003). *Bearing fault detection using Morlet wavelets*. 18th international Conference on electricity, Tehran, Tavanir. 21-23 October . 5 p.
- [9] Kahaei, M. H., Torbatian, M., Poshtan, J. (2004). *Fault detection of bearings using Haar wavelets*. Proceedings of IEEE international conference, GCC. PP. 176-179.
- [10] Marc Thuillard (2000). *A review of wavelet networks, wavenets, fuzzy wavenets and their applications*. ESIT 2000, Aachen, Germany. 14-15 September. 12 p.
- [11] Khalid, F. Al-Raheem, Asok Roy, K. P. Ramachandran, D. K. Harrison, Steven Grainger. (2007) *Rolling element bearing fault diagnosis using Laplace-wavelet envelope power spectrum*. EURASIP Journal on Applied Signal Processing. Vol. 2007, Issue 1. 14 p.
- [12] Garcha-prada, J. C., Castejyn, C., Lara O. J. (2007). *Incipient bearing fault diagnosis using DWT for feature extraction* . 12th Iftomm world congress in mechanism and machine science, Besamon (France). 17-21 June. 6 p.
- [13] Liu Qipeng, Yu Xiaoling And Feng Quanke. (2003). *Fault diagnosis using wavelet neural networks*. Neural Processing Letters. Vol. 18, Issue 2. PP. 115-123.
- [14] Brian, T., Holm-Hansen, Robert X. Gao, Li Zhang. (2004). *Customized wavelet for bearing defect detection*. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. Vol. 126, Issue 4. PP. 740 - 745.

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ДИАГНОСТИКИ ДЕФЕКТОВ ЗУБОЗАБЕЗПЕЧЕНИЯ В РЕДУКТОРЕ САМОХОДНЫХ СИЛЬСЬКОРОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Интенсивное использование технологий сельскохозяйственного производства признало интенсивную характеристику сельскохозяйственных производителей, что позволило представить необходимость чаще диагностики, технического обслуживания и ремонта.

Такой переход обусловлен объективными тенденциями развития сельскохозяйственных машин. Решение этой проблемы предполагает разработку и создание эффективных средств мониторинга и диагностики состояния элементов трансмиссий сельскохозяйственных машин; проведение оценки величины остаточного ресурса отдельных элементов системы и исследования процессов преобразования энергии в этих элементах; построение математических моделей, на основе которых возможно прогнозировать наступление опасных повреждений в зависимости от условий эксплуатации оборудования. Средства диагностики должны обеспечивать выполнение оценки состояния рабочих поверхностей взаимодействующих между собой элементов трансмиссии, контроля износа их поверхностей и оценку работоспособности узла в целом или кинематической пары без их разборки в период эксплуатации. Время сбора диагностической информации и выделения информативных признаков и параметров сигналов необходимо минимизировать. Методы контроля должны быть, по возможности, простыми, а средства, их реализующих, - компактными, со встроенными в них алгоритмами обработки информации и принятия решений.

Наиболее информативным параметром, несет максимальную информацию о состоянии узла работающей машины или агрегата, являются механические колебания (вибрации) - упругие волны, распространяющиеся в сплошных средах.

Измерения виброакустических характеристик на подшипниковых опорах механизмов позволяет распознать такие дефекты и повреждения как дисбаланс и перекос валов; повреждения подшипников скольжения и качения; повреждения зацеплений в зубчатых передачах; повреждения муфт; повреждения электрических машин.

При системном использовании современных диагностических методов удастся избежать серьезного повреждения элементов трансмиссий и сократить эксплуатационные расходы на обслуживание сельскохозяйственных машин вследствие того, что ремонт проводится только тогда, когда результаты измерений указывают на его необходимость.

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, диагностика, дефектация, зацепления зубов, алгоритм.

Ф. 2. Табл. 1. Лит. 14.

**DEVELOPMENT OF AN ALGORITHM FOR DIAGNOSING DENTAL DEFECTS IN REDUCERS OF SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINES**

Intensive use of agricultural production technologies has recognized the intensive characteristics of agricultural producers, which allowed to present the need for frequent diagnostics, maintenance and repair.

This transition is due to objective trends in the development of agricultural machinery. The solution to this problem involves the development and creation of effective tools for monitoring and diagnosing the state of the transmission elements of agricultural machinery; assessment of the value of the residual life of individual elements of the system and the study of energy conversion processes in these elements; construction of mathematical models on the basis of which it is possible to predict the occurrence of dangerous damage depending on the operating conditions of the equipment. Diagnostic means must ensure the assessment of the condition of the working surfaces of the interacting transmission elements, control of wear of their surfaces and assessment of the performance of the unit as a whole or the kinematic pair without their disassembly during operation. The time of collection of diagnostic information and allocation of informative signs and parameters of signals should be minimized. Control methods should be as simple as possible, and the means that implement them - compact, with built-in algorithms for information processing and decision-making.

The most informative parameter that carries the maximum information about the state of the unit of a working machine or unit is mechanical oscillations (vibrations) - elastic waves propagating in continuous media.

Measurement of vibroacoustic characteristics on bearing supports of mechanisms allows to recognize such defects and damages as imbalance and skew of shafts; damage to plain and rolling bearings; damage to gears in gears; damage to couplings; damage to electrical machines.

With the systematic use of modern diagnostic methods it is possible to avoid serious damage to the transmission elements and reduce operating costs for maintenance of agricultural machinery due to the fact that the repair is carried out only when the measurement results indicate its need.

Key words: agricultural machines, diagnostics, defecting, gearing, algorithm.

F. 2. Tabl. 1. Ref. 14.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Веселовська Наталія Ростиславівна – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Ялина Ольга Олександрівна аспірантка кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vasyl.yuriiovych@gmail.com).

Янішевський Василь Юрійович – аспірант кафедри «Машин та обладнання сільськогосподарського виробництва» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: vasyl.yuriiovych@gmail.com).

Веселовская Наталья Ростиславовна – доктор технических наук, профессор заведующий кафедры «Машины и оборудование сельскохозяйственного производства» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: wnatalia@ukr.net).

Ялина Ольга Александровна – аспирантка кафедры «Машин и оборудования сільськогосподарського виробництва» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: vasyl.yuriiovych@gmail.com).

Янишевский Василий Юрьевич – аспирант кафедры «Машин и оборудования сільськогосподарського виробництва» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: vasyl.yuriiovych@gmail.com).

Veselovska Nataliya – PhD, Professor of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, Ukraine, 21008, e-mail: wnatalia@ukr.net).

O. Yalina – post-graduate student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine).

Yanishevskiy Vasyliy – Yanishevsky Vasyly Yuriyovych - post-graduate student of the Department "Machinery and Equipment of Agricultural Production" of Vinnytsia National Agrarian University (3 Sonyachna Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine).