

УДК 629.341

DOI: 10.30977/VEIT.2022.21.0.07

Вібраційні характеристики коробок передач тракторів

Мигаль В. Д.¹, Аргун Щ. В.², Гнатов А. В.²

¹Державний біотехнологічний університет, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Робота присвячена розробці вібраційного методу оцінки якості і виявленню конструктивних і виробничих дефектів коробок передач тракторів (КПП). Проведено натурні експериментальні дослідження вібродіагностичних характеристик КПП: вимірювання і спектральний аналіз вібрації; виявлення статистичних граничних значень структурних вібраційних параметрів та їх зв'язок із технічним станом тракторів; зіставлення вібраційних характеристик з допустимими вібраціями, які не впливають на прискорення процесу зносу КПП. Всі дослідження проводилися на КПП тракторів Т150К, ХТЗ-170, Т-17221 «Харківського тракторного заводу». Встановлено, що рівні вібрації коробок передач на стадії виготовлення перевищують допустимі вібрації на 10-25 дБ. Основною причиною прискореного розвитку несправностей і зниження ресурсу більшості механізмів коробки передач є підвищення вібронавантаження у 2,5-31,6 разів над допустимими рівнями. Вібраційні методи дозволяють проводити діагностику стану КПП на стадіях проектування, виготовлення і експлуатації і розробити способи вдосконалення КПП.

Ключові слова: вібродіагностика, вібрації, діагностика, коробка передач трактора.

Вступ

Підвищення ефективності, якості, надійності та економічності транспортних засобів є однією з важливіших задач сучасного суспільства. На це направлена увага науковців і розробників усього світу [1–3]. Особливе місце серед цих розробок займає удосконалення існуючого обладнання [4], і способів діагностики [5], технічного обслуговування і ремонту [6]. Все вище сказане безпосередньо стосується і тракторів. Бо в сільському господарстві трактори виконують до 80 % технологічних операцій. Від якості і надійності тракторів залежить собівартість продукції рослинництва і ефективність агропромислового виробництва [7].

Основним фактором, що обмежує ефективне використання тракторів в сільському господарстві є проблема недостатньої надійності тракторів [8]. Це посилюється тим, що сільськогосподарське виробництво залежить не тільки від виробничих, але і від природних умов [9]. При експлуатації тракторів в

сільському господарстві під впливом різних факторів посилено зношуються їх деталі і вузли. Показником, що визначає величину зносу, є залишковий ресурс агрегатів і вузлів техніки [10].

Аналіз публікацій

Сільськогосподарська техніка відповідає очікуванням користувача, якщо вона відповідає ряду функціональних, технологічних, ергономічних, естетичних стандартів і стандартів безпеки [11]. Якість тракторів визначається широкою сукупністю властивостей [12]. Кожна з цих властивостей характеризується кількома параметрами, що кількісно виражаються конкретними показниками, які визначають їх придатність ефективно виконувати певні вимоги у відповідності до призначення.

Основні функціональні характеристики та показники тракторів задаються на стадії проектування (П) і доводки (Д), втілюються в життя при виготовленні та складанні (С), а також при введенні в експлуатацію (В), та

реалізуються в процесі складних умов експлуатації (E). Надійність і ресурс тракторів в часі визначається комплексом фактичного стану якості (K):

$$K=f(\Pi, D, C, B, E)\pm F, \quad (1)$$

де F – похибка визначення складових.

Таким чином, властивості, які визначають якість і надійність систем і механізмів трактора може бути охарактеризована великим набором взаємопов'язаних між собою конструктивних, технологічних, функціональних параметрів стану і умов експлуатації.

Коробка передач є однією з головних складових трактора [13]. Тому актуальним є підвищення експлуатаційної надійності коробок передач тракторів (КПТ), що вимагає виявлення зв'язків між показниками виразу (1), які і формують цю надійність. Крім того, важливою є задача розробки заходів з контролю якості проектування, виготовлення, експлуатації і ремонту КПТ.

Основною проблемою вирішення такої задачі є виявлення впливу кожної складової, що визначені у виразі (1), на експлуатаційну надійність КПТ.

У роботі [14] представлено порівняльний аналіз даних контрольних випробувань тракторів на машинно-випробувальних станціях. Аналіз показав, що рівень безвідмовності європейських та американських тракторів в кілька разів вища, ніж російських. Так, у російських тракторів напрацювання на складну відмову знаходяться в діапазоні 415-470 мото-год, тоді як у зарубіжних тракторів аналогічні показники – в діапазоні 1480-5500 мото-год. Ці дані свідчать про високу якість проектування і технології виробництва тракторів американського і європейського походження.

Важливо відзначити, що основними відмовами коробок передач тракторів є:

- підшипникові вузли (зношення поверхонь кочення, руйнування спряжень);
- зубчасті передачі (злом, граничне спрацювання, зминання зубів);
- граничне спрацювання шліців, опорних шийок, гідроліфтів;
- заїдання і спрацювання вилок переключення швидкостей.

Тому для виявлення стану КПТ необхідно діагностувати всі ці елементи.

Автори [15] запропонували Support Vector Machines Method, який дозволяє визначити один з трьох видів несправностей КПТ: несправність шестерні, несправність підшипника або гібридну несправність, яка включає в себе і несправність шестерні, і несправність підшипника одночасно.

В роботі [16] запропонована система діагностики колісних тракторів, яка встановлена в комп'ютері. Комп'ютер під'єднаний через USB до I-7565 до перетворювача протоколів USB/DeviceNet, що працює як «ведучий». Перетворювач підключений через Controller Area Network до трьох пристроїв («підлеглих») збору даних, які фіксують дані від датчиків, встановлених на колісному тракторі. «Підлегли» пристрої мають функцію концентратора даних. Вони ідентифікуються за ідентифікаційними адресами та оснащені чотирма картками збору вхідних (вихідних) даних, що відповідають діапазнам та типам захоплених сигналів.

Проведений аналіз методів діагностування КПТ показав, що найбільш поширеними є методи, які використовують вібраційні характеристики коробки передач. Це пов'язано з тим, що у вібраційних сигналах міститься вся необхідна інформація про структурні параметри всіх компонентів, їх зміну при взаємодії деталей, в залежності від навантаження і швидкісних режимів [17,18].

Проведені авторами цієї статті дослідження вібрації різних агрегатів тракторів підтверджують те, що агрегати тракторів мають високі рівні вібрації, рис. 1.

Крім того, існує велика кількість публікацій в яких представлено методи, що використовують вібрації для визначення стану коробок передач.

Наприклад в роботах [19,20] представлено методи класифікації несправностей КПТ, засновані на нечіткій системі виводу. Принцип методу полягає в тому, що сигнал вібрації, що поступає від п'єзоелектричного перетворювача, визначає стан КПТ: «Справна КПТ», «Зубчаста передача зі зношеною поверхнею зуба» і «Зубчаста передача зі зламанною поверхнею зуба». Виміри відбуваються на різних робочих швидкостях.

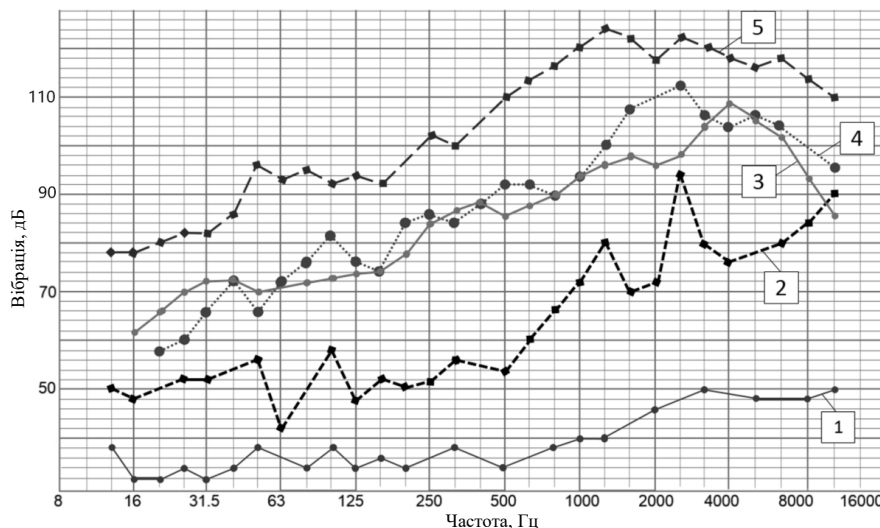


Рис. 1. Спектрограми максимальних віброприскорень (дБ) елементів тракторів Т-150К, їх агрегатів та машинного обладнання: 1 – електродвигун типу АН (потужність $P=45$ кВт, частота обертання $f=3000$ хв. $^{-1}$); 2 – редуктор РЦОТ-480-1,6 (потужність $P=12000$ кВт, частота обертання $f=3000$ хв. $^{-1}$); 3 – міст трактора при частоті обертання 2000 хв. $^{-1}$; 4 – роздавальна коробка трактора при частоті обертання 2000 хв. $^{-1}$; 5 – гільза циліндру дизеля СМД-14А

У статті [21] була представлена система класифікації, заснована на поєднанні виявлення вібрацій та штучних нейронних мереж для класифікації трьох станів коробки передач. Характеристики стану редуктора були отримані з аналізу звукових сигналів в часовій і в частотній областях. Дана система використовує метод швидкого перетворення Фур'є.

В статті [22] досліджується вплив пошкодження шестерні на сигнал вібрації шляхом аналізу вібрації КПП і пропонується метод діагностики ушкоджень КПП у відповідності до різних характеристик і частотної реакції сигналу і метод, який використовує поділ даних і модель AR для діагностики пошкоджень деталей шестерні.

Підсумовуючи огляд існуючих методів, можна сказати, що вище розглянуті методи діагностики КПП призначені для виявлення пошкоджень КПП, але не призначені для визначення якості КПП на етапі проектування і виготовлення. Крім того, в даних роботах не представлено чіткого опису процесу проведення діагностики, не дані допустимі і номінальні значення вібрації в спектрі робочих частот.

Мета та постановка задачі

Метою досліджень є оцінка якості проектування і виготовлення коробок передач тракторів за їх вібраційними характеристиками

шляхом виявлення конструктивних і виробничих дефектів, що дозволить розробити способи їх вдосконалення.

Основними методами досліджень є:

- виявлення статистичних даних про граничні значення структурних вібраційних параметрів та їх зв'язок із технічним станом тракторів;
- натурні експериментальні дослідження вібродіагностичних характеристик тракторів;
- вимірювання і спектральний аналіз вібрації коробки передач;
- зіставлення вібраційних характеристик з допустимими вібраціями, які не впливають на прискорення процесу зносу деталей трактора.

Об'єкт дослідження – вібраційні процеси коробок передач тракторів «Харківського тракторного заводу» (Т150К, ХТЗ-170, Т-17221).

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести натурні експериментальні дослідження вібродіагностичних характеристик тракторів;
- провести дослідження щодо вимірювання вібродіагностичних показників та здійснено спектральний аналіз вібрації коробки передач;
- провести оцінку якості виготовлення де-

талей і збирання коробок передач тракторів за аналізом розкиду максимальних і мінімальних рівнів вібрації вибірки коробок передач.

Методика вимірювання вібрації коробок передач

Для оцінки рівнів вібрації віддано перевагу віброприскоренню, дБ.

Віброприскорення охоплює широкий частотний діапазон вібрацій (Гц) створюваних підшипниковими вузлами, зубчатими передачами, валами, шліцьовими з'єднаннями та парами тертя механізмів коробки передач [18].

Основні характеристики вібраційних сигналів, які використані для оцінки якості коробки передач тракторів – пропорційна (або близька до пропорційної) залежність вібрації від навантаження і частоти обертання, зазору, значень кінематичних і геометричних похибок [23]. Ці властивості дозволяють, використовуючі сучасні віброаналізатори і комп'ютерні технології, спостерігати вібрації в реальному часі і зіставляти реакцію всіх компонентів структурних, функціональних і динамічних властивостей складових КПП, зв'язаних кореляційно, зі зміною конструкції, технології виготовлення, робочих процесів, режимів роботи, швидко одержувати інформацію про технічний стан та підвищити точність діагнозу.

Вимірювання вібрації КПП проводились під час приймально-здавальних випробувань на обкатних стендах при вхідних швидкостях обертання первинного валу 1000 хв.^{-1} і 2000 хв.^{-1} в режимі холостого ходу. Рівні вібрації вимірювались в третьоктавних і вузьких смугах частот від 5 Гц до 10 кГц.

Рівні віброприскорень вимірювались в децибелах (дБ) за середнім квадратичним значенням віброприскорень. За нульовий рівень віброприскорення прийнято значення $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ [17]. Основні вимірювання вібрації проводились з використанням п'єзоелектричного віброперетворювача 4371 і віброаналізаторів 2120 і 3513 фірми "Bruel & Kjaer" виробництва Данії.

Точки контролю і умови вимірювання вібрації КПП

Трактори Т150К, ХТЗ-170, Т-17221 комплектуються двовальними ступінчастими коробками передач, з шестернями постійного зче-

плення.

Трактор Т-150К забезпечений дво-діапазонною роздавальною коробкою з постійним приводом до заднього моста і приводом, що відключається, до переднього моста. Вторинні вали відрізняються лише шестернями за кількістю зубів.

На первинному валі встановлені ведучі шестерні постійного зчеплення. На вторинному валу встановлено фрикційні гідропідтискні муфти разом з ведучими шестернями. У механічних коробках передач на другому валу замість гідропідтискних муфт встановлюють механічні рухомі муфти.

В корпусі роздавальної коробки встановлено первинний вал, вали приводу відбору потужності, вали приводу переднього і заднього ведучих мостів. На валах жорстко і рухомо встановлено шестерні вмикання переднього моста, транспортного і робочого рядів, насосів гідросистеми коробки передач, рульового управління і гідравлічної начіпної системи.

Для вимірювання вібрації експериментально вибрано 8 точок на корпусі підшипникових опор. Ці точки найбільш наближені до джерел вібрації у відповідності до загальних рекомендацій для вибору точок вимірювання вібрації (рис. 2). Тут зміна вібрації з достатньою чутливістю відтворює зміну технічного стану деталей і вузлів коробки передач.

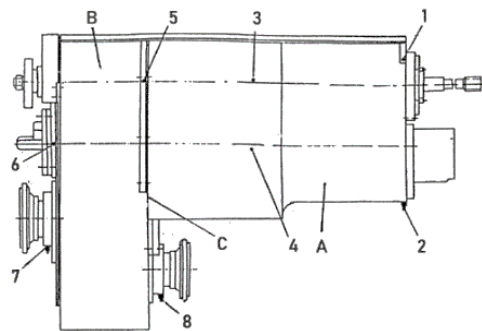


Рис. 2. Коробка передач трактора з роздавальною коробкою: 1-8 – точки контролю вібрації; А – коробка передач; В – роздавальна коробка; С – плоскість з'єднання коробки передач і роздавальної коробки

При виборі місць і кількості точок контролю вібрації враховувалась можливість одержання необхідної інформації про стан деталей КПП. На шляху поширення вібрації від джерела збудження вібрації (підшипників, шестерень і т.п.) до точок контролю віб-

рації є жорсткі елементи з мінімальною кількістю спряжень. Кріплення віброперетворювача в контрольних точках здійснювалось шпилькою і магнітом (рис. 3).

Вимірювання вібрації КПП виконувались на обкатному стенді в режимі холостого ходу. Придатність обкатного стенду до вібраційного діагностування коробок передач визначалася за рівнями вібраційних перешкод, які передаються від стенду до КПП.

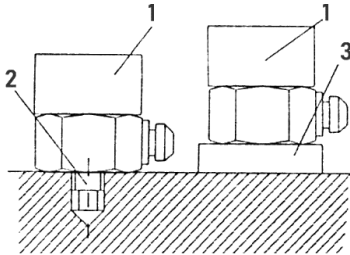


Рис. 3. Способи кріплення віброперетворювача: 1 – датчики; 2 – шпилька; 3 – магніт

Рівні перешкод створюваних стендом в точках контролю були на 8 дБ (крім частот 20 Гц і 80 Гц) менші ніж рівні вібрації коробки передач, що забезпечувало вимірювання фактичних значень вібрації коробки передач в заданій області частот.

Процес досліджень починався після обкатки коробки передач протягом 30 хв. з чергуванням вмикання діапазонів передач КПП. В кожній точці контролю визначалися рівні вібрації в третьоктавних і вузьких смугах частот від 5 Гц до 10 кГц. Результати представлені на тих частотах, на яких перешкоди

стенду не впливають на результати вимірювання вібрації КПП (вище 20 Гц), а аналіз проводився на частотах понад 80 Гц, де перешкоди стенду не впливають.

Визначення рівнів вібрації у вузьких смугах частот проводились для розпізнавання джерел вібрації.

В результаті досліджень було проведено вимірювання вібрації 17 коробок передач тракторів і одержано більше трьохсот третьоктавних спектрограм вібрації при різних швидкісних режимах в залежності від включення тієї чи іншої передачі і діапазону коробки передач і частоти обертів привода стенда.

Вибірка з 17 виробів для машин, що серійно випускаються, згідно стандарту РД 50-644-87 цілком достатня для оцінки рівня якості машин за параметрами вібрації. Контроль стану деталей піддослідних КП проводився відділом контролю заводу ХТЗ шляхом їхнього обміру.

Одержані спектрограми вібрації були згруповані за точками контролю, швидкісними режимами і включеннями тієї чи іншої передачі та діапазону передач.

Оцінка якості проектування коробок передач трактора Т-150К

Вібраційні характеристики коробок передач трактора Т150К без гідропідтискних муфт при частоті обертання вхідного валу 1000 хв^{-1} наведено на рис. 4, а при частоті обертання 1000 хв^{-1} та 2000 хв^{-1} на рис. 5.

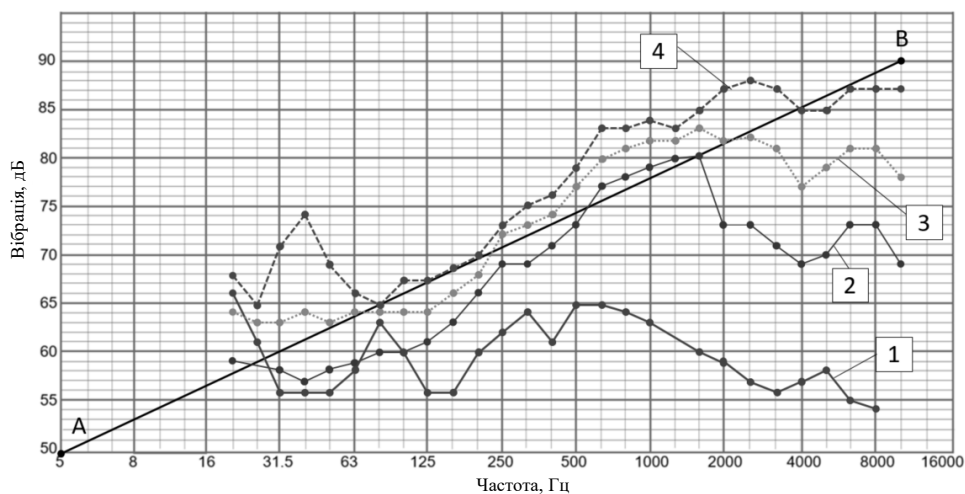


Рис. 4. Спектрограми рівнів вібрації КПП в точці вимірювання 1: 1 – рівень вібрації перешкод; 2 – мінімальні рівні вібрації; 3 – середні арифметичні рівні вібрації; 4 – максимальні рівні вібрації; пряма АВ – максимальні допустимі рівні вібрації

З рис. 4 видно, що рівні вібрації перешкод стенду задовольняють (крім частоти 80 Гц) вимогам придатності стенду до вимірювання рівнів вібрації КПП. Джерелом вібраційних перешкод на частоті 80 Гц є приводний електродвигун обкатного стенду. Вібрації електродвигуна передаються як по валу приводу, так і на корпус в точку вимірювання 1, рис 2. В інших точках вимірювання вібрації таких перешкод немає. Причиною розкиду мак-

симальних і мінімальних рівнів вібрації на частоті 40 Гц (рис. 4, спектр 4) є неспіввісність валів коробки передач і стенду. Причиною високих рівнів вібрації на частоті обертання 20 Гц (рис. 4) є дисбаланс валів коробки передачі привода стенду. При вимірюванні фактичних рівнів вібрації коробки передач в області частот від 100 Гц до 10 кГц, вібраційних перешкод стенда вимірювання вібрації КПП не спостерігалось.

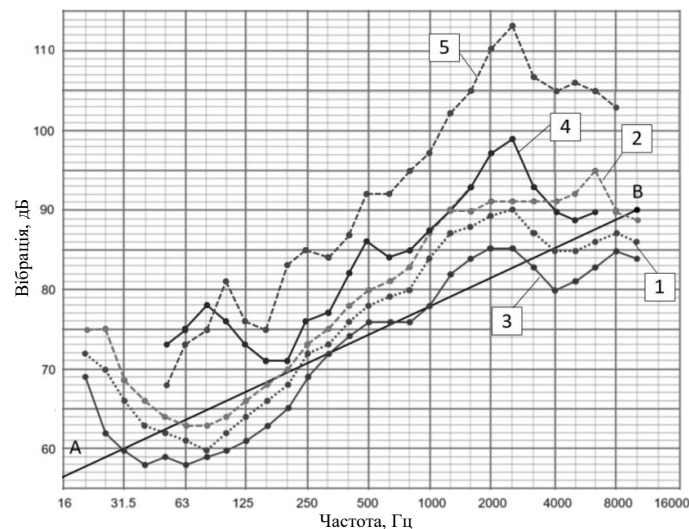


Рис. 5. Спектрограми вібрації коробки передач: 1, 2, 3 – на стенді випробування коробок передач; 4 – в складі трактора на роликівому стенді при частоті обертання 1000 хв⁻¹; 5 – в складі трактора на роликівому стенді при частоті обертання 2000 хв⁻¹; АВ – пряма, що показує гранично допустимі рівні вібрації

Оцінка технічного рівня конструкції КПП проводилась методом співставлення фактичних рівнів вібрації коробки з допустимими значеннями вібрації.

В якості гранично допустимих рівнів вібрації, які не впливають на швидкість процесів зношування, прийняті значення вібрації обмежені прямою АВ з рівнями 50 дБ на частоті 5 Гц і 90 дБ на частоті 10 кГц (рис. 4, 5) [24]. Відношення фактичних рівнів вібрації КПП до допустимих рівнів визначає коефіцієнт зниження ресурсу коробки передач, яке обумовлене перевищенням гранично допустимих значень вібрації.

Аналіз спектрів вібрації (рис. 4 і 5) наочно показує значне перевищення допустимої вібрації обмеженої прямою АВ. При частоті обертання вхідного валу 1000 хв⁻¹ перевищення досягає 14 дБ, а при частоті обертання 2000 хв⁻¹ перевищення досягає 25 дБ. Приведені рівні вібрації (рис. 4 і 5) є комплексним

показником якості конструкції КПП і технології її виробництва, які кореляційно пов'язані з функціональними параметрами (частотою обертання валів).

Окремо визначити вплив однієї зі складових якості коробки передач, визначених у виразі (1), а саме конструктивної складової, на збудження вібрації у КПП можливо за рівнем перевищення допустимої вібрації і очевидних конструктивних недоліків.

До цих недоліків відносяться:

- використання неякісних підшипників загального призначення;
- відсутність попереднього натягу підшипників в опорах;
- нетехнологічність конструкції збирання підшипникових вузлів і вихідних валів (рис. 3, точки 7 і 8) коробки передач.

Зниження ресурсу коробки передач наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рівні вібронавантаження деталей КПП

	Підвищення вібронавантаження деталей при частоті обертання, разів		Коефіцієнт зниження ресурсу КПП при частоті обертання	
	1000 хв. ⁻¹	2000 хв. ⁻¹	1000 в. ⁻¹	2000 хв. ⁻¹
Коробка передач:				
Зубчасті передачі	2.5	6.3	0.09	0.22
Підшипникові вузли	2.5	8.0	0.09	0.22
Роздавальна коробка				
Зубчасті передачі	4.8	8.0	0.12	0.24
Підшипникові вузли	8.0	31.6	0.19	0.36

Оцінка якості виготовлення коробки передач

Оцінка якості виготовлення деталей і збирання КПП проводилась за розкидом максимальних і мінімальних рівнів вібрації вибірки коробок передач.

Оцінка можливостей зниження рівнів вібрації за рахунок дотримання технології виробництва КПП проводилась за мінімальними рівнями вібрації вибірки коробок передач.

Приведені на рис. 4-6 розкид максимальних і мінімальних рівнів вібрації від 10 дБ до 25 дБ свідчить про високу нестабільність технології виготовлення деталей і збирання коробок передач. Це досить великий розкид рівнів вібрації, оскільки відомо, що перехід

механізму в інший клас технічного стану складає 8 дБ, а збільшення на 16-20 дБ є граничним значенням приросту вібрації. З цих експериментальних даних витікає, що трактори типу Т-150К вже на стадії виробництва випускають різного класу технічного стану від «добраго» (крива 2, рис. 6) до граничного технічного рівня недопустимого до експлуатації.

Існуючі можливості зниження рівнів вібрації за рахунок дотримання технології виробництва КПП до вимог допустимої вібрації (пряма АВ) показані на рис. 6, спектр 2 для режимів роботи при частотах обертів до 1000 хв.⁻¹.

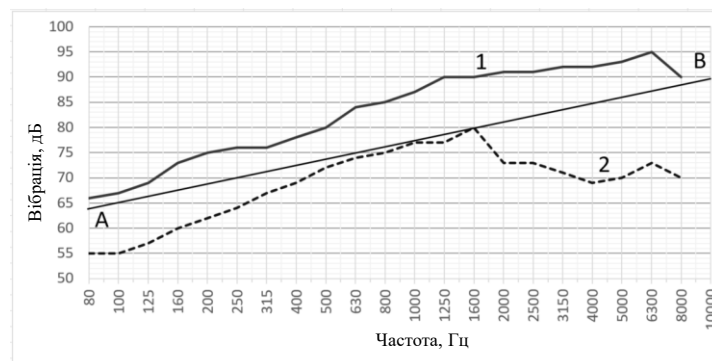


Рис. 6. Значення вібрації по 8-ми точкам для вибірки з партії сімнадцяти КПП при частоті обертів вхідного валу 1000 хв.⁻¹: 1 – максимальні; 2 – мінімальні

Проведена статистична обробка результатів експериментальних досліджень, визначені середньоарифметичні (L_{av} , дБ), мінімальні (L_{min} , дБ) і максимальні (L_{max} , дБ) вібрації, та середні квадратичні відхилення вібрації (σ , дБ) коробок передач при включенні четвертої передачі третього (транспортного) діапазону і вхідній швидкості обертання приводного валу стенду 1000 хв.⁻¹ для точок виміру 1-8, рис. 1.

В статистичну обробку вібраційних характеристик включені всі виміряні значення вібрації. Перевірка вибірки виміряних зна-

чень вібрації вибірки коробок на можливі випадкові і помилкові результати не проводилась. Припущення на помилковість різко виділяючихся мінімальних і максимальних значень не можна вважати випадковими, оскільки вимірювання вібрації проводилися ретельно і повторно перевірялися. Але при нормуванні вібрації, якщо розкид між максимальними і мінімальними рівнями більше 10 дБ, необхідно проводити перевірку на наявність випадкової похибки.

Аналіз результатів статистичної обробки показав, що джерелами високих рівнів вібра-

ції коробки передач є дефекти якості виготовлення зубчатих передач (смуга частот 250-1250 Гц), підшипникових вузлів (смуга частот 2000 -3150 Гц) та їх збирання, якість використаних підшипників, великі зазори посадок підшипників в корпусі (смуга 250 – 4000 Гц). Причиною високих рівнів вібрації в області частот 2000 – 3150 Гц є резонанс зовнішнього кільця підшипників.

Рівні вібрації сильно залежать від частоти обертання валів (рис. 5), які вказують на низьку якість виготовлення зубчатих передач і використаних підшипників кочення. Максимальні рівні вібрації КПП в точках контролю

7, 8 (криві 1, 2) пояснюються великими значеннями зазорів в спряженні «зовнішнє кільце підшипника – корпус коробки передач» при відсутності попереднього натягу підшипників в опорах валів.

В цілому, для оцінки вібраційного стану коробок передач тракторів Т-150К на стадії виготовлення скористаємось загальноприйнятими рекомендаціями придатності нових машин до експлуатації (Таблиця 2), що вказані в міжнародних стандартах ISO і в ряді державних стандартів ДСТУ, ГОСТ на вібраційні характеристики підшипників.

Таблиця 2 Критерії оцінки вібраційного стану КПП

Оцінка стану	Діапазон вібрації	Стадії життя
Добрий	менше $L_{av} + \sigma$	Виробництво
Нормальний	більше $L_{av} + \sigma$, але менше $L_{av} + 2\sigma$	Експлуатація
Поганий	більше $L_{av} + 2\sigma$, але менше $L_{av} + 3\sigma$	
Аварійний	більше $L_{av} + 3\sigma$	

Як видно з рис. 5 і Таблиці 2, всі коробки передач вже на стадії виробництва на частоті 2000 хв^{-1} не вдовольняють вимогам допустимих норм вібраційного стану. Лише деякі КПП при частоті обертання вхідного валу 1000 хв^{-1} можуть вдовольняти вимогам «доброго» стану (рис. 6, спектр 2).

Висновки

Вібродіагностичні характеристики КПП дозволяють оцінювати якість конструкції і виготовлення за рівнями вібрації. Наявність резонансних рівнів вібрації вказує на наявність дефектів конструкції і є ознакою необхідності удосконалення КПП. і прогнозувати можливості їх удосконалення.

Встановлено, що рівні вібрації коробок передач на стадії виготовлення досягають 85-113 дБ і перевищують допустимі вібрації на 10-25 дБ.

Основними джерелами вібрації коробок передач є дефекти якості виготовлення зубчатих передач і підшипникових вузлів та їх збирання, використання неякісних підшипників, великі зазори посадок підшипників в корпус, конструктивна нетехнологічність збірки коробки передач.

Основною причиною прискореного розвитку несправностей і зниження ресурсу більшості механізмів коробки передач є підвищення вібронавантаження у 2,5-31,6 разів над допустимими рівнями вібрації.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо публікації цієї статті.

Література

- Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., & Dzyubenko, O. (2019). Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*, 40, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.063>
- Colmenar-Santos, A., Muñoz-Gómez, A.-M., Rosales-Asensio, E., & López-Rey, Á. (2019). Electric vehicle charging strategy to support renewable energy sources in Europe 2050 low-carbon scenario. *Energy*, 183, 61–74.
- Patlins, A. (2017). Improvement of Sustainability Definition Facilitating Sustainable Development of Public Transport System. *Procedia Engineering*, 192, 659–664. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.06.114>
- Bogajevskiy, A., Arhun, S., Hnatov, A., Dvadnenko, V., Kunicina, N., & Patlins, A. (2019). *Selection of Methods for Modernizing the Regulator of the Rotation Frequency of Locomotive Diesels*. 1–6.
- Hnatov, A., Argun, S., Tarasov, K., Hnatova, A., Migal, V., & Patlins, A. (2019). Researching the Model of Electric Propulsion system for bus with the Matlab Simulink. *2019 IEEE 60th International Scientific Conference on Power and Electrical Engineering of Riga Technical University (RTUCON)*, 1–6.

- <https://doi.org/10.1109/RTUCON48111.2019.8982352>
6. Gnatov, A., & Argun, S. (2015). New Method of Car Body Panel External Straightening: Tools of Method. *International Journal of Vehicular Technology*, 2015, 1–7. <https://doi.org/10.1155/2015/192958>
 7. Galiev, I., Khafizov, C., Adigamov, N., & Khusainov, R. (2018). Increase of efficiency of tractors use in agricultural production. *Proceedings of 17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development"*, 17, 373–377.
 8. Lee, M., & Singha Roy, S. (2019). Advancement in Wireline Tractor Design Reduces Operating Time and Improves Reliability. *SPE/ICoTA Well Intervention Conference and Exhibition*.
 9. Khafizov, K. A., Khafizov, R. N., & Adigamov, N. R. (2014). The main directions of technical service development in the agricultural complex of Tatarstan. Herald of Kazan State Agrarian University. *Publishing House of Kazan SAU*, 9(4), 34.
 10. Yahin, S., Gabdrafiqov, F., Khaliullin, F., Khusainov, R., & Naficov, I. (2020). Improving the operational efficiency of tractors by ensuring their ability to perform work. *BIO Web of Conferences*, 17, 00111.
 11. Durczak, K., Jurek, P., Ekielski, A., & Żelaziński, T. (2018). The ergonomics and safety of farming tractors – users' opinion. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 63(nr 1). <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-9482fc7f-dcf9-4277-a58a-3d82a64684ad>
 12. Juostas, A., & Janulevičius, A. (2009). Evaluating working quality of tractors by their harmful impact on the environment. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 17(2), 106–113. <https://doi.org/10.3846/1648-6897.2009.17.106-113>
 13. Bin, X., Chao, Z., Shuo, C., Enrong, M., & Yuefeng, D. (2015). Transmission performance of two-wheel drive electric tractor. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 46(6), 8–13.
 14. Nefedov, A. (2012, July). *Monitoring nadezhnosti traktorov vyisokoy moschnosti dlya sela*. Osnovnyie sredstva. <https://os1.ru/article/4969-monitoring-nadezhnosti-traktorov-vysokoy-moshchnosti-dlya-sela>
 15. Shuang, Z. (2011). Research of Multi-faults in the Tractor's Gearbox Based on Support Vector Machines Method [J]. *Journal of Agricultural Mechanization Research*, 5, 23–31.
 16. Michalski, R., Gonera, J., & Janulin, M. (2015). A functional and task fault-oriented diagnostic system for wheeled tractors. *Agricultural Engineering*, Vol. 19, No. 3. <http://dx.medra.org/10.14654/ir.2015.155.136>
 17. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., Hnatova, H., & Ulyanets, O. (2020). System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7(26), 1–9. <https://doi.org/10.4108/EAI.13-7-2018.162733>
 18. Migal, V., Lebedev, A., Shuliak, M., Kalinin, E., Arhun, S., & Korohodskiy, V. (2021). Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors. *Journal of Vibration and Control*, 27(9–10), 1123–1131. <https://doi.org/10.1177/1077546320937634>
 19. Jolandan, S. G., Mobli, H., Ahmadi, H., Omid, M., & Mohtasebi, S. S. (2012). Fuzzy-Rule-Based faults classification of gearbox tractor. *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 7(2), 69–82.
 20. Ahmadi, H., Heidarbeigi, K., Labbafi, R., & Bagheri, B. (2010). Fuzzy-Rule-Based Faults Classification of Gearbox of MF 285 Tractor. *4th Condition Monitoring & Fault Diagnosis Conference, Sharif University of Technology*, 69–82.
 21. Heidarbeigi, K., Ahmadi, H., Omid, M., & Tabatabaeefar, A. (2010). Evolving an artificial neural network classifier for condition monitoring of massy ferguson tractor gearbox. *International Journal of Applied Engineering Research*, 5(12), 2097–2107.
 22. Ju, P. (2003). The research on tractor gearbox breakdown diagnosis. *Tractor & Farm Transporter*, 2, 6–10.
 23. Arhun, S., Hnatov, A., Migal, V., & Ponikarovska, S. (2020). Determining the quality of electric motors by vibro-diagnostic characteristics. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*, 7(29(e6)), 1–8. <https://doi.org/10.4108/eai.13-7-2018.164101>
 24. Migal, V., Arhun, Shch., Hnatov, A., Dvadenko, V., & Ponikarovska, S. (2019). Substantiating the Criteria For Assessing the Quality of Asynchronous Traction Electric Motors in Electric Vehicles and Hybrid Cars. *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, 10(36), 989–999. <https://doi.org/10.7736/KSPE.2019.36.10.989>
- Мигаль Василь Дмитрович**¹, д.т.н., проф. каф. тракторів і автомобілів, тел. +38 0993780451, e-mail: prof.myhal@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2308-760X>
- Аргун Щасяна Валіковна**², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>
- Гнатов Андрій Вікторович**², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, kalifus76@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

¹Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна, 61002

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

Vibration characteristics of tractor gearboxes

Abstract. Problem. Improving the efficiency, quality, reliability and economy of tractor equipment is one of the most important tasks of modern society. This is due to the fact that in agriculture, tractors can perform up to 80% of various operations. The cost of production, product quality, compliance with the conditions of technological operations, etc. depend on the properties and reliability of tractors. The main factor limiting the effective use of tractors in agriculture is the problem of insufficient reliability of tractors, namely, the reliability of its individual components. One of the most important units is its gearbox. The existing methods for diagnosing tractor gearboxes are designed to detect damage, but they are not able to determine the quality of the gearbox at the design and manufacturing stage. Such an opportunity would greatly simplify the process of diagnosing tractor boxes. **Goal.** The purpose of the research is to assess the quality of design and manufacture of tractor boxes according to their vibration characteristics by identifying design and manufacturing defects, which will allow developing the ways to improve them. **Methodology.** Methods for detecting statistical data on the boundary values of structural vibrational parameters and their connection with the technical condition of tractors were used. Experimental research methods and mathematical methods for processing and modulating the results obtained were used as well as the methods of statistical calculation and comparison of vibration characteristics with permissible vibrations that do not affect the acceleration of the process of tractor parts wear. **Results.** Experimental studies of vibro-diagnostic characteristics of tractors were carried out. Studies were made to measure vibration diagnostic indicators; a spectral analysis of gearbox vibration was carried out. An assessment of the quality of manufacturing parts and assembly of

tractor gearboxes was made. Such an assessment was carried out by analyzing the spread of the maximum and minimum vibration levels for a sample of gearboxes. **Originality.** An assessment was made of the possibilities of reducing vibration levels by observing the technology for the production of tractor boxes. This assessment was based on the analysis of minimum vibration levels of tractor boxes. Statistical processing of the results of experimental studies was carried out with the determination of the arithmetic mean, minimum and maximum vibrations, and the standard deviations of the vibration of gearboxes when the fourth gear of the third (transport) range is engaged. **Practical value.** Vibro-diagnostic characteristics of tractor boxes make it possible to evaluate the quality of design and manufacture by vibration levels. It was established that the vibration levels of boxes at the manufacturing stage reach 85-113 dB and exceed the permissible vibrations by 10-25 dB. The main sources of gearbox vibration are: defects in the quality of gears and bearing assemblies; their assembly, the use of low-quality bearings, large clearances of bearing fit in the housing, and the problem of gearbox assembly technology.

Key words: vibration diagnostics, vibrations, diagnostics, tractor gearbox.

Migal Vasily¹, professor, Doct. of Science, Department of Tractors and Cars, e-mail: prof.myhal@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2308-760X>

Arhun Shchasiyana², professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, tel. +38 099-378-0451, e-mail: shasyana@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Hnatov Andrii², professor, Doct. of Science, Head of Vehicle Electronics Department, tel. +38 066-7438-0887, kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

¹State Biotechnological University, Alchevskiyh str., 44, Kharkiv, Ukraine, 61002

²Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.