

Оцінка якості тракторів за вібраційними характеристиками

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

¹Державний біотехнологічний університет, Україна

²Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна

Анотація. Проведено оцінку якості проектування та виготовлення тракторів за вібраційними характеристиками, які дозволяють виявити конструктивні та технологічні дефекти, що знижують їх надійність та ресурси. Результати вимірювання вібрації показали, що трактори класу вібрації E до серійного виробництва не рекомендуються. Їх ресурс становить 6-8 тис. мотогодин, а витрати на технічне обслуговування великі порівняно з витратами на технічне обслуговування тракторів класу вібрації D. Трактори з рівнями вібрації класу E не рекомендуються до серійного виробництва через високу вібронавантаженість деталей. Трактори сімейства T-150K вимагають суттєвого доопрацювання конструкції, технології виготовлення деталей та складання підшипникових вузлів.

Ключові слова: рівень вібрації, вібродіагностика, трактор, надійність, ресурс, клас вібрації.

Вступ

Проблеми економічності, екологічності та транспортних засобів є актуальними по всьому світу і безпосередньо пов'язані з їх якістю і надійністю. Ці проблеми намагаються вирішити різними способами, наприклад, модернізацією існуючих транспортних засобів [1, 2], відмовою від ДВЗ на користь електродвигунів [3, 4], розвитком альтернативних джерел енергії [5–7], удосконаленням технології виробництва [8]. Особливо актуальне підвищення надійності та ресурсу, зменшення витрат на технічне обслуговування для сільськогосподарської техніки, оскільки вона працює в складних умовах експлуатації, а від якості та надійності цієї техніки залежить вартість кінцевого продукту [9].

Як відомо, загальна трудомісткість створення сільськогосподарських тракторів становить 7-10 років, з них доведення займає близько 63-80% всього часу. У загальній трудомісткості доведення робіт, доведення надійності в умовах експлуатації становить 58-73%. Однак нерідко навіть після такого тривалого доведення серійні трактори не відповідають заданому ресурсу та надійності.

Аналіз публікацій

Одним із важливих показників трактора є

енергонасиченість – це відношення експлуатаційної потужності трактора до експлуатаційної маси [10]. Підвищення енергонасиченості та розширення функціональних можливостей тракторів без різкого підвищення їх надійності та ресурсу не вирішує проблеми їх ефективної експлуатації та конкурентоспроможності.

У практиці проектування тракторів підвищення енергонасиченості переважно досягають за рахунок резервів конструкції. Проте це не завжди призводить до бажаних результатів. Наприклад, середній ресурс сучасних тракторів, що виробляються на "Харківському тракторному заводі" (Україна), становить 8-10 тисяч мотогодин, і лише окремі екземпляри досягають 12 тисяч мотогодин. Таким чином, технології проектування та виготовлення мають високий відсоток відмов і низьке напрацювання на відмову.

Основним недоліком існуючих методів доведення тракторів є їх побудова, яка переважно ґрунтується на класичній теорії надійності. При прогнозуванні запланованого ресурсу ця теорія недостатньо враховує фактичні початкові стани і зміни, що відбуваються зі збільшенням робочих годин, а також технічні та динамічні умови тракторів.

Методи випробувань на надійність, що за-

стосовуються на заводах, являє собою деяку кількість циклів випадкового процесу. Остаточне доопрацювання тракторів здійснюється лише після певного накопичення несправностей в експлуатації. В результаті доведення тракторів відбувається лише за явно вираженими грубими дефектами конструкції та технології виробництва, а ряд прихованих дефектів так і залишаються у серійному виробництві тракторів.

На цей час, проводяться випробування окремих агрегатів тракторів. Наприклад, у роботі [11] представлено випробування на довговічність двигуна сільськогосподарського трактора, який працює на чистому біодизелі. Фактичне пошкодження двигунів трактора під час експлуатації може відрізнятись від прогнозованого за іншими оцінками [12].

Існуючі методи підвищення надійності та ресурсу шляхом забезпечення міцніших, зносних та динамічних характеристик за рахунок підвищення міцності далеко не завжди оптимальні. Наприклад, при зниженні ізоеластичності конструкції в агрегатах трактора виявляються резонансні явища.

Вібраційні параметри машин з високою достовірністю є комплексним показником технічного рівня та стану машин [13, 14].

Вібраційні процеси, що виникають у тракторі, є природною реакцією (відгуком) на всі реально діючі внутрішні та зовнішні сили, що на нього діють. Вібраційні параметри трактора є основним показником його фактичного технічного стану (досконалості конструкції, технології виробництва та режимів роботи). Задана функціональна та технічна надійність може бути оптимальною при забезпеченні допустимого рівня вібрації [13].

Вібрації тракторів мають рівні, що значно перевищують вібрацію інших машин більшої потужності та частоти обертання. Основною причиною високих рівнів вібрації механізмів тракторів є недосконалість конструкції, технології виготовлення та збирання [14]. Крім того, високі рівні вібрації негативно впливають на здоров'я та працездатність трактористів [15]. Вони прискорюють зношування, інтенсивне накопичення втомних напружень і пластичних деформацій, віброповзучість в елементах конструкцій, зниження еластичності пружних систем механізмів машин, зміну структури матеріалів, зміну власних частот вузлів та сполучень при ослабленні зв'язків, втрату жорсткості стійкості конструкції [16].

Проте, результати досліджень щодо під-

вищення надійності та ресурсу вітчизняних та зарубіжних тракторів отримані практично без урахування вібраційних властивостей та вібронавантаженості деталей. Це багато в чому пояснює причини повільного вирішення проблеми підвищення якості тракторів.

У практиці проектування та діагностування машинного обладнання оцінка допустимих граничних величин вібраційних параметрів визначається низкою стандартів, наприклад VD12056, ISO 2372:1974, ISO 2373:1987, ISO 3945:1985 та іншими. Відповідно до цих стандартів, зміна вихідної вібрації на 4 дБ призводить до суттєвих змін технічного стану більшості машин, а перевищення на 6-8 дБ призводить до переходу машини до іншого класу технічного стану [17]. Ці норми перевищення вібрації не суперечать існуючим нормам призначення допустимих та граничних станів структурних параметрів механічних систем.

Мета та постановка задачі

Мета роботи – оцінка якості проектування та виготовлення тракторів за вібраційними характеристиками, які дозволяють виявити конструктивні та технологічні дефекти, що знижують їхню надійність та ресурси.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- визначити методи та засоби досліджень вібраційних характеристик тракторів;
- розробити методи оцінки якості проектування та виготовлення тракторів.

Методика дослідження вібраційних характеристик тракторів

Дослідження вібраційних характеристик тракторів у зборі проводилося на стендах як холостого ходу, на яких окремі агрегати досліджувалися на індивідуальних обкатних стендах. Точки контролю вібрації трактора та коробки передач показані на рис. 1.

Вибір контрольних точок проводився з урахуванням можливостей найбільшого наближення до джерела вібрації на корпусі підшипникових опор валів, у яких зміни вібрації з достатньою чутливістю відповідають зміні технічного стану деталей та вузлів трактора. На шляху розповсюдження вібрації від джерела збудження вібрації до точок контролю вібрації знаходяться жорсткі елементи з мінімальною кількістю з'єднань. Кріплення віброперетворювача в контрольних точках

здійснювалося шпилькою та кріпильним магнітом UA0642. Кріплення віброперетворювача магнітом забезпечує точне відтворення вимірювання параметрів вібрації в частотному діапазоні від 5 Гц до 10 кГц.

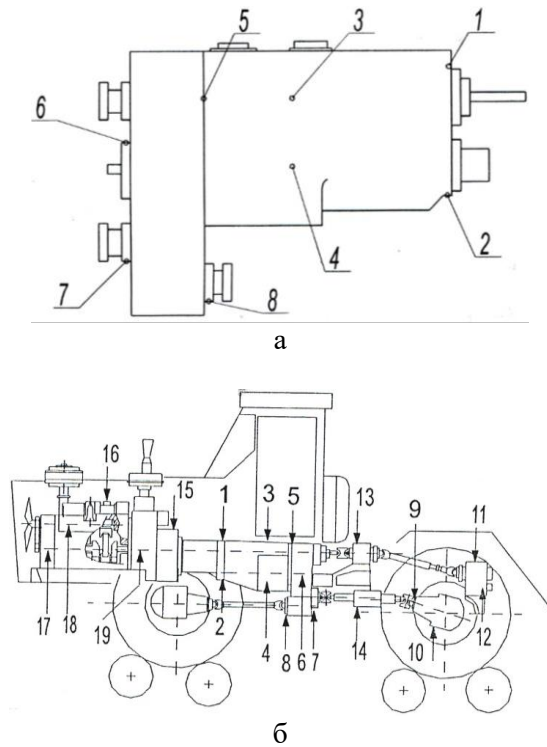


Рис. 1. Точки контролю вібрації: а – коробки передач трактора; б – комплектного трактора Т-150К: 1-8 – коробки передач та роздавальної коробки; 9-10 – мостів; 11-12 – редуктора валу відбору потужності (ВГД); 13-14 – опор карданних валів; 15 – муфти зчеплення; 16 – турбокомпресора; 17-19 – двигуна

Придатність обкатувальних стендів до вібраційних вимірювань агрегатів визначалася за рівнями вібраційних перешкод, що передаються від стенду на випробуваний агрегат [13, 14]. Рівні перешкод у точках контролю вібрації агрегатів визначалися при непрацюючому агрегаті, встановленому на стенді, на обладнанні, що працює, стенді, яке забезпечує його випробування. При цьому рівні вібрацій, створюваних стендом у точках контролю, були нижчими за рівні вібрації випробуваного агрегату не менше ніж на 8 дБ.

Для оцінки вібраційного стану трактора визначалися геометричні параметри деталей підшипникових вузлів та зубчастих передач. У досліджуваних агрегатах застосовувалися підшипники з нормалізованого ряду ISO 492:2014. Отримані геометричні параметри

деталей дозволяли оцінити натяги посадок та зазори у підшипникових вузлах та зубчастих передачах [13, 14].

Вимірювання вібрації окремих агрегатів та комплектного трактора здійснювалося після 20-30 хвилин обкатування. Вимірювання вібрації проводилося в децибелах (дБ) в третьоктавних 23% і вузьких 3% смугах частот від 5 Гц до 10 кГц при частотах обертання вхідного валу коробки передач 1000 об/хв, 2000 об/хв.

Аналіз рівнів вібрації у смугах частот (3%) гарантував розпізнавання джерел вібрації. За нульовий рівень віброприскорення (дБ) прийнято значення $3 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$.

Для вимірювання вібрації використовувалися віброперетворювачі 4371, віброаналізатори 2120, 3513 та самописець 2306 від "Bruel&Kjer", Данія.

Частоти резонансних коливань кілець підшипників та агрегатів трактора визначалися віброаналізатором 2120 з використанням плавного фільтра.

Розкид рівнів вібрації в контрольних точках при 4 повторних вимірах (через 1-3 хв.) не перевищував 0,5 дБ, а при тривалих випробуваннях досягав 0,5-0,8 дБ на частотах 315 Гц, 630 Гц, 1600 Гц, 5000 Гц, 6300 Гц третьоктавного спектра.

Оцінка якості виготовлення тракторів

Якість виготовлення деталей та складання агрегатів проводилося за рівнями розкиду максимальних та мінімальних значень вібрації.

Розкид максимальних та мінімальних рівнів вібрації агрегатів трактора знаходиться в межах 10-27 дБ:

- двигуна – 100-123 дБ;
- коробки передач – 77-112 дБ;
- турбокомпресора двигуна – 100-110 дБ;
- мостів – 85-104 дБ, 8 -105 дБ;
- редуктора ВОМ – 80-95 дБ.

Це великий розкид рівнів вібрації, що свідчить про велику нестабільність технології виробництва тракторів Т-150К, так як перехід механізмів до іншого класу технічного стану становить 8 дБ, а збільшення вібрації у процесі експлуатації на 16-20 дБ є граничним станом приросту вібрації.

Результати статистичної обробки спектрів вібрації з прикладу головної передачі трактора наведено на рис. 2. З цих експериментальних даних випливає, що трактори типу Т-150К вже на стадії виробництва випускають різного класу технічного стану.

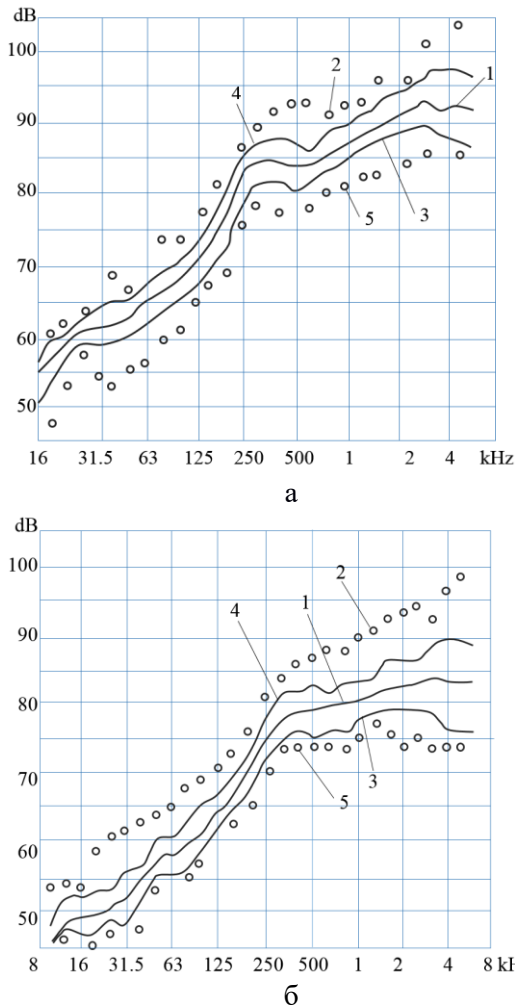


Рис. 2. Рівні вібрації головної передачі для вибірки 33 мостів: за частот: а – 2000 об/хв; б – 1000 об/хв: 1 – середньоарифметичне значення; 2, 5 – максимальні та мінімальні значення відповідно; 3, 4 – середньоквадратичне відхилення

Оцінка якості проектування тракторів

Оцінка технічного рівня конструкції тракторів проводилася методами зіставлення фактичних (вимірних) рівнів вібрації трактора з допустимими значеннями вібрації. Як граничні значення допустимих рівнів вібрації, що не впливають на прискорення процесів зношування трактора, прийняті рівні вібрації, обмежені прямою АВ з рівнями 50 дБ на частоті 5 Гц і 90 дБ на частоті 10 кГц, рис. 3 [13, 14, 16, 17].

Критерієм рівнів вібрації, що оптимально закладаються, при проектуванні трактора є спектр вібрації, який за максимальними рівнями всіх джерел вібрації (рис. 3) не перевищує допустимі вібрації, обмежені прямою АВ. Пряма АВ допустимих рівнів вібрації визначає рівноресурсні вимоги до технічного

стану всіх джерел вібрації трактора у смузі частот від 5 Гц до 10 кГц.

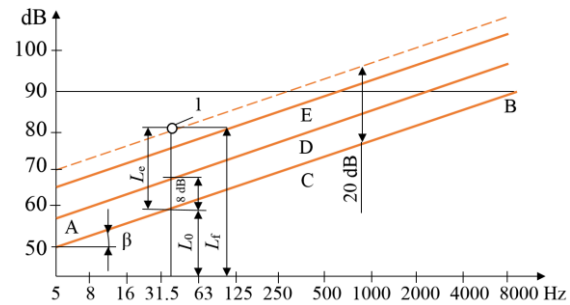


Рис. 3. Класи рівнів віброприскорення трактора підвищеної (Е), нормальної (D) та зниженої (С) вібрації: 1 – вимірювання значення вібрації об'єкта діагностування; L_f – фактичний рівень вимірної вібрації; L_e – значення перевищення допустимого значення вібрації L_0 (АВ)

Відношення фактичних рівнів вібрації механізмів трактора до гранично допустимих рівнів (АВ) визначає коефіцієнт зниження ресурсу трактора, який обумовлюється перевищенням вібронавантажень деталей над допустимою вібрацією.

Для оцінки технічного рівня проектного трактора розроблено три класи вібрації С, D та Е з діапазонами вібрації 8 дБ між класами вібрації D та Е (рис. 3). Класи вібрації D та Е побудовані щодо допустимої вібрації з урахуванням їх граничного збільшення в експлуатації до 20 дБ. Чисельні значення гранично допустимого параметра розраховані на основі співвідношення між граничними та вихідними значеннями структурних та вібраційних параметрів, як лінійна залежність.

Граничне значення перевищень вібраційних параметрів ΔL_e над вихідними L_0 для функціональних ΔL_f та ресурсних ΔL_e елементів підшипникових вузлів, зубчастих передач та інших структурних параметрів отримано із співвідношення:

$$\Delta L_f = \frac{\delta_f}{\delta_i} = \frac{L_f}{L_i} = 2 \dots 2,5 \quad \text{або} \quad (1)$$

$$\Delta L_f = \frac{L_f}{L_e} = 20 \cdot \lg(2 \dots 2,5) = 6 - 8 \text{ дБ};$$

$$\Delta L_e = \frac{\delta_e}{\delta_i} = \frac{L_e}{L_i} = 8 \dots 10 \quad \text{або} \quad (2)$$

$$\Delta L_e = \frac{L_e}{L_i} = 20 \cdot \lg(8 \dots 10) = 16 - 20 \text{ дБ};$$

де δ_f (L_f) δ_e (L_e) – зазори (рівні вібрації) функ-

ціональних та ресурсних параметрів елементів граничного стану; $\delta_i(L_i)$ – вихідного стану.

З залежностей (1), (2) випливає, що за зміну діагностичного параметра зазору та вібрації при переході механізму з одного класу технічного стану в інший відповідає збільшення вихідного зазору в 2,5 рази, вібрації – на 8 дБ. А збільшення їх значень у 8-10 разів (16-20 дБ), щодо вихідних – є грани-

чним значенням збільшення вібрації експлуатації.

З експериментальних даних рис. 2 видно, що трактори типу Т-150К відносяться до класу вібрації Е і вище, і вже в нових виробках перебувають у класі технічного стану експлуатаційної норми «вимагає життя заходів» або «неприпустиме» (таблиця 1).

Таблиця 1 – Значення рівня вібрації та коефіцієнт запасу на знос за класами вібрації трактора

Клас вібрації	Оцінка якості проектування	Значення рівнів вібрації	«Запас працездатності»	
			дБ	Коефіцієнт запасу на зношування
-	недопустима	більше L_0+20 дБ	ні	ні
Е	допустима	$L_0 + (8 \dots 16)$ дБ	12...4	1,5...0,2
Д	задовільна	$L_0 + (1 \dots 8)$ дБ	20...12	2,5...1,5
С	добра	менше L_0	20	2,5

Високі рівні вібрації коробки передач області частот 2500 Гц пояснюються резонансом зовнішнього кільця підшипника, встановленого в корпус з великим зазором. Це підтверджується як вимірюваним діаметром отвору під посадку підшипники в корпус коробки (0,8 м) і збереженням резонансної частоти обертання вхідного валу (2000 об/хв і 3000 об/хв).

Головна передача мостів на стадії приймально-здавальних випробувань при частоті обертання 2000 об/хв за максимальним рівнем вібрації відповідає діапазону класу Е на 85%, діапазону Д – лише на 25 %. При частоті обертання 1000 об/хв мости задовольняють діапазону Д на 65%.

Рівні максимальних вібрацій основних агрегатів трактора типу Т-150К на стадії приймально-здавальних випробувань на обкатувальному стенді при частоті обертів 2000 об/хв на 10-30 дБ перевищують допустимі максимальні рівні вібрації агрегатів головної передачі моста та коробки передач оборотів 2000 об/хв, спектр 2, збільшуються до 12 -18 дБ.

З таблиці 2 видно, що вібронавантаженість деталей, наприклад, роздавальної коробки і редуктора ВОМ при перевищенні допустимих значень вібрації на частоті обертання 2000 об/хв збільшується в 31,6 і в 15,9 разів відповідно.

Таблиця 2. Вібронавантаженість деталей трактора Т-150К

Агрегати та вузли у складі трактора		Коефіцієнт перевантаження при частотах обертання, об/хв	
		1000	2000
1. Коробка передач	– зубчасті передачі	2,5	6,3
	– підшипникові вузли	2,5	8,0
2. Роздавально-на коробка	– зубчасті передачі	4,8	8,0
	– підшипникові вузли	8,0	31,6
	– вал приводу переднього мосту	5,6	6,0
	– вал приводу заднього мосту	6,0	7,0
3. Міст задній	– головна передача	2,0	4,5
	– підшипники головної передачі	-	5,6
4. Редуктор ВОМ	– підшипниковий вузол	-	3,2
	– вал приводу	17,0	15,9

Аналіз технічного рівня тракторів Т-150К за максимальними значеннями вібрації у спектрі може бути жорсткою вимогою, але дозволяє враховувати всі фактори, що впливають на якість проектування тракторів. Може виявитися, що у прийнятих ви-

бірках (17-33 шт) тракторів максимальні значення вібрації мають 1-2 виробки, які у разі нормування вібрації відносять до випадкових виробів [14]. Це дослідження є продовженням дослідження, представленого в роботі [14], і дозволяє зробити такі висновки.

Висновки

Розроблені вібраційні методи оцінки вібрації тракторів Т-150К дозволяють визначати якість їх проектування та виготовлення.

Результати вимірювання вібрації показали, що трактори класу вібрації Е до серійного виробництва не рекомендуються. Їхній ресурс становить 6-8 тис. мотогодин, а витрати на технічне обслуговування великі в порівнянні з витратами на технічне обслуговування тракторів класу вібрації D.

Розроблені класи вібрації тракторів Т-150К показали, що трактори з рівнями вібрації класу Е не рекомендуються до серійного виробництва через високу вібравантаженість деталей.

Трактори класу Е вже у нових виробках перебувають у класі технічного стану експлуатаційної норми «вимагає вжиття заходів» або «неприпустиме».

Трактори сімейства Т-150К вимагають суттєвого доопрацювання конструкції, технології виготовлення деталей та складання підшипникових вузлів. Це досягається шляхом конструктивного забезпечення попереднього натягу підшипників у опорах валів; використанням підшипників 4 класу точності з індексом шумності QE1; забезпеченням посадки підшипників у корпус плаваючої посадки із зазором «підшипник – корпус» не більше 15 мкм.

Для підвищення точності розточування посадкових поверхонь під підшипники та складання підшипникових вузлів необхідно ввести в конструкцію підшипникових вузлів вихідних валів коробки передач проміжні склянки (капсюлі).

Результати даних досліджень на стадії проектування дозволяють з більшою достовірністю прогнозувати якість тракторів.

Література

1. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., Hnatova, H., & Saraiev, O. (2022, May). Features of converting a car with an internal combustion engine into an electric car. In 2022 IEEE 7th International Energy Conference (ENERGYCON) (pp. 1-6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ENERGYCON53164.2022.9830183>.
2. Bogajevskiy, A., Arhun, S., Hnatov, A., та ін. Selection of Methods for Modernizing the Regulator of the Rotation Frequency of Locomotive Diesels Riga, Latvia, 07.October.19. С. 1–6.
3. Wilberforce, T., El-Hassan, Z., Khatib, F. N., та ін. Developments of electric cars and fuel cell hydrogen electric cars. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Вип. 42, № 40. С. 25695–25734.
4. Sendek-Matysiak, E. Electric cars as a new mobility concept complying with sustainable development principles: AIP Conference Proceedings, AIP Publishing LLC, 19. С. 020026.
5. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., та ін. Design and research of constructive features of paving slabs for power generation by pedestrians. *Transportation Research Procedia*. 2019. Вип. 40. С. 434–441.
6. Neves, S. A., Marques, A. C., Fuinhas, J. A. On the drivers of peak electricity demand: What is the role played by battery electric cars? *Energy*. 2018. Вип. 159. С. 905–915.
7. Patlins, A., Hnatov, A., Arhun, S., та ін. Modernization of the Public Transport Bus Fleet in the Context: *Transport Means 2019*, Palanga, Lithuania, Kaunas University of Technology, 4 October.19. С. 403–408.
8. Dziubenko O., Arhun Shch., Hnatov A., Ponikarovska S. Choosing the method for determining angular motions of motor vehicle electromechanical subassemblies, *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*. 2021. Vol. 8(32). e7. P. 1-8.
9. Paman, U., Uchida, S., Inaba, S., та ін. A Survey on Causes of Tractor Breakdowns in Riau Province, Indonesia A Case Study of Small Tractor Operations. *Applied Engineering in Agriculture*. 2007. Вип. 23, № 1. С. 43–48.
10. Samsonov, V. A., Lachuga, Y. F. Calculation of optimal power and energy saturation of an agricultural tractor. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017. № 7. С. 25–31.
11. Bietresato, M., Friso, D. Durability test on an agricultural tractor engine fuelled with pure biodiesel (B100). *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY*. 2014. Вип. 38, № 2. С. 214–223.
12. Perozzi, D., Mattetti, M., Molari, G., та ін. Methodology to analyse farm tractor idling time. *Biosystems Engineering*. 2016. Вип. 148. С. 81–89.
13. Arhun, S., Hnatov, A., Migal, V., та ін. Determining the quality of electric motors by vibro-diagnostic characteristics. *EAI Endorsed Transactions on Energy Web*. 2020. Вип. 7, № 29(e6). С. 1–8.
14. Migal, V., Lebedev, A., Shuliak, M., та ін. Reducing the vibration of bearing units of electric vehicle asynchronous traction motors. *Journal of Vibration and Control*. 2021. Вип. 27, № 9–10. С. 1123–1131.
15. Muzammil, M., Siddiqui, S. S., Hasan, F. Physiological effect of vibrations on tractor drivers under variable ploughing conditions.

- Journal of occupational health. 2004. Вип. 46, № 5. С. 403–409.
16. Migal, V., Arhun, Shch., Hnatov, A., та ін. 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. 2019. Вип. 10, № 36. С. 989–999.
17. Arhun, S., Migal, V., Hnatov, A., та ін. System Approach to the Evaluation of the Traction Electric Motor Quality. EAI Endorsed Transactions on Energy Web. 2020. Вип. 7, № 26. С. 1–9.

Мигаль Василь Дмитрович¹, 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 Валіковна², д.т.н., проф. каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0993780451, shasyana@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6098-8661>

Гнатів Андрій Вікторович², д.т.н., проф., завдувач каф. автомобільної електроніки, тел. +38 06674380887, kalifus76@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0932-8849>

Ульянець Ольга Анатоліївна², асистент каф. автомобільної електроніки, тел. +38 0957336312, olga.ulyanets@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

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

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

Evaluation of tractor quality based on vibration characteristics

Abstract. Problem. The overall development time for agricultural tractors is 7-10 years, with testing accounting for approximately 63-80% of the total time. Within testing, reliability testing under operating conditions comprises 58-73% of the workload. However, even after extensive testing, serially produced tractors often fail to meet the specified lifespan and reliability requirements. Final refinements are only made to tractors after a certain accumulation of operational faults, resulting in hidden defects remaining in the serial production of tractors, as testing primarily addresses major structural and manufacturing defects. **Goal.** The aim of this study is to evaluate the design and manufacturing quality of tractors based on their vibration characteristics. These characteristics can identify structural and technological defects that decrease the reliability and lifespan of tractors. **Methodology.** Analytical research methods were employed to improve the

quality of traction electric motors for electric transportation. Experimental research methods and the determination of electric motor technical conditions based on their vibrodiagnostic parameters were utilized. Statistical methods were employed to process experimental studies. **Results.** Vibration measurement results indicated that tractors belonging to vibration class E are not recommended for serial production. These tractors have an estimated lifespan of 6-8 thousand engine hours and incur high maintenance costs compared to tractors of vibration class D. Tractors with vibration levels of class E are not recommended for serial production due to the excessive vibration load on components. **Originality.** The T-150K tractor family requires significant redesign of its structure, manufacturing processes for components, and bearing unit assembly. This is achieved through constructive measures, such as ensuring bearing preload in shaft supports, using class 4 precision bearings with a noise index of QE1, and providing a floating fit with a clearance of no more than 15 μm between the bearing and the housing. Introducing intermediate bushings into the design of gearbox output shaft bearings improves the accuracy of machining bearing seating surfaces and the assembly of bearing units. **Practical value.** The developed vibration evaluation methods for T-150K tractors enable the assessment of their design and manufacturing quality. The research data obtained during the design stage allows for more reliable predictions of tractor quality.

Key words: vibration level, vibration diagnostics, tractor, reliability, resource, vibration class.

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 Shchasiana², professor, Doct. of Science, Vehicle Electronics Department, 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>

Uliyanets Olha², assistant professor of Vehicle Electronics Department, tel.+ 38 0957336312, e-mail: olga.ulyanets@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7263-3024>

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

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