

УДК 631.372

Борисюк Д.В.¹*інженер, кафедра автомобілів та транспортного менеджменту**Факультет машинобудування і транспорту**E-mail: bddv@ukr.net***Спірін А.В.²***к.т.н., доцент**кафедра загальнотехнічних дисциплін та охорони праці**Факультет механізації сільського господарства**E-mail: spirinanatoly16@gmail.com***Твердохліб І.В.²***к.т.н., старший викладач**кафедра загальнотехнічних дисциплін та охорони праці**Факультет механізації сільського господарства**E-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com***Томчук В.В.²***асистент, кафедра експлуатації машинно-тракторного
парку і технічного сервісу**E-mail: Vasilij_tomchuk@ukr.net*¹ *Вінницький національний технічний університет
Вінниця, Україна*² *Вінницький національний аграрний університет
Вінниця, Україна*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЯ ВСТАНОВЛЕННЯ АКСЕЛЕРОМЕТРІВ ПРИ ВІБРОАКУСТИЧНОМУ ДІАГНОСТУВАННІ КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

Анотація

Під час руху по дорозі з нерівною поверхнею трактор сприймає удари і зазнає коливань. Основними вузлами, які захищають трактор від динамічної дії дороги і зводять коливання та вібрації до прийняттого рівня є керований міст і шини. Справний керований міст колісного трактора забезпечує оптимальну керованість, безпеку руху, довговічність і надійність роботи. Робота з несправними вузлами керованого моста погіршує керованість і стійкість трактора, знижує безпеку його руху, погіршує ергономічні показники. Несправний керований міст сприяє появі вібрації рами трактора, внаслідок чого послаблюються заклепочні та різьбові з'єднання, порушується співвісність двигуна і коробки передач, виникають додаткові навантаження в корпусних деталях. Вібрація всього трактора прискорює знос і викликає поломки багатьох деталей, тому контроль технічного стану керованого моста колісного трактора є актуальною задачею в галузі експлуатації і ремонту техніки.

У статті представлено методику визначення місця встановлення акселерометрів при віброакустичному діагностуванні керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів.

***Ключові слова:** акселерометр, віброакустичне діагностування, керований міст, трактор, амплітуда коливань, реєстрований сигнал, похибка.*

Вступ. Діагностика і прогнозування ресурсу машин являються одним із важливих напрямів наукових досліджень в галузі експлуатації, технічного обслуговування і ремонту тракторів, автомобілів та інших машин.

Діагностування тракторів дозволяє більш цілеспрямовано вести роботи з технічного обслуговування, повністю використовувати можливості окремих вузлів, попереджуючи одночасно їхній аварійний стан, своєчасно усувати неполадки. Згідно з досвідом застосування технічної діагностики в експлуатації мобільних засобів у нашій країні і за кордоном це є важливою умовою покращення використання мобільних засобів. Це в результаті приводить до зниження затрат на запасні частини, експлуатаційні витрати і передчасний ремонт. Ефективність діагностування буде зростати по мірі удосконалення засобів і методів її проведення та пристосованості тракторів і їх вузлів до проведення діагностування. При поліпшенні оснашеності сільського господарства сучасною технікою, діагностування набуває все більш важливого значення при його використанні. Воно багато в чому залежить від раціональної організації процесу та технічного обслуговування енергетичних засобів.

Постановка проблеми. Залежність реєстрованого сигналу від місця установки акселерометра є важливим фактором для доцільного вибору точки знімання сигналу на корпусі механізму і для визначення допустимої монтажної похибки при установці акселерометра на механізм.

Механізм, як акустична система володіє дуже складною структурою, тому представити конкретні рекомендації щодо вибору місця, в якому слід монтувати акселерометр, неможливо. Рішення повинно прийматися на підставі обґрунтованого експериментального дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Механізм виникнення віброакустичних процесів в агрегатах керованих мостів колісних тракторів має специфічні особливості [1, 2], які визначаються внутрішніми і зовнішніми факторами, що викликані динамічними режимами роботи. В результаті у керованому мості трактора виникає комплекс взаємопов'язаних вібраційних процесів, які умовно поділяються на вимушені, вільні, параметричні і нелінійні [3].

Методи поділу джерел сигналів вібрації при діагностуванні розроблялися в роботах [2, 3], проте, на думку автора роботи [4], при діагностуванні тракторів є ряд специфічних питань, які вимагають розробки та вдосконалення, особливо питання про вплив місця встановлення акселерометра на реєстрацію сигналу.

Мета. Метою дослідження є визначення впливу місця установки віброакустичного датчика на достовірність запису коливальних процесів керованого моста колісного сільськогосподарського трактора.

Результати. Розглянемо монохроматичну хвилю з частотою ω , наведену в механізмі досліджуваної кінематичної пари. Хвиля буде поширюватися до датчика з багатьох шляхів (таких шляхів є безліч). У точці знімання сигналу хвилі будуть складатися і датчик сприйме їх результуючий вплив. З усіх можливих шляхів виділимо наступні два.

Нехай відстані, що проходять хвилі по цих шляхах від місця збурення до датчика, будуть r_1 і r_2 . Тоді амплітуди коливань датчика, викликаних кожною з хвиль, можна виразити таким чином [5]:

$$s_1 = \frac{A_0}{r_1} \cos(\omega t - kr_1) \quad (1)$$

$$s_2 = \frac{A_0}{r_2} \cos(\omega t - kr_2) \quad (2)$$

де A_0 – амплітуда коливань керованого моста трактора безпосередньо після збурення;

$k = \omega/c = 2\pi/\lambda$ - хвильове число;

λ – довжина хвилі віброакустичного сигналу;
 c – швидкість поширення хвилі віброакустичного сигналу.
 Різниця фаз в точці розташування датчика дорівнює

$$\Delta r = r_1 - r_2. \quad (3)$$

Амплітуда A результуючого сигналу визначається наступним співвідношенням:

$$A = \sqrt{A_0 \left(\frac{1}{r_1^2} + \frac{1}{r_2^2} + \frac{2}{r_1 r_2} \cos k\Delta r \right)}. \quad (4)$$

У тих випадках, коли різниця ходу Δr така, що $k\Delta r = \pm 2\pi n$ або $\Delta r = \pm n\lambda$; $n = 1, 2, \dots$, амплітуда результуючого коливання дорівнює сумі

$$A = \frac{A_0}{r_1} + \frac{A_0}{r_2}. \quad (5)$$

Якщо $k\Delta r = (2n + 1)\pi$ або $\Delta r = \pm(2n + 1)\frac{\lambda}{2}$, амплітуда сигналу, що сприймається датчиком, буде дорівнювати різниці

$$A = \frac{A_0}{r_1} - \frac{A_0}{r_2}. \quad (6)$$

Таким чином, максимуми відповідають тим частотам, при яких відбувається складання амплітуд хвиль, що йдуть до датчика різними шляхами. Навпаки, області великого загасання розташовані на тих частотах, при яких хвилі приходять до датчика в протифазі.

Переміщуючи датчик, змінюють шляхи, по яких йдуть до нього збурення від кінематичних пар. Положення максимумів частотної характеристики при цьому буде змінюватися. В принципі, можна знайти на механізмі таку точку, в якій інтерференційні максимуми частотних характеристик каналів, що належать різним кінематичним парам, які не будуть накладатися один на одного. Це дозволить здійснити частотне розділення сигналу. Але загального методу пошуку такої точки на механізмі не існує. Можна тільки з відомим наближенням прогнозувати відстань Δr , на яку потрібно перемістити датчик, щоб резонансний пік ω із частотної характеристики змістився на величину $\Delta\omega$. З виразів (3) - (6) випливає, що $\Delta\omega$ і Δr пов'язані співвідношенням

$$\Delta r = \frac{2\pi c n}{\omega + \Delta\omega}; \quad n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Однак співвідношення (7) не вказує напрямок, в якому потрібно змістити датчик, а також деякі труднощі викликає вибір величини c , оскільки швидкість розподілу збурень в кінцевих середовищах залежить від багатьох факторів.

Залежність частотних характеристик акустичних каналів від місця установки датчика є позитивним фактом, тому що дає можливість коригувати характеристики, але разом з тим вона містить в собі і негативний момент, який необхідно враховувати. Датчик можна встановити в задану точку лише з деяким наближенням і з цим пов'язані певні спотворення сигналу. З'ясуємо, як позначається на вихідному сигналі похибка в установці датчика.

Розглянемо монохроматичну хвилю

$$\psi(r, t) = U(r) \sin \omega t. \quad (8)$$

де $\psi(r, t)$ – величина, що характеризує амплітуду хвилі вектора r в момент часу t .

Аргументом функції $U(r)$ служить вектор r , що задає положення точки знімання

сигналу. Виберемо найбільш несприятливий випадок, коли напрямок помилки Δr в установці датчика збігається з напрямком градієнта функції $U(r)$. Нехай тоді функція $U(r) = A \sin kr$, де r - модуль вектора, а k - хвильове число.

Амплітуди коливань двох точок, що знаходяться на відстані Δr , будуть відрізнятися між собою на величину

$$\Delta A = A \sin kr - A \sin k(r - \Delta r) \approx 2A \cos k\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right) \sin \frac{k\Delta r}{2}. \quad (9)$$

Звідси відносна зміна амплітуди

$$\delta = \frac{\Delta A}{A} = 2 \cos k\left(r + \frac{\Delta r}{2}\right) \sin \frac{k\Delta r}{2}. \quad (10)$$

Для малих Δr маємо

$$\delta = \sin k\Delta r = k\Delta r = \frac{\omega}{c} \Delta r. \quad (11)$$

Задаючись певною величиною допустимої відносної похибки δ в амплітуді сигналу і шириною робочого діапазону частот, можна встановити за формулою (11) допустиму похибку в установці датчика Δr [5].

Для виконання операцій віброакустичного діагностування керованих мостів колісних тракторів розроблена система (рис. 1, а) на базі персональної електронно-обчислювальної машини та стандартних п'єзокерамічних приймачів прискорень KD-35 (акселерометрів) [6].

Розроблена система діагностування керованих мостів колісних тракторів (рис. 1, б) складається з двох акселерометрів, які встановлені на висувних трубах переднього моста (перший акселерометр – зліва, другий – справа), мультиплектора, аналого-цифрового перетворювача, обчислюючого пристрою, результат з якого можна відобразити на моніторі та друкуючому пристрої.

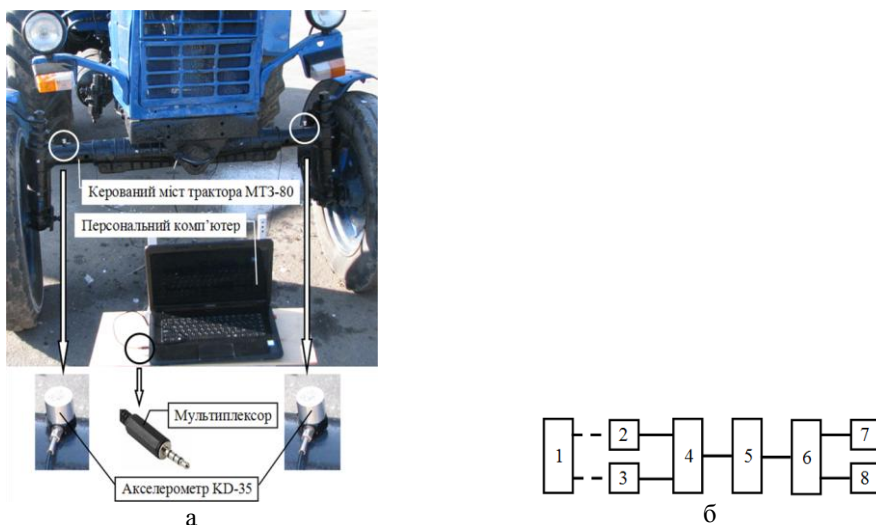


Рис. 1. Система діагностування керованих мостів колісних тракторів:
а – загальний вигляд; б – структурна схема; 1 – керований міст трактора;
2, 3 – акселерометри; 4 – мультиплексор; 5 – аналого-цифровий перетворювач;
6 – обчислюючий пристрій; 7 – монітор; 8 – друкуючий пристрій

Для визначення впливу місця встановлення акселерометрів на реєстрацію сигналу встановимо акселерометри на балку (рис. 2), а потім на висувні труби (рис. 3) керованого моста трактора МТЗ-80.

На рис. 4 представлено осцилограму віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на балці моста, а на рис. 5 - осцилограму віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на висувній трубі моста. За допомогою спектрального аналізу (рис. 6) осцилограм віброприскорення видно, що при установці акселерометра на балці моста значення амплітуди більше, ніж при установці акселерометра на висувній трубі моста.



Рис. 2. Установка акселерометра на балці моста трактора МТЗ-80



Рис. 3. Установка акселерометра на висувній трубі моста трактора МТЗ-80

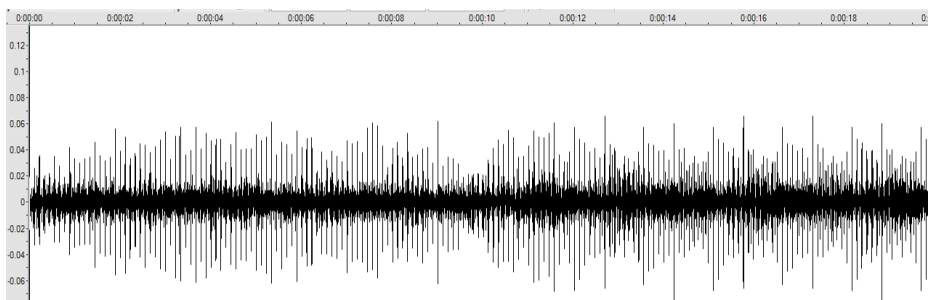


Рис. 4. Осцилограма віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на балці моста



Рис. 5. Осцилограма віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на висувній трубі моста

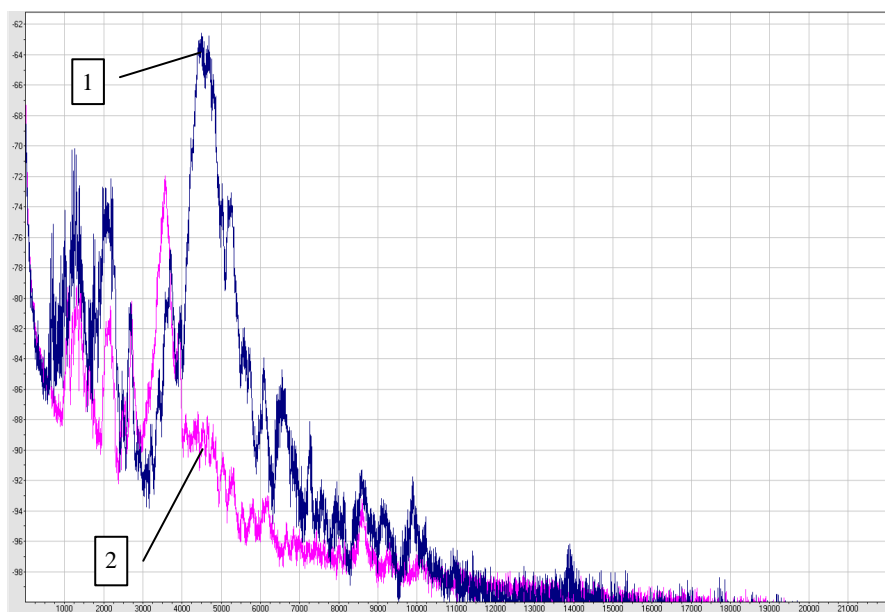


Рис. 6. Спектральний аналіз осцилограм віброприскорення:
1 - віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на балці моста; 2 - віброприскорення керованого моста трактора МТЗ-80 при установці акселерометра на висувній трубі моста

Така різниця пояснюється тим, що акселерометр, який встановлений на балці моста більше сприймає аеродинамічний шум вентилятора двигуна внутрішнього згорання, ніж акселерометр, який встановлений на висувній трубі моста. Тому при діагностуванні керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів акселерометри потрібно встановлювати саме на висувній трубі керованого моста трактора (див. рис. 3).

Висновки і перспективи. Проведені дослідження надали змогу зробити наступні висновки:

- при зміні параметрів окремих елементів керованого моста зміниться відповідним чином амплітудно-частотна характеристика.
- визначення частотних характеристик є основою діагностування керованих мостів колісних тракторів.
- визначення місця встановлення акселерометрів при віброакустичному діагностуванні керованих мостів колісних тракторів є важливою складовою визначення технічного стану, що супроводжується зменшенням похибки вимірювання фізичних величин.
- проведені експериментальні дослідження підтвердили можливість застосування даної методики для діагностування керованих мостів колісних тракторів. Дану методику можна застосовувати для діагностування інших вузлів і агрегатів тракторів, а також сільськогосподарських машин.

Список використаних джерел

1. Ополоник Т.Н. Эффективность диагностирования тракторов. Москва : Росагропромиздат, 1988. 124 с.
2. Кухтов В.Г. Долговечность деталей шасси колесных тракторов. Харьков : РИО ХНАДУ,

2004. 291 с.

3. Карасев В.А., Райтман А.Б. Доводка эксплуатационных машин. Вибродиагностические методы. Москва: Машиностроение, 1986. 88 с.
4. Мигаль В.Д. Вибродиагностика машин при эксплуатации. Харьков : ХГПУ, 1997. 293 с.
5. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов. Москва : Машиностроение, 1971. 224 с.
6. Малкин В.С. Техническая диагностика. Санкт-Петербург : Лань, 2013. 272 с.
7. Носов В.В. Диагностика машин и оборудования. Санкт-Петербург : Лань, 2012. 384 с.
8. Mangey Ram, J. Paulo Davim. Diagnostic Techniques in Industrial Engineering. Cham : Springer International Publishing AG, 2018. 254 p.
9. Борисюк Д.В., Яцковський В.І. Системи вимірювання та аналізу вібрації, удару і шуму. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. Вип. 4 (72). С. 5-12.
10. Борисюк Д.В., Яцковський В.І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. 2015. Вип. 1 (89). С. 16-20.
11. Борисюк Д.В., Яцковський В.І. Діагностування передніх мостів колісних тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2015. Вип. 2 (90). С. 43-46.
12. Kline W.A., Sriram R., DeVor R. E., Kapoor S. G. Process monitoring for machine tools. *International Journal of COMADEM*. 2004. Vol. 7(2). P. 12-17.
13. Velychko O., Gordiyenko T., Kolomiets L. A comparative analysis of results of the group expert assessment of metrological assurance of measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 6, No 9 (90). P. 30-37.
14. Борисюк Д.В., Руткевич В.С. Патент на корисну модель № 108395 «Система діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів» / бюл. №13, 2016.

Дата надходження статті до редакції : 06.10.2017
Рецензування 06.11.2017 Прийняття в друк: 14.12.2017

Borysiuk D.V.¹

Engineer

Department of automobiles and transport management

Faculty of Mechanical Engineering and Transport

E-mail: bddv@ukr.net

Spirin A.V.²

PhD (Technics), Associate Professor

Department of general technical sciences and labor protection

Faculty of Mechanization of Agriculture

E-mail: spirin Anatoly16@gmail.com

Tverdokhlib I.V.²

PhD (Technics), Senior Lecturer

Department of general technical sciences and labor protection

Faculty of Mechanization of Agriculture

E-mail: igor_tverdokhlib@yahoo.com

Tomchuk V.V.²

Assistant Professor

Department of operation of machine-tractor park and technical service

Faculty of Mechanization of Agriculture

E-mail: Vasilij_tomchuk@ukr.net

¹ Vinnytsia National Technical University
Vinnytsya, Ukraine

² Vinnytsia National Agrarian University
Vinnytsya, Ukraine

ACCELEROMETER LOCATION TECHNIQUE IN TERMS OF VIBROACOUSTIC DIAGNOSTICS OF STEERING AXLE FOR WHEELED TRACTORS

Abstract

Tractors experience vibration and road shocks while moving the rasping surface of the road. The main units that protect the tractor from the dynamic effect of the road that reduce vibrations are steering axle and tires. Tractor steering axle in roadworthy condition provides optimal car control, traffic safety, service life and performance reliability. Faulty components of tractor steering axle make car control and tractor durability worse, impair the safety and degrade ergonomic characteristics. Faulty steering axle causes vibration of the tractor frame. As a result, riveted and threaded joints are released, the alignment of the engine and gearbox is set out, and additional load in main parts arises. Vibration of the tractor accelerates wear and causes detail failure. Therefore, mechanical validation of steering axle is an up-to-date issue in operation and maintenance. The primary concern of this study is to examine the influence of vibroacoustic transmitter location on vibration recording reliability of tractor steering axle.

New technique for determining the location of the accelerometer in terms of vibroacoustic diagnostics of tractor steering axle is suggested by the author.

Keywords: accelerometer, vibroacoustic diagnostics, driven bridge, tractor, amplitude of oscillations, recorded signal, error.

References

1. Opolonik, T.N. (1988). *The effectiveness of diagnostics of tractors*. Moscow : Rosagropromizdat [in Rus.].
2. Kukhtov, V.G. (2004). *Durability of parts of the chassis of wheeled tractors*. Kharkiv : RIO KHNADU [in Rus.].
3. Karasev, V.A. & Raytman, A.B. (1986). *Operation of operational machines. Vibrodiagnostic methods*. Moscow : Mashinostroyeniye [in Rus.].
4. Migal, V.D. (1997). *Vibration diagnostics of machines during operation*. Kharkiv : KHGPU [in Rus.].
5. Pavlov, B.V. (1971). *Acoustic diagnostics of mechanisms*. Moscow : Mashinostroyeniye [in Rus.].
6. Malkin, V.S. (2013). *Technical diagnostics*. St. Petersburg : Lan [in Rus.].
7. Nosov, V.V. (2012). *Diagnosis of machinery and equipment*. St. Petersburg : Lan [in Rus.].
8. Ram, Mangey & Davim, J. Paulo. (2018). *Diagnostic Techniques in Industrial Engineering*. Cham : Springer International Publishing AG.
9. Borisyuk, D.V. & Yatskovskiy, V.I. (2013). Systems for measuring and analyzing of vibration, impact and noise. *Vibration in engineering and technology*, 4 (72), 5-12 [in Ukr.].
10. Borisyuk, D.V. & Yatskovskiy, V.I. (2015). Methods and means of diagnosing tractors. *Proceedings of the Vinnitsa National Agrarian University. A series of technical science*, 1 (89), 16-20 [in Ukr.].
11. Borisyuk, D.V. & Yatskovskiy, V.I. (2015). Diagnosis of front axles of wheeled tractors. *Technology, energy, agriculture transport AIC*, 2 (90), 43-46 [in Ukr.].
12. Kline, W.A., Sriram, R., DeVor, R.E., & Kapoor, S.G. (2004). Process monitoring for machine tools. *International Journal of COMADEM*, 7(2), 12-17.
13. Velychko, O., Gordiyenko, T., & Kolomiets, L. (2017). A comparative analysis of results of the group expert assessment of metrological assurance of measurements. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6, 9 (90), 30-37.
14. Borysiuk, D.V. & Rutkevich V.S. (2016). *Diagnostic system of driven bridges of wheeled agricultural tractors*. Patent for utility model, no. 108395. byul. 13. Kyiv. [in Ukr.]

Received: October 06, 2017

Revision: November 6, 2017 Accepted: December 14, 2017