

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

БОРИСЮК ДМИТРО ВІКТОРОВИЧ



УДК 629.1.02

**ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ
КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ**

Спеціальність 05.22.20 – Експлуатація та ремонт засобів транспорту

Технічні науки

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Житомир – 2020

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України, м. Вінниця.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
Біліченко Віктор Вікторович,
Вінницький національний технічний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Вінниця,
завідувач кафедри автомобілів та транспортного
менеджменту.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Полянський Олександр Сергійович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
м. Харків, професор кафедри технології
машинобудування та ремонту машин;

доктор технічних наук, професор
Аулін Віктор Васильович,
Центральноукраїнський національний технічний
університет Міністерства освіти і науки України,
м. Кропивницький, професор кафедри експлуатації
та ремонту машин.

Захист відбудеться «23» грудня 2020 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 14.052.02 у Державному університеті «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, аудиторія №248.

Із дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Державного університету «Житомирська політехніка» за адресою: 10005, м. Житомир, вул. Чуднівська, 103, або за веб-адресою : https://ztu.edu.ua/ua/science/sp_academic_council-K1405202.php

Автореферат розісланий «23» листопада 2020 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої
ради К14.052.02

канд. техн. наук, доц.



О.А. Громовий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Машинно-тракторний парк підприємств є важливою ланкою з виробництва продукції різних галузей промисловості України. Від його ефективної роботи в значній мірі залежать своєчасне виконання транспортних, сільськогосподарських, дорожньо-будівельних та інших робіт, і в кінцевому випадку собівартість продукції чи послуг.

Збільшення використання ресурсу, або терміну безвідмовної роботи колісних тракторів досягається шляхом розробки та впровадження ефективних методів і засобів контролю технічного стану без демонтажу відповідних вузлів і агрегатів. Це дозволяє визначати загальний обсяг профілактично-ремонтних операцій і своєчасно запобігати виникненню та усувати несправності.

Різноманітність умов експлуатації колісних тракторів обумовлює неоднакові терміни зношування різних деталей, в тому числі деталей керованих мостів, при цьому до ремонтних підприємств надходять трактори з невикористаним ресурсом основних агрегатів до 40...70%, а в найбільш напружений період функціонування виробництва внаслідок несправності простоює до 13% тракторів машинно-тракторного парку.

Нерівності дорожнього покриття та викликані ними коливання рами і коліс трактора призводять до погіршення експлуатаційно-технічних показників і значного зменшення ресурсу роботи трактора, і в кінцевому результаті виникнення несправності вузлів і агрегатів, в тому числі і керованого моста трактора. Пошук несправності керованого моста колісного трактора за існуючих методів займає 50...60% від загального часу ремонту. Усунути дану проблему можливо за рахунок вдосконалення процесу діагностування керованих мостів колісних тракторів.

У зв'язку з цим, розробка удосконалених методів технічного діагностування керованих мостів колісних тракторів для підвищення техніко-експлуатаційних показників їх роботи є актуальним науково-технічним завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Матеріали дисертації є узагальненням досліджень, що виконані у межах комплексних цільових програм, концепцій та наказів: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р., №430-р); «Про затвердження Правил експлуатації колісних транспортних засобів» (Наказ Міністерства інфраструктури України від 26.07.2013 р., №550).

Виконана робота є частиною ініціативної науково-дослідної тематики Вінницького національного аграрного університету «Розробка нових методів діагностування автотракторної техніки, яка працює на різних видах палива» від 12 вересня 2012 року №0112U006701.

Дослідження з теми дисертації належить до основних наукових напрямків кафедри автомобілів та транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету.

Мета і завдання дослідження. *Метою роботи* є підвищення ефективності функціонування та безпеки експлуатації колісних тракторів шляхом удосконалення методу вібродіагностування їх керованих мостів та обґрунтування його параметрів.

Для досягнення мети поставлені такі *завдання*:

- провести аналіз методів і засобів визначення технічного стану керованих мостів колісних тракторів та на його основі виконати вибір і обґрунтування параметрів для діагностування вузлів керованих мостів колісних тракторів;
- провести теоретичні дослідження коливання керованих мостів колісних тракторів та їх вплив на стійкість руху транспортного засобу;
- розробити матрицю діагностування керованих мостів колісних тракторів, що описує взаємозв'язок між можливими несправностями вузлів і ознаками цих несправностей та математичну модель коливань керованого моста колісного трактора в залежності від відхилення параметрів регулювання його вузлів;
- розробити удосконалений метод визначення технічного стану керованих мостів колісних тракторів на основі вібраційного методу діагностування та автоматизованої діагностичної системи;
- провести експериментальні дослідження запропонованого методу діагностування і на їх основі розробити емпіричні моделі залежності зміни параметрів вібрації та коефіцієнтів віброприскорення і резонансної частоти справного та розрегульованого керованого моста колісного трактора залежно від параметрів процесу;
- провести оцінку розробленого методу і автоматизованої системи діагностування керованих мостів колісних тракторів у виробничих умовах.

Об'єкт дослідження – процес діагностування керованого моста колісного трактора за параметрами вібрації.

Предмет дослідження – взаємозв'язок величини розрегулювання вузлів керованого моста колісного трактора і параметрів вібродіагностування.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базувалися на математичному моделюванні процесів руху трактора та вібродіагностуванні керованого моста із використанням основних положень теоретичної механіки, теорії машин і механізмів, вищої математики, теорії диференційних рівнянь перетворення Лапласа, спектрального аналізу та статистичної динаміки. Експериментальні дослідження вібродіагностування керованого моста колісного трактора проводилися в дорожніх умовах згідно з методикою математичного планування та проведення планованих факторних експериментів і випробувань. Багатофакторний експеримент та обробка експериментальних даних проводилися з використанням прикладних програм для персонального комп'ютера.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше встановлено взаємозв'язок між власними та вимушеними вертикальними коливаннями керованого моста колісного трактора залежно від відхилення параметрів регулювання.

2. Вперше розроблено матрицю діагностування та на основі її синтезу формалізовано модель вібродіагностування вузлів керованого моста колісного трактора.

3. Вперше формалізовано емпіричні моделі, які характеризують зміну параметрів вібрації та коефіцієнтів віброприскорення і резонансної частоти вузлів розрегульованого керованого моста у статичному стані залежно від тиску повітря у шинах коліс і моментів загвинчування гвинтових пар, та додатково швидкості

руху колісного трактора і мікропрофілю дорожнього покриття для дослідження як власних так і вимушених коливань у динамічному стані.

4. Уточнено метод визначення несправностей керованого моста на основі застосування спектрального аналізу з уточненими частковими і загальними середніми коефіцієнтами віброприскорення і резонансної частоти.

5. Отримав подальший розвиток удосконалений метод визначення технічного стану керованих мостів колісних тракторів.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано удосконалену конструктивну схему та експериментально обґрунтовано параметри комплексу для проведення діагностування керованих мостів колісних тракторів. Запропоновано методику визначення місця встановлення акселерометрів на керованому мості колісного трактора для доцільного вибору точки фіксації сигналу. Удосконалено методику виявлення несправностей за допомогою спектрального аналізу осцилограм віброприскорення. Результати використання підтвердили ефективність процесу вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів у виробничих умовах, що дозволило запропонувати рекомендації для вибору його раціональних параметрів.

Результати роботи впроваджені в навчальний процес кафедри автомобілів і транспортного менеджменту Вінницького національного технічного університету при вивченні дисциплін «Основи технічної діагностики автомобілів» і «Сучасні методи та системи діагностування транспортних засобів» з напрямку підготовки – 274 «Автомобільний транспорт», а також в технічній експлуатації тракторів фермерського господарства «Бухнівське» (с. Бухни, Вінницька обл.), Тульчинської філії «СП Агромаш» ТОВ «Яромирмаш» (м. Тульчин, Вінницька обл.) і транспортної дільниці Вінницького національного технічного університету.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні результати за темою дисертації здобувачем отримано особисто.

Результати роботи викладено у 35 працях, з них 12 – одноосібні [3, 4, 17, 19, 20, 22, 23, 29, 30, 31, 33, 34]. У публікаціях, що виконані у співавторстві, дисертантові належить наступне: [1] – проведено аналіз існуючих методів і технічних засобів діагностування тракторів; [2] – проведено аналіз існуючих методів і технічних засобів діагностування керованих мостів колісних тракторів; [5] – проведено аналіз існуючих систем діагностування тракторів; [6] – отримано умову стійкості руху керованого моста колісного трактора; [7] – розроблено математичну модель власних коливань керованого моста колісного трактора; [8] – розглянуто методику встановлення акселерометрів при вібродіагностуванні машин і механізмів; [9] – проведено аналіз процесу цифрової обробки віброакустичних сигналів; [10] – розроблено методику контролю моменту загвинчування нарізних з'єднань під час проведення експериментів; [11] – представлено математичний опис процесу вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів; [12] – запропоновано методику визначення місця встановлення акселерометрів при діагностуванні керованих мостів колісних тракторів; [13] – розроблено матрицю і математичну модель діагностування керованих мостів колісних тракторів; [14] – проведено аналіз впливу коливання керованого моста на стійкість руху трактора; [15] – представлено метод вібродіагностування керованих мостів колісних

тракторів; [16] – представлено розроблене обладнання для вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів; [18] – представлено переваги діагностування тракторів і автомобілів; [21] – запропоновано класифікацію засобів діагностування керованих мостів колісних тракторів; [24] – представлено переваги діагностування керованих мостів колісних тракторів на безпеку праці механізаторів; [25] – представлено огляд методів віброакустичного діагностування машин; [26] – запропоновано спосіб діагностування керованих мостів колісних тракторів; [27] – запропоновано систему вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів; [28] – проведено огляд систем віброакустичного діагностування машин; [32] – розроблено методика розрахунку економічної ефективності впровадження процесів та засобів технічного діагностування тракторів; [35] – досліджено питання впливу стану опорної поверхні і геометричних параметрів колеса трактора на швидкість його руху та частоту коливань.

Апробація роботи. Основні положення і результати досліджень доповідалися та отримали позитивну оцінку на: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні агротехнології: тенденції та інновації» (м. Вінниця, 2015 р.) [15]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Сучасні тенденції розвитку техніки та технологій в агропромисловому виробництві» (м. Ніжин, 2016 р.) [16]; Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика сучасної науки» (м. Дніпро, 2017 р.) [17]; XLVI-й науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця, 2017 р.) [18]; III-й Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» (м. Житомир, 2017 р.) [19]; V-й Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 2017 р.) [20]; III-й Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2017 р.) [21]; X-й Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту» (м. Вінниця, 2017 р.) [22]; XLVII-й науково-технічній конференції факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету (м. Вінниця, 2018 р.) [23]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Цивільна безпека як чинник розвитку виробничої та невиробничої сфер суспільства» (м. Луцьк, 2018 р.) [24]; VI-й Міжнародній конференції «Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій» (м. Вінниця, 2018 р.) [25]; Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми функціонування господарської системи України» (м. Львів, 2017 р.) [30]; Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційне суспільство (технологічні, економічні та технічні аспекти становлення)» (м. Тернопіль, 2017 р.) [31]; VI-й Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку авто-мобільного транспорту» (м. Вінниця, 2018 р.) [34].

В повному обсязі робота доповідалась на розширеному міжкафедральному науковому семінарі факультету машинобудування та транспорту Вінницького національного технічного університету в 2020 р. та на розширеному засіданні

кафедри автомобілів і транспортних технологій Державного університету «Житомирська політехніка» в 2020 р.

Публікації. Основні результати досліджень за темою дисертації опубліковано в 35 наукових працях, із них – 17 статей в фахових виданнях України, 2 статті в рецензованих зарубіжних виданнях, 2 патенти на корисну модель України та 14 тез доповідей та матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури зі 190 найменувань та 32 додатків. Основна частина виконана на 202 сторінках, містить 76 рисунків і 7 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі розглянуто існуючі методи і процеси реалізації діагностики керованих мостів колісних тракторів, класифікацію та аналіз параметрів і засобів діагностування, недоліки методів вібродіагностування, а також обґрунтовано вибір удосконаленого методу діагностування для проведення досліджень.

Значний внесок у розробку методів створення і вдосконалення технічної експлуатації колісних транспортних засобів здійснили вчені: Анілович В.Я., Говорущенко Н.Я., Міхлін В.М., Арінін І.Н., Аллілуєв В.А., Полянський О.С., Біліченко В.В., Гринченко О.С., Голубєв І.Г., Лебедев А.Т., Кухтов В.Г., Аулін В.В., Козаченко О.В. та інші; у вдосконалення методів аналітичного та прикладного діагностування систем та агрегатів колісних транспортних засобів: Наглюк М.І., Сахно В.П., Мигаль В.Д., Гриньків А.В. У них для аналітичного опису вібродіагностування технічних об'єктів пропонують проводити заміну реальних технічних пристроїв їх ідеалізованими моделями. Найбільш універсальною моделлю об'єкта діагностування є його подання у вигляді «чорного ящика», вхідні і вихідні параметри якого мають кінцеву множину значень.

Нами для опису об'єкта діагностики у вигляді «чорного ящика» (рис. 1) запропоновано: надавати кількість вхідних дій Y залежно від стимулюючих

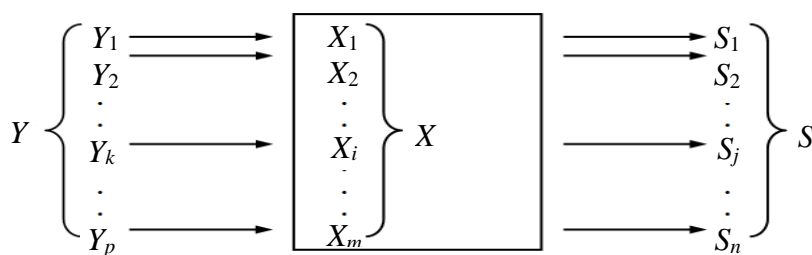


Рис. 1. Схема об'єкта діагностування

пристроїв і зовнішнього середовища; кількість вихідних ознак несправності S ; кількість всіх несправностей об'єкта діагностування X ; оператор A , який перетворює кількості X та Y в кількість S , яка змінюється по заданому

закону згідно з аналітичною функцією $S = A\{Y; X\}$, або $S = A\{X\}$.

У цьому контексті методологія діагностування несправностей керованого моста колісного трактора базується на реалізації принципів безрозбірності, універсальності методів і засобів, комплексності приладів і установок, забезпеченні високої оперативності і ефективності їх використання.

У другому розділі представлено теоретичні передумови дослідження стійкості руху колісного трактора і коливань керованого моста, а також математичну модель керованого моста колісного трактора, як об'єкта діагностування.

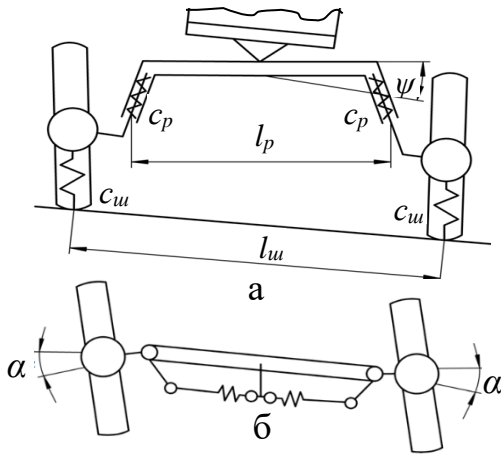


Рис. 2. Розрахункова схема визначення коливань керованого моста колісного трактора: а – вид спереду; б – вид зверху

Під час руху трактора (рис. 2) можливі такі переміщення мас керованого моста: кутове переміщення балки моста в вертикально-поперечній площині відносно координати ψ ; кутове коливання коліс відносно шворня в горизонтальній площині по координаті α . Визначивши коефіцієнт кутової жорсткості підвіски коліс у вертикально-поперечній площині та коефіцієнт жорсткості шини c_{uu} , які запропоновано Бідерманом В.Л., отримано залежність для визначення частоти ω_ψ власних кутових коливань керованого моста

$$\omega_\psi = \sqrt{(c_p \cdot l_p^2 + c_{uu} \cdot l_{uu}^2) / 2 \int r_o^2 dm_c}, \quad (1)$$

де l_p , l_{uu} – ресорна база і колія моста, м; r_o – відстань до осі повороту моста, м; m_c – маса динамічної системи, кг.

Власні коливання залежать від характеристики нерівностей дорожнього покриття, швидкості руху трактора, параметрів моста та трактора, які визначають їх властивості.

Вертикальні переміщення (рис. 3а) підресореної маси m_{nd} (кг) позначимо через z (м), а непідресореної маси m_{hnd} – через ξ . Рівняння руху підресореної і непідресореної мас мають вигляд:

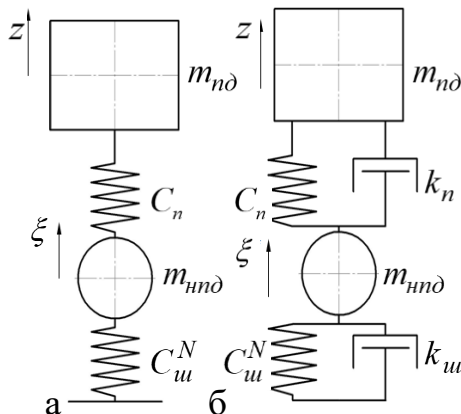


Рис. 3. Схема до визначення власних коливань трактора: а, б – відповідно, без урахування та з урахуванням згасання

$$m_{nd} \frac{d^2 z}{dt^2} + C_n(z - \xi) = 0; \quad (2) \quad m_{hnd} \frac{d^2 \xi}{dt^2} + C_n(z - \xi) + C_{uu}^N \xi = 0, \quad (3)$$

де C_n , C_{uu}^N – відповідно, коефіцієнти нормальної жорсткості непідресореної та підресореної мас, кг/с².

На відміну від схеми (рис. 3а), схема коливної системи з елементами опору (рис. 3б) доповнена непружними елементами з коефіцієнтами опору керованого моста k_n і шини k_{uu} колісного трактора, які зумовлюють виникнення згасаючих коливань, при цьому отримано диференціальне рівняння руху непідресореної маси керованого моста

$$\frac{d^2 \xi}{dt^2} - \psi_{hnd} \left(\frac{dz}{dt} - \frac{d\xi}{dt} \right) - \omega_{nd}^2 \frac{m_{nd}}{m_{hnd}} z + \omega_{hnd}^2 \xi = 0, \quad (4)$$

де $\psi_{hnd} = k_n / m_{hnd}$ – коефіцієнт затування коливань керованого моста, с⁻¹; k_n – коефіцієнт опору керованого моста, кг/с.

Підставивши у (4), що $z=0$, $\vartheta_z = dz/dt = 0$ та після розв'язку рівняння методом інтегрування його виразу відносно переміщення непідресореної маси ξ та за постійних інтегрування $C_{1hnd} = A_{0hnd} \cos \varphi_{0hnd}$ і $C_{2hnd} = A_{0hnd} \sin \varphi_{0hnd}$ (де A_{0hnd} , φ_{0hnd} – максимальна початкова амплітуда та фаза згасання коливань непідресореної маси), отримано залежність зміни вертикального переміщення непідресореної маси

$$\xi = e^{-t\psi_{hnd}} \left[C_{1hnd} \cos(\sqrt{1 - \tilde{\psi}_{hnd}^2} t) + C_{2hnd} \sin(\sqrt{1 - \tilde{\psi}_{hnd}^2} t) \right]. \quad (5)$$

Вимушені коливання керованого моста колісного трактора розглянуто під

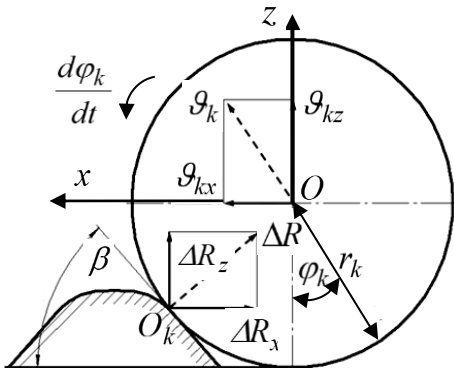


Рис. 4. Схема до розрахунку вимушених коливань керованого моста

час його руху по нерівності дорожнього покриття (рис. 4).

З урахуванням визначеної додаткової поздовжньої реакції $\Delta R_{x\Sigma}(H)$ дорожнього покриття, отримано систему рівнянь рівноваги керованого моста колісного трактора

$$\begin{cases} \left(m_{n\partial} + \sum_{i=1}^{2n_0} m_{m\partial i} \right) \frac{d^2 z_c}{dt^2} + \sum_{i=1}^{2n_0} \Delta R_{z_i} = 0; \\ \left(m_{n\partial} + \sum_{i=1}^{2n_0} m_{m\partial i} \right) \frac{d^2 x_k}{dt^2} + \sum_{i=1}^{2n_0} \Delta R_{x_i} = 0; \\ J_k \frac{d^2 \beta_{kpx}}{dt^2} + \sum_{i=1}^{2n_0} \Delta R_{z_i} l_c + h_n \sum_{i=1}^{2n_0} \sum \Delta R_{x_i} = 0, \end{cases} \quad (6)$$

де z_c – узагальнююча координата, м; β_{kpx} – кут нахилу (крену) керованого моста, рад.; l_c – відстань від центра мас до керованого моста трактора, м; h_n – статична деформація пружних елементів керованого моста трактора, м, ΔR_x , ΔR_z – вертикальна та горизонтальна складові нормальної реакції дорожнього покриття, Н; x_k – поздовжнє переміщення колеса, м.

Застосуванням методів прямого та зворотного перетворення Лапласа, визначено передаточну функцію відносних коливань керованого моста та отримано залежність для їх визначення, яку записано в операторній формі

$$W_z(p) = \frac{(m_{n\partial} p^2 - A_{n\partial})}{(A_{n\partial} + 2k_n p + 4C_n) + \frac{2A_{n\partial}}{m_{n\partial} p} (k_n + C_n)}; \quad (7) \quad z_{\partial i \partial}(p) = \frac{(m_{n\partial} p^2 - A_{n\partial}) q_i(p)}{(A_{n\partial} + 2k_n p + 4C_n) + \frac{2A_{n\partial}}{m_{n\partial} p} (k_n + C_n)}. \quad (8)$$

Для розробки діагностичної моделі було складено матрицю діагностування (табл. 1) та блок-схему синтезу матриці діагностування (рис. 5), де можливі несправності керованих мостів колісних тракторів позначено як: x_1 – знос робочих поверхонь шарніра в рульовій тязі; x_2 – злам пружин моста; x_3 – втрати пружності пружин моста; x_4 – знос або руйнування підшипників маточини; x_5 – ослаблення затяжки гайки конічних підшипників маточини; x_6 – знос втулок поворотної цапфи; x_7 – порушене регулювання сходження передніх коліс; x_8 – ослаблення затяжки гайки поворотної цапфи; x_9 – ослаблення затяжки гайки стяжного болта балки моста; x_{10} – ослаблення затяжки болта нижньої втулки поворотної цапфи; x_{11} – ослаблення затяжки нарізного з'єднання маточини з диском колеса; x_{12} – ослаблення затяжки гайки шарового пальця рульової тяги; x_{13} – ослаблення затяжки нарізного з'єднання рульової тяги із сошкою гідропідсилювача рульового керування; x_{14} – знос робочої поверхні пальця кріплення балки з висувною трубою моста; x_{15} – високий тиск повітря в шинах; x_{16} – низький тиск повітря в шинах.

Таблиця 1 – Матриця діагностування керованих мостів тракторів МТЗ-80

Несправність	Ознака несправності									
	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7	S_8	S_9	S_{10}
x_1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1
...
x_{16}	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

Також до матриці введено ознаки вказаних несправностей: S_1 – биття колеса при русі по прямій; S_2 – люфт рульового колеса; S_3 – різкі поштовхи і удари, що

передаються до напіврами при русі по нерівностях; S_4 – нахил передньої частини трактора на бік; S_5 – скрип в маточині; S_6 – стуки в поворотних кулаках; S_7 – некерованість трактора при їзді по прямій; S_8 – трактор «веде» в сторону при русі по рівній дорозі; S_9 – підвищений знос шин передніх коліс; S_{10} – підвищена вібрація моста.

На основі аналізу наявних ознак існуючих несправностей отримано систему рівнянь (9) для матриці діагностування керованих мостів колісних тракторів і зворотне перетворення матриці у вигляді системи булевих функцій (10):

$$\begin{cases} S_1 = x_1 + x_4 + x_5 + x_{11} + x_{12}; & S_2 = x_1; & S_3 = x_2 + x_3; & S_4 = x_2; & S_5 = x_4 + x_5; \\ S_6 = x_6 + x_8 + x_{10}; & S_7 = x_1 + x_6 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}; \\ S_8 = x_7 + x_{11}; & S_9 = x_7 + x_{11} + x_{15} + x_{16}; & S_{10} = x_1 + x_3 + x_4 + x_5 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15}. \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} x_1 = S_1 S_2 S_7 S_{10}; & x_2 = S_3 S_4; & x_3 = S_3 S_{10}; & x_4 = S_1 S_5 S_{10}; & x_5 = S_1 S_5 S_{10}; & x_6 = S_6 S_7; \\ x_7 = S_8 S_9 S_{10}; & x_8 = S_6 S_7 S_{10}; & x_9 = S_7 S_{10}; & x_{10} = S_6 S_7 S_{10}; & x_{11} = S_1 S_7 S_8 S_9 S_{10}; \\ x_{12} = S_1 S_7 S_{10}; & x_{13} = S_7 S_{10}; & x_{14} = S_7 S_{10}; & x_{15} = S_7 S_9 S_{10}; & x_{16} = S_7 S_9. \end{cases} \quad (10)$$

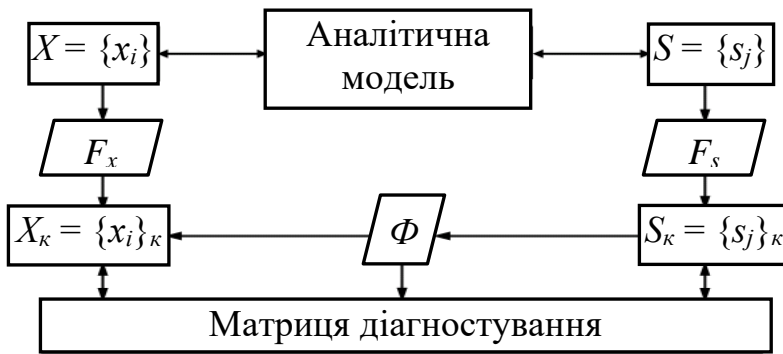


Рис. 5. Блок-схема синтезу матриці діагностування: $X = \{x_i\}$ – нескінченна кількість технічних станів; $X_k = \{x_i\}_k$ – кінцева кількість технічних станів; $S = \{s_j\}$ – нескінченна множина ознак технічних станів; $S_k = \{s_j\}_k$ – кінцева множина ознак технічних станів; F_x – оператор, що перетворює кількість $\{x_i\}$ у кількість $\{x_i\}_k$; F_s – оператор, що перетворює кількість $\{s_j\}$ у кількість $\{s_j\}_k$; Φ – оператор, що перетворює кількість технічних станів у кількість діагностичних параметрів

справностей у кількість структурних несправностей було однозначним.

Якщо при синтезі діагностичної матриці не виконана ця умова (див. рис. 5) і в системі є дві або більше рівних функцій, тоді перелік діагностичних параметрів необхідно доповнити новим параметром, який увійшов би в якості додаткового аргументу тільки в одну з розглянутих рівних функцій.

У третьому розділі наведено програму експериментальних досліджень вібродіагностування керованого моста, опис експериментальної установки, стандартні та розроблені методики проведення, обробки і аналізу результатів експериментів.

Для проведення експериментальних досліджень використовували серійний керований міст колісного трактора МТЗ-80 (рис. 6). Перелік точок розрегулювання вузлів керованого моста колісного трактора МТЗ-80 наведено в табл. 2.

На основі аналізу моделі об'єкта діагностування, яку виражено у вигляді діагностичної матриці, процес постановки діагнозу складається із наступних етапів: шляхом відповідних вимірювань і перетворень встановлюються ознаки всіх несправностей S_1, S_2, \dots, S_n ; значення діагностичних параметрів підставляють у систему булевих функцій (рис. 1); обчислюють значення всіх булевих функцій несправностей x_i ($i = 1, 2, \dots, m$), причому, якщо $x_i = 1$, то в об'єкті є i -та несправність. Тоді умова здійснення діагностування у загальному вигляді формулюється так: для здійснення діагностування достатньо, щоб зворотне перетворення кількості ознак не-

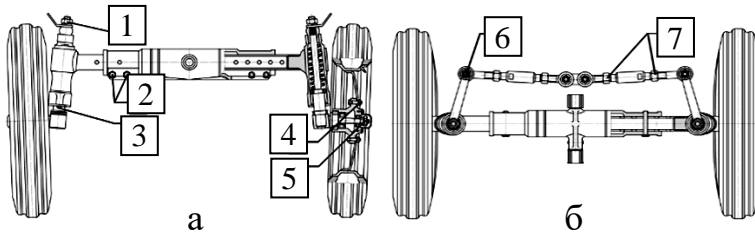


Рис. 6. Схема керованого моста: а – вид спереду; б – вид зверху; 1...7 – точки розрегулювання

Експериментальна система діагностування керованого моста (рис. 7) колісного трактора має два акселерометри, які встановлено на висувних трубах за допомогою магнітних вставок, мультиплексор і персональний компютер.

Таблиця 2 – Результати кодування та рівні варіювання факторів

Фактори	Познач.	Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання (натуральні/кодовані)		
Тиск повітря у шинах P_n , МПа	P_n	0,04	0,17/-1	0,21/0	0,25/+1
Момент загвинчування гвинтової пари M_{in} , Нм:					
- точка 1	M_{1n}	30	170/-1	200/0	230/+1
- точка 2, 3	M_{3n}	40	120/-1	160/0	200/+1
- точка 4	M_{4n}	30	190/-1	220/0	250/+1
- точка 5	M_{5n}	20	110/-1	130/0	150/+1
- точка 6, 7	M_{6n}	30	80/-1	110/0	140/+1
Швидкість руху трактора \mathcal{G}_{mp} , км/год	\mathcal{G}_{mp}	$2 \pm 0,2$	4,8... 5,2 /-1	6,8... 7,2/0	8,8... 9,2/+1

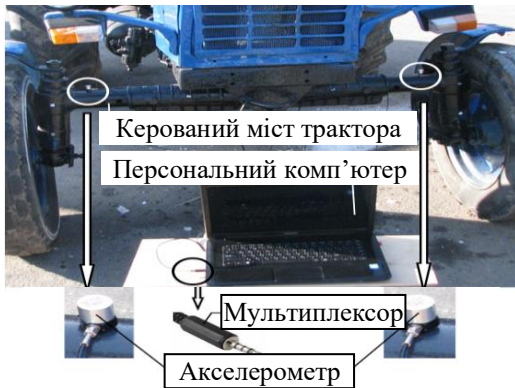


Рис. 7. Експериментальна установка системи діагностування

моста; у динамічному стані – P_n , M_{in} та поступальну швидкість руху трактора \mathcal{G}_{mp} .

Двофакторний експеримент із визначення функціональної залежності зміни віброприскорення та резонансної частоти вузлів керованого моста у статичному стані $a_{en}^{(c)}$ і $\nu_{en}^{(c)}$, та трифакторний експеримент із визначення функціональної залежності зміни віброприскорення та резонансної частоти вузлів моста при власних $a_{en}^{(вл)}$ і $\nu_{en}^{(вл)}$ та вимушених $a_{en}^{(вм)}$ і $\nu_{en}^{(вм)}$ коливаннях керованого моста колісного трактора у динамічному стані провели на трьох рівнях варіювання змінних факторів. Результати кодування та рівні варіювання факторів наведено у табл. 2.

У четвертому розділі представлено результати експериментальних досліджень віброприскорення та резонансної частоти вузлів керованого моста колісного трактора МТЗ-80 згідно з прийнятою програмою.

Реєстрацію сигналу вібрації акселерометрами, під час проведення статичних досліджень виконували при працюючому двигуні трактора. На основі спектрального аналізу осцилограм зміни віброприскорення $a_{en}^{(cc)}$ вузлів справного керованого моста (рис. 8, рис. 9) встановлено, що віброприскорення балки моста більше за

Для проведення досліджень вибрано такі типи дорожніх ділянок: асфальтована дорога і асфальтована дорога з перешкодою.

Для отримання емпіричного рівняння регресії, яке характеризує функціональну зміну віброприскорення a_{en} та резонансної частоти ν_{en} вузлів керованого моста, незалежними змінними факторами приймали: у статичному стані – тиск повітря в шинах P_n керованого моста та момент загвинчування гвинтової пари M_{in} вузлів керованого

віброприскорення висувної труби моста приблизно в 2,6 рази.

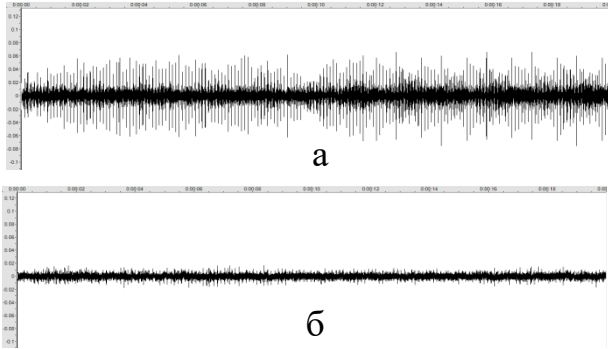


Рис. 8. Осцилограма віброприскорення $a_{en}^{(cc)}$ вузлів справного керованого моста колісного трактора МТЗ-80 при установці акселерометра:
а – на балці; б – на висувній трубі

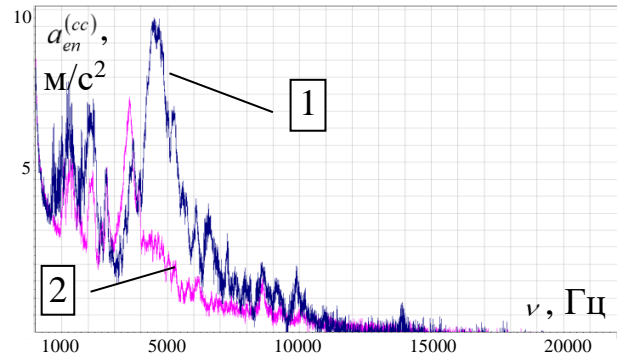


Рис. 9. Спектральний аналіз осцилограм віброприскорення $a_{en}^{(cc)}$ вузлів справного керованого моста колісного трактора МТЗ-80 при установці акселерометра:
1 – на балці; 2 – на висувній трубі

На основі аналізу параметрів вібрації вузлів керованого моста колісного трактора, встановлено, що не апроксимовані середні значення віброприскорення, які отримано у точках розрегулювання 1...7 практично однакові, у деяких випадках різниця значень знаходиться в межах $0,01 \text{ м/с}^2$, а резонансна частота співпадає або має однакове значення. Тому для зручності запису об'єднаний блок точок розрегулювання 1, 2, 3, 5 і 6 позначили як точка розрегулювання 3.

Таким чином, подальший аналіз функціональної зміни віброприскорення $a_{en.cep}^{(ic)}$, $a_{en.cep}^{(i\lambda)}$ і $a_{en.cep}^{(i\lambda M)}$ та резонансної частоти $\nu_{en}^{(ic)}$, $\nu_{en.cep}^{(i\lambda)}$ і $\nu_{en.cep}^{(i\lambda M)}$ вузлів моста залежно від зміни вхідних факторів проводили для точок розрегулювання 3, 4 і 7.

Апроксимуючу функцію відгуку, яка характеризує зміну віброприскорення $a_{en}^{(ic)} = f_a(P_n; M_{in})$ і резонансної частоти $\nu_{en}^{(ic)} = f_\nu(P_n; M_{in})$ вузлів керованого моста колісного трактора МТЗ-80 у статичному стані для точок розрегулювання 3, 4, 7 та яку визначено за значенням найбільшого коефіцієнта множинної детермінації та адекватності її перевірки за критерієм Фішера, знаходили у вигляді оберненої функції

$$\begin{cases} a_{en}^{(3c)} = 2,31 - 0,03 / P_n + 9,06 / M_{3n}; & \nu_{en}^{(3c)} = 3538,82 - 0,04 / P_n + 6020,14 / M_{3n}; \\ a_{en}^{(4c)} = 2,2 - 0,03 / P_n + 37,68 / M_{4n}; & \nu_{en}^{(4c)} = 3506,51 - 0,003 / P_n + 15555,38 / M_{4n}; \\ a_{en}^{(7c)} = 2,32 - 0,03 / P_n + 4,31 / M_{7n}; & \nu_{en}^{(7c)} = 3542,13 - 0,002 / P_n + 3756,92 / M_{7n}. \end{cases} \quad (11)$$

На основі аналізу поверхонь відгуку (рис. 10) встановлено, що за значення варіювання моменту загвинчування M_{in} гвинтової пари який відповідає справному стану керованого моста в точках 3, 4 і 7, або, відповідно, за значення моментів $150 \leq M_{3n} \leq 200 \text{ Нм}$, $200 \leq M_{4n} \leq 250 \text{ Нм}$, $100 \leq M_{7n} \leq 140 \text{ Нм}$, значення віброприскорення $a_{en}^{(ic)}$ для точок 3, 4 і 7 майже рівні між собою та знаходиться в однаковому діапазоні – від $2,19 \text{ м/с}^2$ до $2,25 \text{ м/с}^2$ за зміни тиску P_n повітря у шинах керованих коліс від $0,17$ до $0,25 \text{ МПа}$.

У межах розрегулювання моменту загвинчування M_{in} гвинтової пари у точці 3 від 120 до 150 Нм , у точці 4 від 190 до 200 Нм , у точці 7 від 80 до 100 Нм , віброприскорення $a_{en}^{(ic)}$ у статичному стані керованого моста зростає, відповідно, на

0,03 м/с², 0,07 м/с², 0,02 м/с².

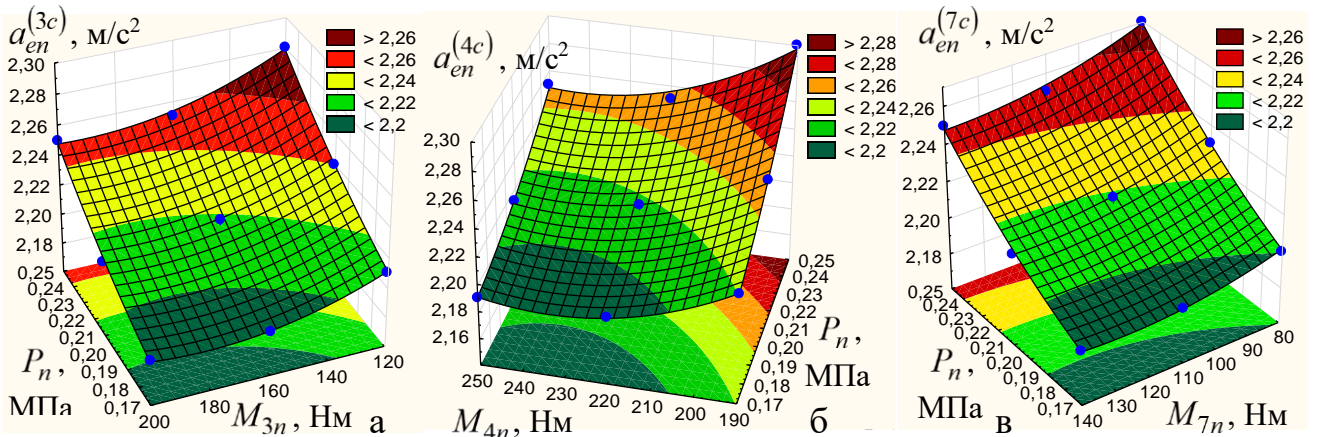


Рис. 10. Поверхня відгуку як функція зміни віброприскорення:
 а, б, в – $a_{en}^{(3c)} = f_a(P_n; M_{3n})$; $a_{en}^{(4c)} = f_a(P_n; M_{4n})$; $a_{en}^{(7c)} = f_a(P_n; M_{7n})$

На основі аналізу поверхонь відгуку, які характеризують функціональну зміну резонансної частоти $\nu_{en}^{(ic)} = f_\nu(P_n; M_{in})$ вузлів керованого моста колісного трактора (рис. 11) встановлено, що: за розрегулювання точки 3 у межах зміни моменту загвинчування гвинтової пари «болт-гайка» $120 \leq M_{3n} \leq 200$ Нм, за розрегулювання точки 4 у межах зміни моменту $200 \leq M_{4n} \leq 250$ Нм та за розрегулювання точки 7 у межах зміни моменту $80 \leq M_{7n} \leq 140$ Нм та тиску повітря у шинах керованих коліс $0,17 \leq P_n \leq 0,25$ МПа значення резонансної частоти $\nu_{en}^{(ic)}$ вузлів керованого моста у статичному стані змінюється від мінімального 3570 Гц до максимального значення 3590 Гц; у межах розрегулювання M_{in} гвинтової пари в точці 3 від 120 до 150 Нм (рис. 11а), в точці 4 від 190 до 200 Нм (рис. 11б), в точці 7 від 80 до 100 Нм (рис. 11в), який відповідає несправному стану керованого моста резонансна частота $\nu_{en}^{(ic)}$ точок розрегулювання у статичному стані зростає на 19 Гц.

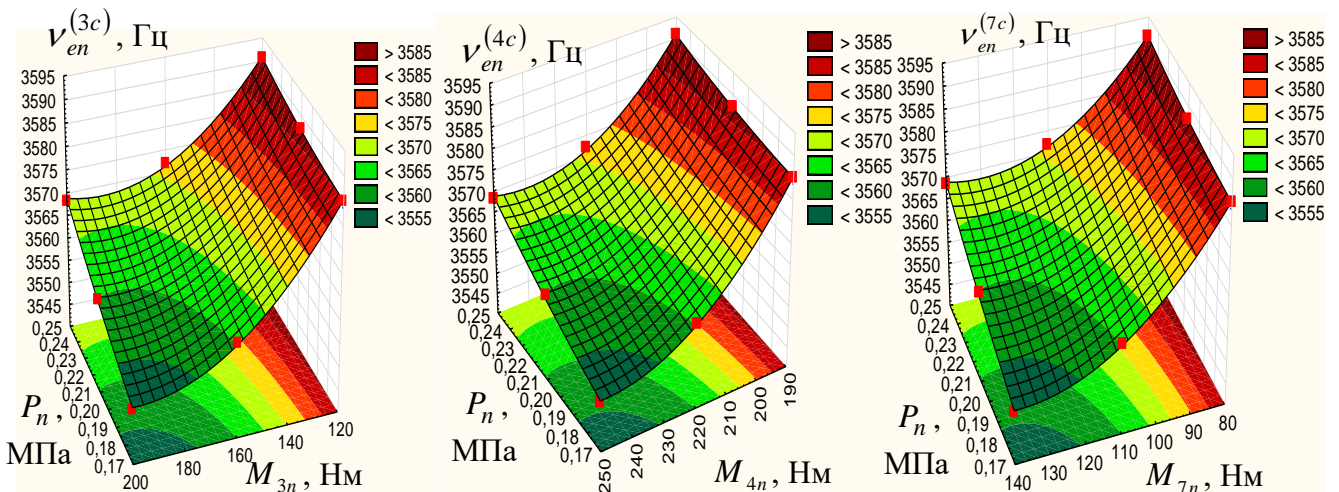


Рис. 11. Поверхня відгуку як функція зміни резонансної частоти:
 а, б, в – $\nu_{en}^{(3c)} = f_a(P_n; M_{3n})$; $\nu_{en}^{(4c)} = f_a(P_n; M_{4n})$; $\nu_{en}^{(7c)} = f_a(P_n; M_{7n})$

Апроксимуючу функцію відгуку, яка характеризує зміну віброприскорення $a_{en}^{(iвл)}$ і резонансної частоти $\nu_{en}^{(iвл)}$ вузлів керованого моста при власних коливаннях керованого моста трактора МТЗ-80 та яку визначено за значенням найбільшого коефіцієнта множинної детермінації, знаходили у вигляді оберненої функції:

- віброприскорення $a_{en}^{(3\epsilon l)}$, $a_{en}^{(4\epsilon l)}$, $a_{en}^{(7\epsilon l)}$ точок розрегулювання 3, 4 і 7:

$$\begin{cases} a_{en}^{(3\epsilon l)} = 12,53 - 1,59 / P_n + 1078,78 / M_{3n} - 31,24 / \mathcal{G}_{mp}; \\ a_{en}^{(4\epsilon l)} = -21,02 - 1,92 / P_n + 10468,6 / M_{4n} - 40,49 / \mathcal{G}_{mp}; \\ a_{en}^{(7\epsilon l)} = 13,89 - 1,09 / P_n + 289,37 / M_{7n} - 22,67 / \mathcal{G}_{mp}; \end{cases} \quad (12)$$

- резонансна частота $\nu_{en}^{(3\epsilon l)}$, $\nu_{en}^{(4\epsilon l)}$, $\nu_{en}^{(7\epsilon l)}$ точок розрегулювання 3, 4 і 7:

$$\begin{cases} \nu_{en}^{(3\epsilon l)} = 3866,37 - 67,25 / P_n + 93269,27 / M_{3n} - 1521,86 / \mathcal{G}_{mp}; \\ \nu_{en}^{(4\epsilon l)} = 2831,61 - 66,62 / P_n + 363922,41 / M_{4n} - 1439,78 / \mathcal{G}_{mp}; \\ \nu_{en}^{(7\epsilon l)} = 3923,42 - 65,73 / P_n + 55422,59 / M_{7n} - 1459,55 / \mathcal{G}_{mp}. \end{cases} \quad (13)$$

На основі аналізу поверхонь відгуку та їх двомірних перерізів (рис. 12) зміни віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon l)}$ вузлів керованого моста при власних коливаннях керованого моста трактора МТЗ-80 встановлено, що за ослаблення затяжки болта нижньої втулки поворотної цапфи у межах зміни моменту $120 \leq M_{3n} \leq 200$ Нм або розрегулювання точки 3, за ослаблення затяжки нарізного з'єднання маточини з диском колеса у межах зміни моменту $190 \leq M_{4n} \leq 250$ Нм або розрегулювання точки 4, за ослаблення затяжки гайки труби рульової тяги у межах зміни моменту $80 \leq M_{7n} \leq 140$ Нм або розрегулювання точки 7 за тиску повітря у шинах коліс $0,17 \leq P_n \leq 0,25$ МПа та швидкості руху трактора $5 \leq \mathcal{G}_{mp} \leq 9$ км/год апроксимоване значення віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon l)}$ змінюється для точки 3 – від мінімального $4,09$ м/с² до

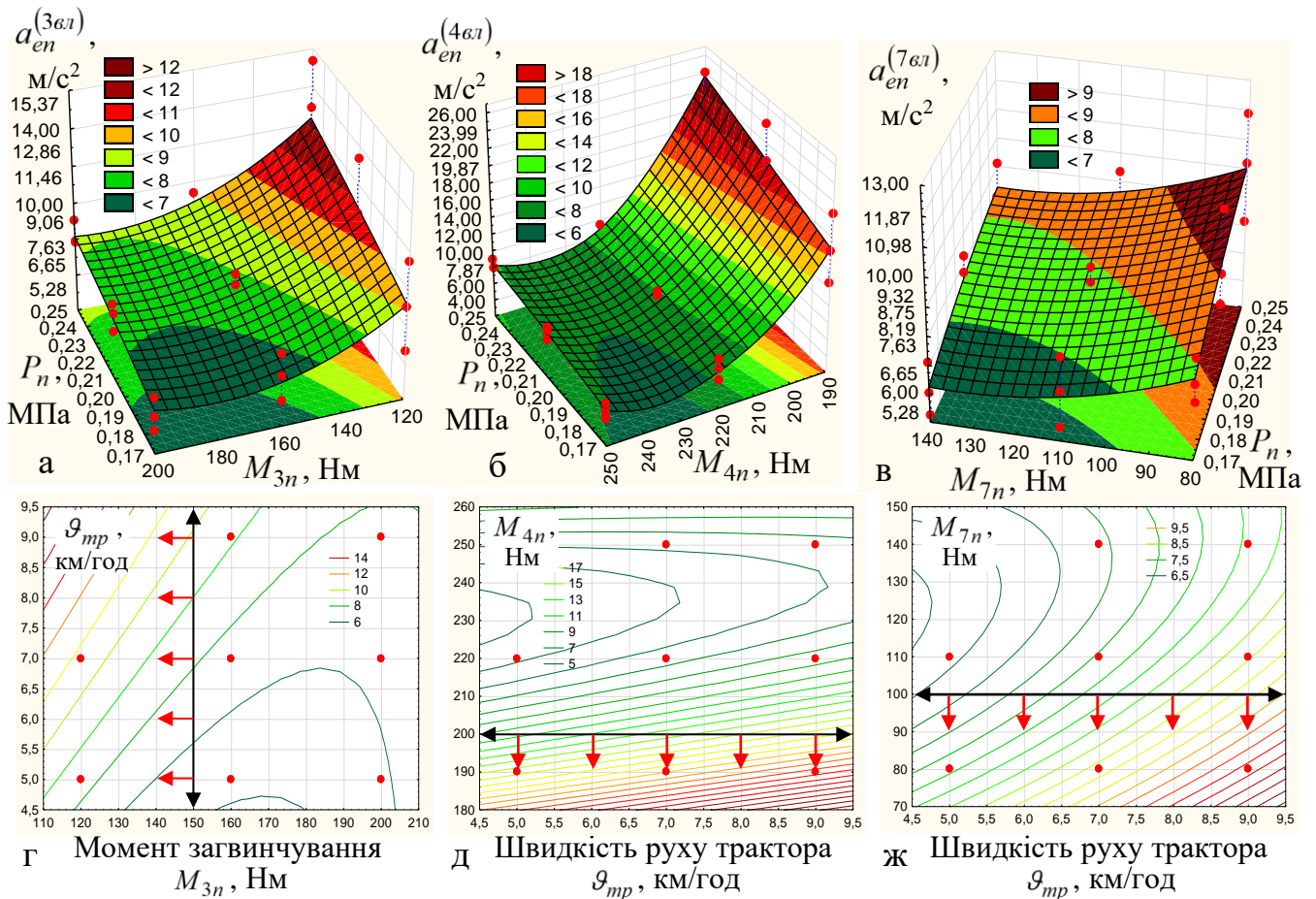


Рис. 12. Поверхня відгуку (а, б, в) та її двомірний переріз (г, д, ж) зміни:

$$\begin{aligned} \text{а, г} - a_{en}^{(3\epsilon l)} &= f_a(P_n; M_{3n}), \quad a_{en}^{(3\epsilon l)} = f_a(\mathcal{G}_{mp}; M_{3n}); \\ \text{б, д} - a_{en}^{(4\epsilon l)} &= f_a(P_n; M_{4n}), \quad a_{en}^{(4\epsilon l)} = f_a(\mathcal{G}_{mp}; M_{4n}); \\ \text{в, ж} - a_{en}^{(7\epsilon l)} &= f_a(P_n; M_{7n}), \quad a_{en}^{(7\epsilon l)} = f_a(\mathcal{G}_{mp}; M_{7n}) \end{aligned}$$

максимального $12,89 \text{ м/с}^2$ значення (рис. 12а), для точки 4 – від мінімального $1,46 \text{ м/с}^2$ до максимального $21,9 \text{ м/с}^2$ значення (рис. 12б), для точки 7 – від мінімального $5,01 \text{ м/с}^2$ до максимального $10,63 \text{ м/с}^2$ значення (рис. 12в), при цьому за збільшення моменту M_{in} у межах варіювання фактора віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon l)}$ власних коливань керованого моста колісного трактора зменшується, відповідно, $a_{en}^{(3\epsilon l)}$ – у $1,5 \dots 1,9$ раза, $a_{en}^{(4\epsilon l)}$ – у $2,5 \dots 5,2$ раза, $a_{en}^{(7\epsilon l)}$ – у $1,2 \dots 1,3$ раза.

Крім того, за значення варіювання моменту загвинчування M_{3n} гвинтової пари у межах від 120 до 150 Нм (точка розрегулювання 3), M_{4n} у межах від 190 до 200 Нм (точка розрегулювання 4) і M_{7n} від 80 до 100 Нм (точка розрегулювання 7), або за значення моменту загвинчування M_{in} , який відповідає несправному (розрегульованому) стану керованого моста колісного трактора усереднене віброприскорення вузлів моста при власних коливаннях збільшується відносно усередненого віброприскорення вузлів справного керованого моста: у точці 3 – у середньому на $3,0 \dots 3,5 \text{ м/с}^2$ (рис. 12г); у точці 4 – у середньому на $2,5 \dots 3,0 \text{ м/с}^2$ (рис. 12д); у точці 7 – у середньому на $1,0 \dots 1,5 \text{ м/с}^2$ (рис. 12ж).

Домінуючим фактором, який має суттєвий вплив на параметр вібрації, тобто збільшення якого призводить до значного зростання резонансної частоти $v_{en}^{(i\epsilon l)}$ вузлів керованого моста при власних коливаннях керованого моста колісного трактора МТЗ-80 точок розрегулювання 3, 4 і 7 є зміна моменту загвинчування гвинтової пари «болт-гайка» M_{in} (рис. 11). При цьому у точках розрегулювання 3, 4 і 7 за збільшення моменту загвинчування M_{in} гвинтової пари у межах варіювання фактора або, відповідно, $120 \leq M_{3n} \leq 200$ Нм, $190 \leq M_{4n} \leq 250$ Нм і $80 \leq M_{7n} \leq 140$ резонансна частота $v_{en}^{(i\epsilon l)}$ вузлів керованого моста зменшується на $10 \dots 14 \%$.

Шляхом порівняльного аналізу графічних побудов (рис. 12 і рис. 13) встановлено, що усереднена резонансна частота $v_{en}^{(i\epsilon l)}$ вузлів моста при власних коливаннях

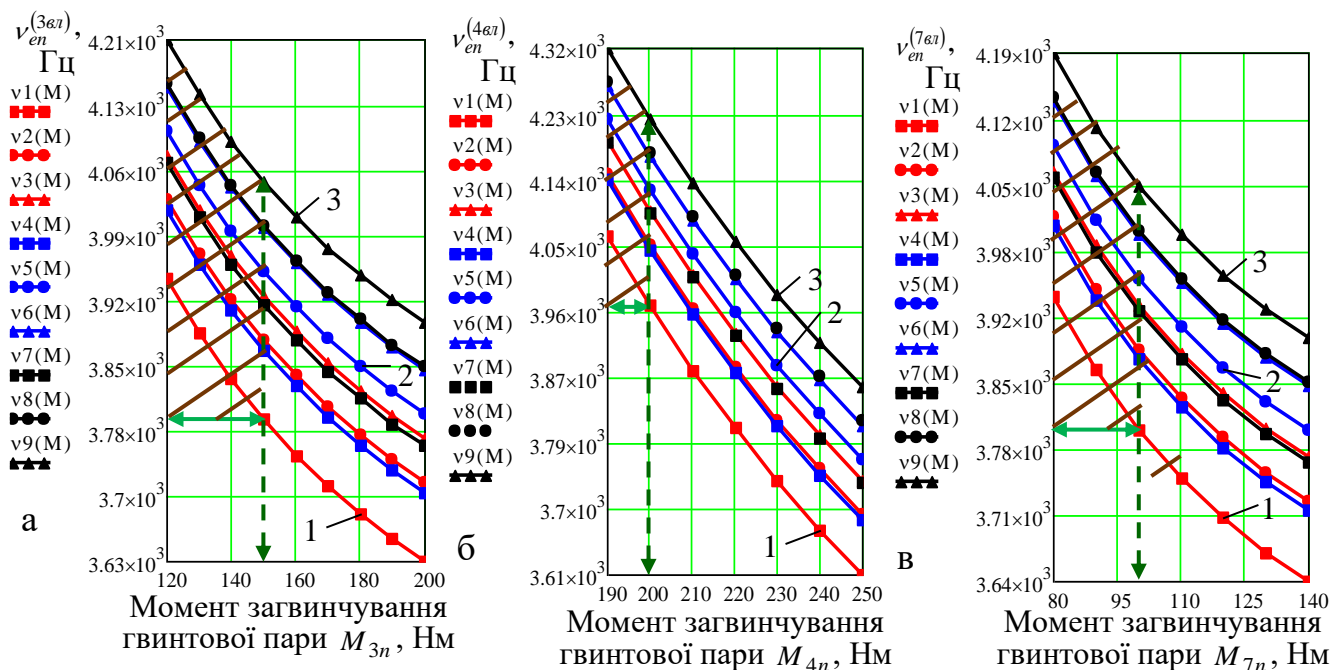


Рис. 13. Залежність зміни: а – $v_{en}^{(3\epsilon l)} = f_v(M_{3n})$; б – $v_{en}^{(4\epsilon l)} = f_v(M_{4n})$; в – $v_{en}^{(7\epsilon l)} = f_v(M_{7n})$; v1- v3, v4- v6, v7- v9 – відповідно, $P_n = 0,17; 0,21; 0,25$ МПа, 1, 2, 3 – відповідно, $a_{mp} = 5, 7$ і 9 км/год

несправного керованого моста у межах розрегулювання моменту M_{in} загвинчування гвинтової пари збільшується відносно усередненої резонансної частоти $\nu_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів справного керованого моста колісного трактора: у точці 3 – від 120 до 150 Нм у середньому на 160...190 Гц; у точці 4 – від 190 до 200 Нм у середньому на 90...100 Гц; у точці 7 – від 80 до 100 Нм у середньому на 130...150 Гц.

Після перевірки відтворюваності експериментів, адекватності моделі та оцінки статистичної значущості коефіцієнтів, отримано рівняння регресії, яке характеризує зміну віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ та резонансної частоти $\nu_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів моста при вимушених коливаннях керованого моста колісного трактора МТЗ-80:

- віброприскорення $a_{en}^{(3\epsilon M)}$, $a_{en}^{(4\epsilon M)}$, $a_{en}^{(7\epsilon M)}$ точок розрегулювання 3, 4 і 7:

$$\begin{cases} a_{en}^{(3\epsilon M)} = 4,34 + 1,08 / P_n + 2186,29 / M_{3n} - 31,38 / \mathcal{G}_{mp}; \\ a_{en}^{(4\epsilon M)} = -26,63 - 2,13 / P_n + 12594,37 / M_{4n} - 62,37 / \mathcal{G}_{mp}; \\ a_{en}^{(7\epsilon M)} = 7,66 - 0,86 / P_n + 885,25 / M_{7n} - 26,72 / \mathcal{G}_{mp}; \end{cases} \quad (14)$$

- резонансна частота $\nu_{en}^{(3\epsilon M)}$, $\nu_{en}^{(4\epsilon M)}$, $\nu_{en}^{(7\epsilon M)}$ точок розрегулювання 3, 4 і 7:

$$\begin{cases} \nu_{en}^{(3\epsilon M)} = 3119,31 - 18,37 / P_n + 156771,97 / M_{3n} - 1059,36 / \mathcal{G}_{mp}; \\ \nu_{en}^{(4\epsilon M)} = 3119,33 - 18,36 / P_n + 156796,97 / M_{4n} - 1059,72 / \mathcal{G}_{mp}; \\ \nu_{en}^{(7\epsilon M)} = 3521,87 - 20,05 / P_n + 59835,58 / M_{7n} - 1108,28 / \mathcal{G}_{mp}. \end{cases} \quad (15)$$

На основі дослідження зміни віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів моста при вимушених коливаннях керованого моста колісного трактора МТЗ-80 встановлено, що за ослаблення затяжки болта нижньої втулки поворотної цапфи у межах зміни моменту $120 \leq M_{3n} \leq 200$ Нм, за ослаблення затяжки нарізного з'єднання маточини з диском колеса у межах зміни моменту $190 \leq M_{4n} \leq 250$ Нм, за ослаблення затяжки гайки труби рульової тяги у межах зміни моменту $80 \leq M_{7n} \leq 140$ Нм, за тиску повітря у шинах коліс $0,17 \leq P_n \leq 0,25$ МПа та швидкості руху трактора $5 \leq \mathcal{G}_{mp} \leq 9$ км/год апроксимоване значення віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ змінюється для точки 3 – від мінімального $2,64$ м/с² до максимального $14,75$ м/с² значення, для точки 4 – від мінімального $7,61$ м/с² до максимального $24,12$ м/с² значення, для точки 7 – від мінімального $3,58$ м/с² до максимального $12,32$ м/с² значення, при цьому за збільшення моменту M_{in} у межах варіювання фактора віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів моста при вимушених коливаннях керованого моста колісного трактора зменшується, відповідно, $a_{en}^{(3\epsilon M)}$ – у 2...3 рази, $a_{en}^{(4\epsilon M)}$ – у 3...5 рази, $a_{en}^{(7\epsilon M)}$ – у 1,5...2,5 рази.

Крім того, за значення варіювання моменту загвинчування M_{3n} гвинтової пари «болт-гайка» у межах від 120 до 150 Нм (точка розрегулювання 3), M_{4n} у межах від 190 до 200 Нм (точка розрегулювання 4) і M_{7n} від 80 до 100 Нм (точка розрегулювання 7), або за значення моменту загвинчування M_{in} , який відповідає несправному (розрегульованому) стану керованого моста колісного трактора усереднене віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів при вимушених коливаннях збільшується відносно усередненого віброприскорення $a_{en}^{(i\epsilon M)}$ вузлів справного керованого

моста: у точці 3 – у середньому $3,5 \dots 4,5 \text{ м/с}^2$; у точці 4 – у середньому на $3,5 \dots 10,5 \text{ м/с}^2$; у точці 7 – у середньому $2,5 \dots 3,5 \text{ м/с}^2$.

Домінуючим фактором, який має суттєвий вплив на параметр вібрації, тобто збільшення якого призводить до значного зростання резонансної частоти $\nu_{en}^{(i\&M)}$ вузлів моста при вимушених коливаннях керованого моста трактора МТЗ-80 точок розрегулювання 3, 4 і 7 є зміна моменту загвинчування гвинтової пари «болт-гайка» M_{in} . При цьому у точці розрегулювання 3, 4 і 7 за збільшення моменту загвинчування M_{in} гвинтової пари у межах варіювання фактора або, відповідно, $120 \leq M_{3n} \leq 200 \text{ Нм}$, $190 \leq M_{4n} \leq 250 \text{ Нм}$ і $80 \leq M_{7n} \leq 140$ резонансна частота зменшується на $10 \dots 13 \%$.

На основі порівняльного аналізу встановлено, що усереднена резонансна частота $\nu_{en}^{(i\&M)}$ вузлів моста при вимушених коливаннях несправного керованого моста, у межах розрегулювання моменту M_{in} загвинчування гвинтової пари збільшується відносно усередненої резонансної частоти $\nu_{en}^{(i\&M)}$ справного керованого моста колісного трактора: у точці 3 – від 120 до 150 Нм у середньому на $270 \dots 380 \text{ Гц}$; у точці 4 – від 190 до 200 Нм у середньому на $150 \dots 170 \text{ Гц}$; у точці 7 – від 80 до 100 Нм у середньому на $170 \dots 290 \text{ Гц}$.

Порівняльний аналіз експериментальних значень віброприскорення та резонансної частоти вузлів керованого моста у статичному стані, віброприскорення та резонансної частоти власних коливань і віброприскорення та резонансної частоти вузлів моста при вимушених коливаннях керованого моста колісного трактора МТЗ-80 у динамічному стані проведемо на основі введення часткових коефіцієнтів віброприскорення $k_{ia}^{(в\&l-c)}$, $k_{ia}^{(в\&M-c)}$, $k_{ia}^{(в\&M-в\&l)}$ та резонансних частот $k_{iv}^{(в\&l-c)}$, $k_{iv}^{(в\&M-c)}$, $k_{iv}^{(в\&M-в\&l)}$ і загальних середніх коефіцієнтів вібро-прискорення k_{ia} і резонансної частоти k_{iv} для розрегульованих точок 3, 4, 7 керованого моста колісного трактора.

За значеннями часткового коефіцієнта віброприскорення і часткового коефіцієнта резонансної частоти визначено значення загального середнього коефіцієнта віброприскорення і загального середнього коефіцієнта резонансної частоти: $k_a^{(в\&l-c)} = 1,4 \dots 6,5$; $k_a^{(в\&M-c)} = 1,1 \dots 7,8$; $k_a^{(в\&M-в\&l)} = 0,7 \dots 1,4$; $k_v^{(в\&l-c)} = 1,01 \dots 1,15$; $k_v^{(в\&M-c)} = 0,99 \dots 1,12$; $k_v^{(в\&M-в\&l)} = 1,06 \dots 1,13$. При цьому мінімальні значення коефіцієнтів визначено при тиску повітря у шинах коліс $P_n = 0,17 \text{ МПа}$ та швидкості руху колісного трактора $\mathcal{G}_{mp} = 5 \text{ км/год}$, а максимальні значення – при $P_n = 0,25 \text{ МПа}$ та $\mathcal{G}_{mp} = 9 \text{ км/год}$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на підставі сукупності узагальнених наукових результатів вирішено актуальне завдання підвищення ефективності функціонування та безпеки експлуатації колісних тракторів шляхом удосконалення методу вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів та обґрунтування його параметрів.

1. На основі аналізу існуючих методів і засобів діагностування розроблено вібраційний метод діагностування керованих мостів колісних тракторів та визначені місця розрегулювання за параметрами вібрації, які залежать від моменту загвинчування гвинтових пар вузлів керованих мостів.

2. Запропоновано методику діагностування керованих мостів колісних тракторів на основі матриці технічного стану об'єкта діагностування, параметри якого залежать від виду несправностей і величини розрегулювань.

3. На основі розробленої математичної моделі визначено аналітичні залежності, які дозволяють прогнозувати та визначати параметри власних і вимушених коливань керованого моста колісного трактора залежно від мікропрофілю дорожнього покриття.

4. На основі спектрального аналізу осцилограм зміни віброприскорення вузлів справного керованого моста трактора МТЗ-80 у статичному стані встановлено, що його величина при установці акселерометра на балці моста в 2,6 раза більша ніж при установці акселерометра на висувній трубі керованого моста, через дестабілізуючий вплив працюючого двигуна. Тому місцем встановлення вибрано висувну трубу керованого моста колісного трактора.

5. На основі аналізу значень віброприскорення та резонансної частоти вузлів керованого моста колісного трактора МТЗ-80, встановлено, що не апроксимовані середні значення віброприскорення, які отримано у точках розрегулювання 1...7 практично однакові, у деяких випадках різниця значень знаходиться в межах $0,01 \text{ м/с}^2$, а резонансна частота співпадає. Тому для проведення діагностування у виробничих умовах доцільно використувати точку 3 в якості блоку точок розрегулювання 1, 2, 3, 5 і 6.

6. За значення варіювання моментів загвинчування M_{in} гвинтових пар «болт-гайка» для точки 3 від 150 до 200 Нм, точки 4 від 200 до 250 Нм, точки 7 від 100 до 140 Нм, які відповідають справному стану керованого моста колісного трактора МТЗ-80 встановлено, що:

- віброприскорення та резонансна частота вузлів керованого моста у статичному стані рівні між собою та знаходиться в однаковому діапазоні – відповідно, від $2,2$ до $2,3 \text{ м/с}^2$ та від 3570 до 3590 Гц ;

- віброприскорення та резонансна частота вузлів керованого моста при власних коливаннях у динамічному стані, відповідно, дорівнюють: для точки 3 – від $4,1$ до $11,1 \text{ м/с}^2$ та від 3630 до 4050 Гц ; для точки 4 – від $4,5$ до $18,9 \text{ м/с}^2$ та від 3610 до 4230 Гц ; для точки 7 – від 5 до $9,8 \text{ м/с}^2$ та від 3640 до 4050 Гц ;

- віброприскорення та резонансна частота вузлів керованого моста при вимушених коливаннях у динамічному стані, відповідно, дорівнюють: для точки 3 – від $6,4$ до $14,8 \text{ м/с}^2$ та від 3580 до 3950 Гц ; для точки 4 – від $14,6$ до $24,2 \text{ м/с}^2$ та від 3430 до 3710 Гц ; для точки 7 – від $6,1$ до $12,3 \text{ м/с}^2$ та від 3610 до 3920 Гц .

7. На основі усереднених значень часткових коефіцієнтів віброприскорення та резонансної частоти вузлів керованого моста колісного трактора МТЗ-80 визначено числові значення загальних середніх коефіцієнтів віброприскорення і загальних середніх коефіцієнтів резонансної частоти. При цьому мінімальні значення коефіцієнтів визначено при тиску повітря у шинах коліс $P_n = 0,17 \text{ МПа}$ та швидкості руху колісного трактора $\mathcal{G}_{mp} = 5 \text{ км/год}$, а максимальні значення – при $P_n = 0,25 \text{ МПа}$ та $\mathcal{G}_{mp} = 9 \text{ км/год}$.

8. Результати роботи впроваджені в навчальний процес кафедри автомобілів і транспортного менеджменту ВНТУ при вивченні дисциплін «Основи технічної

діагностики автомобілів» і «Сучасні методи та системи діагностування транспортних засобів» з напрямку підготовки – 274 «Автомобільний транспорт», а також в технічній експлуатації тракторів фермерського господарства «Бухнівське» (с. Бухни, Вінницька обл.), Тульчинської філії «СП Агромаш» ТОВ «Яромирмаш» (м. Тульчин, Вінницька обл.) і транспортної дільниці ВНТУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертаційної роботи

1. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Методи та засоби діагностування тракторів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки.* 2015. № 1 (89). т. 2. С. 16-20.

2. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Діагностування передніх мостів колісних тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2015. № 2 (90). С. 43-46.

3. Борисюк Д. В. Математична модель вертикальних і поздовжньо-кутових коливань системи «двигун – трансмісія – колеса – міст – підресорена маса» трактора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2015. № 1 (91). С. 5-9.

4. Борисюк Д. В. Вимушені коливання силового агрегата трактора. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2015. № 3 (92). С. 40-41.

5. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Системи діагностування сільськогосподарських тракторів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2016. № 2 (94). С. 34-36.

6. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Стійкість руху керованих коліс тракторів. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2016. № 1 (81). С. 19-22.

7. Анісімов В. Ф., Борисюк Д. В., Черкевич О. В. Власні коливання керованого моста трактора без урахування згасання. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2016. № 2 (82). С. 66-68.

8. Біліченко В. В., Романюк О. Н., Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Монтаж акселерометрів при віброакустичному діагностуванні машин і механізмів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.* 2017. № 2 (97). С. 52-55.

9. Яцковський В. І., Борисюк Д. В., Романюк О. Н., Біліченко В. В. Аналого-цифрове перетворення віброакустичних сигналів. *Вібрації в техніці та технологіях.* 2017. № 2 (85). С. 78-80.

10. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Контроль моменту загвинчування нарізних з'єднань вузлів та агрегатів машин і засобів механізації сільськогосподарського виробництва. *Вісник машинобудування та транспорту.* 2017. № 1 (5). С. 11-20.

11. Борисюк Д. В., Спирін А. В., Твердохліб І. В., Гунько І. В. Віброакустичне діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Сільськогосподарські машини.* 2017. Вип. 37. С. 6-16.

12. Борисюк Д. В., Спирін А. В., Твердохліб І. В., Гунько І. В. Методика визначення місця встановлення акселерометрів при віброакустичному діагностуванні керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2017. Вип. 27. С. 112-119.

Публікації у наукових періодичних виданнях іноземних держав

13. Borysiuk D., Spirin A., Trukhanska O., Shvets L., Zelinsky V. Mathematical model of a wheeled tractor steering axle as an object of diagnostics. *TEKA. Commission*

of motorization and energetics in agriculture. 2017. Vol. 17. No.1. P. 41-47.

14. Борисюк Д. В., Спирин А. В., Гунько И. В. Теоретическое исследование устойчивости движения управляемого моста колесного трактора. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018. № 3 (28). С. 260-271.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертаційної роботи

15. Яцковський В. І., Борисюк Д. В. Діагностування технічного стану передніх мостів колісних тракторів віброакустичним методом. *Сучасні агро-технології: тенденції та інновації* : Всеукр. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 17-18 листопада 2015 р. : тези доповіді. Вінниця, 2015. т. 3. С. 134-136.

16. Борисюк Д. В., Спирин А. В. Розробка обладнання для віброакустичного діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Сучасні тенденції розвитку техніки та технологій в агропромисловому виробництві* : Всеукр. наук.-практ. конф., м. Ніжин, 27 жовтня 2016 року: тези доповіді. Ніжин, 2016. С. 20-26.

17. Борисюк Д. В. Діагностування керованих мостів колісних тракторів за статичними та динамічними характеристиками. *Теорія і практика сучасної науки* : Міжн. наук.-практ. конф., м. Дніпро, 24-25 лютого 2017 р.: тези доповіді. Херсон : Вид. дім «Гельветика», 2017. ч. 2. С. 80-84.

18. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Значення технічного діагностування тракторів і автомобілів в сільському господарстві. *XLVI-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 27-28 березня 2017 р.* : тези доповіді. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt2017/paper/view/1764/2362> (дата звернення: 12.04.2018).

19. Борисюк Д. В. Розробка системи та методу віброакустичного діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь* : III-я Всеукр. наук.-практ. конф., м. Житомир, 29-30 березня 2017 р.: тези доповіді. Житомир, 2017. С. 18-21.

20. Борисюк Д. В. Система і метод діагностування керованих мостів колісних тракторів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : V-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 13-14 квітня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 14-17.

21. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Засоби діагностування керованих мостів колісних тракторів. *III-я Міжн. наук.-практ. інтернет-конф. «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи»*, м. Вінниця, 22-26 травня 2017 р. : тези доповіді. Вінниця, 2017. URL: <http://conf.inmad.vntu.edu.ua/fm/index.php?page=materials&line=34&mat=467> (дата звернення: 12.04.2018).

22. Борисюк Д. В. Перспективи розвитку методів і засобів діагностування сільськогосподарських тракторів. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* : X-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 138-142.

23. Борисюк Д. В. Діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів за амплітудно-частотною і фазо-частотною характеристиками. *XLVII-а наук.-техн. конф. фак.-ту машинобудування та транспорту ВНТУ, м. Вінниця, 21-23 березня 2018 р.* : тези доповіді. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua>

/index.php/all-fmt/all-fmt-2018/paper/iew/4436/3798 (дата звернення: 16.12.2018).

24. Спірін А. В., Борисюк Д. В., Твердохліб І. В. Вплив технічного діагностування керованих мостів колісних тракторів на безпеку праці механізаторів агропромислового комплексу. *Цивільна безпека як чинник розвитку виробничої та невиробничої сфер суспільства* : Всеукр. наук.-практ. конф., м. Луцьк, 20-21 квітня 2018 р.: тези доповіді. Луцьк : РВВ Луцького НТУ, 2018. С. 70-73.

25. Біліченко В. В., Борисюк Д. В. Методи віброакустичного діагностування технічного стану вузлів і агрегатів машин. *Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій* : VI-а Міжн. конф., м. Вінниця, 13-15 вересня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця: ВНТУ, 2018. С. 34-36.

Патенти

26. Спосіб діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів : пат. 108394 Україна: МПК G01M 17/00, G01P 15/00, G01D 21/02. № u2016 01065; заявл. 08.02.2016; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. 5 с.

27. Система діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів : пат. 108395 Україна: МПК G01M, G06F 15/00, G06F 5/16, G01M 17/00. № u2016 01067; заявл. 08.02.2016; опубл. 11.07.2016, Бюл. № 13. 2 с.

Наукові праці, які додатково розкривають результати дисертаційної роботи

28. Борисюк Д. В., Яцковський В. І. Системи вимірювання та аналізу вібрації, удару і шуму. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2013. № 4 (72). С. 5-12.

29. Борисюк Д. В. Виброакустическая диагностика дефектов и неисправностей подшипников качения. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2014. № 4 (76). С. 50-53.

30. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності впровадження технічного діагностування транспортних засобів. *Актуальні проблеми функціонування господарської системи України* : Міжн. наук.-практ. конф., м. Львів, 3-4 лютого 2017 р.: тези доповіді. Херсон : Вид. дім «Гельветика», 2017. С. 112-114.

31. Борисюк Д. В. Оцінка економічної ефективності засобів технічного діагностування сільськогосподарських тракторів. *Інформаційне суспільство (технологічні, економічні та технічні аспекти становлення)* : Міжн. наук.-практ. конф., м. Тернопіль, 2 березня 2017 р.: тези доповіді. Тернопіль, 2017. С. 40-41.

32. Борисюк Д. В., Зелінський В. Й. Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики*. 2017. № 5 (21). С. 135-142.

33. Борисюк Д. В. Функціонально-вартісний аналіз системи діагностування керованих мостів колісних сільськогосподарських тракторів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2017. № 2 (6). С. 15-27.

34. Борисюк Д. В. Формування словника діагностичних ознак при віброакустичному діагностуванні тракторів і автомобілів. *Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту* : VI-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 12-13 квітня 2018 р.: тези доповіді. Вінниця, 2018. С. 28-30.

35. Ковбаса В. П., Спірін А. В., Борисюк Д. В., Твердохліб І. В. Вплив геометричних параметрів рушія колісного транспортного засобу та нерівностей

опорної поверхні на швидкість руху та частоту збурюючої дії. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020. № 1 (11). С. 79-86.

АНОТАЦІЯ

Борисюк Д.В. Вибір та обґрунтування параметрів вібродіагностування керованих мостів колісних тракторів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 «Експлуатація та ремонт засобів транспорту». – Державний університет «Житомирська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Житомир, 2020.

У дисертації на підставі сукупності узагальнених наукових результатів вирішено актуальне завдання підвищення ефективності функціонування та безпеки експлуатації колісних тракторів шляхом удосконалення методу вібродіагностування їх керованих мостів та обґрунтування його параметрів.

Встановлено взаємозв'язок між власними та вимушеними коливаннями керованого моста колісного трактора залежно від відхилення параметрів регулювання. Розроблено матрицю діагностування та на основі її синтезу формалізовано модель вібродіагностування вузлів керованого моста колісного трактора. Формалізовано емпіричні моделі, які характеризують зміну параметрів вібрації та коефіцієнтів віброприскорення і резонансної частоти вузлів розрегульованого керованого моста у статичному стані залежно від тиску повітря у шинах коліс і моментів загвинчування гвинтових пар, та додатково швидкості руху колісного трактора і мікропрофілю дорожнього покриття для дослідження як власних так і вимушених коливань у динамічному стані. Уточнено метод визначення несправностей керованого моста на основі застосування спектрального аналізу з уточненими частковими і загальними середніми коефіцієнтами віброприскорення і резонансної частоти. Проведено оцінку розробленого методу і автоматизованої системи діагностування керованих мостів колісних тракторів у виробничих умовах.

Ключові слова: трактор, керований міст, технічне обслуговування, розрегулювання, матриця діагностування, коливання, віброприскорення, резонансна частота, тиск повітря у шинах, момент загвинчування, швидкість руху.

АННОТАЦИЯ

Борисюк Д.В. Выбор и обоснование параметров вибродиагностирования управляемых мостов колесных тракторов. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта». – Государственный университет «Житомирская политехника» Министерства образования и науки Украины, Житомир, 2020.

В диссертации на основании совокупности обобщенных научных результатов решена актуальная задача повышения эффективности функционирования и безопасности эксплуатации тракторов путем усовершенствования метода вибродиагностирования их управляемых мостов и обоснования его параметров.

Установлена взаимосвязь между собственными и вынужденными колебаниями управляемого моста колесного трактора в зависимости от отклонения параметров регулирования. Разработана матрица диагностирования и на основе ее

синтеза сформализована модель вибродиагностики узлов управляемого моста колесного трактора. Формализовано эмпирические модели, которые характеризуют изменение параметров вибрации и коэффициентов виброускорения и резонансной частоты узлов разрегулированного управляемого моста в статическом состоянии в зависимости от давления воздуха в шинах колес и моментов завинчивания винтовых пар, и дополнительно скорости движения колесного трактора и микропрофиля дорожного покрытия для исследования как собственных так и вынужденных колебаний в динамическом состоянии. Уточнен метод определения неисправностей управляемого моста на основе применения спектрального анализа уточненными частичными и общими средними коэффициентами виброускорения и резонансной частоты. Проведена оценка разработанного метода и автоматизированной системы диагностирования управляемых мостов тракторов в производственных условиях.

Ключевые слова: трактор, управляемый мост, техническое обслуживание, разрегулирование, матрица диагностирования, колебания, виброускорения, резонансная частота, давление воздуха в шинах, момент завинчивания, скорость движения.

ABSTRACT

Borysiuk D.V. Selection and argumentation of parameters of vibrodiagnostics of steered axles of wheeled tractors. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.20 «Operation and repair of transport means». – Zhytomyr Polytechnic State University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr, 2020.

In the dissertation, on the basis of a set of generalized scientific results, the urgent problem of increasing the efficiency of functioning and safety of operation of tractors was solved by improving the method of vibration diagnostics of steered axles and substantiating its parameters.

The relationship between natural and forced oscillations of the steered axle of a wheeled tractor is established, depending on the deviation of the control parameters. The matrix of diagnostics is developed and on the basis of its synthesis the model of vibration diagnostics of the units of the steered axle of a wheeled tractor is formalized. Empirical models have been formalized that characterize the change in vibration parameters and vibration acceleration coefficients and resonance frequency of units of a misaligned steered axle in a static state, depending on the air pressure in the tires of the wheels and the screwing torque of screw pairs, and additionally the speed of the wheel tractor and the micro-profile of the road surface for studying both its forced vibrations in a dynamic state. A method for determining malfunctions of a steered axles has been refined based on the application of spectral analysis by refined partial and total average coefficients of vibration acceleration and resonance frequency. The evaluation of the developed method and the automated system for diagnosing the steered axles of tractors in production conditions has been carried out.

Key words: tractor, steered axle, maintenance, deregulation, diagnostic matrix, oscillations, vibration acceleration, resonant frequency, air pressure in the tires, tightening torque, speed of movement.

ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВІБРОДІАГНОСТУВАННЯ КЕРОВАНИХ МОСТІВ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Підписано до друку 16.11.2020 року
Відруковано 19.11.2020 року
Формат 60x90/16. Папір офсетний
Друк цифровий. Гарнітура Times New Roman.
Тираж 100 примірників. Замовлення 721/2020
Відруковано ТОВ «Друк»
21027, м. Вінниця, вул. 600-річчя, 25.
Тел.: +38(0432)46-51-17

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції ДК No 1077 від 25.04.2007 р.