

В.Є. Титаренко, к.т.н., доц.
В.П. Шумляківський, ст. викл.
Житомирський державний технологічний університет

ВІБРОДІАГНОСТИКА В СИСТЕМІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ

Описано основні причини порушення технічного стану автомобіля за віброознакою та оцінка технічного стану за розробленою методикою в технологіях технічного обслуговування.

Ключові слова: вібродіагностування, контроль технічного стану автомобіля.

Постановка проблеми. Проблема шуму і вібрацій існує в кожній механічній системі, де присутній обертовий або циклічний прямолінійний рух певних мас. Джерелом підвищеного шуму і вібрацій є також автомобіль (ДВЗ, коробки передач, колеса, підвіска та ін.). Світові автомобільні фірми ведуть жорстку конкурентну боротьбу на ринку збуту за ознаковими показниками якості. В роботах багатьох науковців (Г.В. Крамаренко, М.В. Дячук, Б.В. Павлов та ін.) доведено, що параметр вібрацій може бути комплексним показником оцінки технічного стану автомобіля.

В зв'язку з цим причинами зміни амплітуд віброприскорень в контрольних точках автомобіля можуть бути:

- стан підшипників кочення (люфти);
- стан підшипників ковзання (спрацювання поверхонь тертя – зазори між валом і втулкою);
- втрата жорсткості несучих деталей і вузлів автомобіля (кронштейни, кузов, лонжерони, поперечин);
- зміна жорсткості елементів підвіски автомобіля (ослаблення пружин амортизаторів).

Небажаними є такі зміни амплітуд коливань, коли вони перевищують встановлені нормативні значення. В таких випадках вібрації бувають навіть небезпечними, з точки зору впливу на людину, тому повинні в обов'язковому порядку контролюватись в технологіях технічного обслуговування.

Еволюційний розвиток конструкції автомобіля на даному етапі підвищує досконалість конструктивних рішень, в яких віддзеркалюються напрямки вирішення проблем людства, перш за все проблем екологічності.

Конструкція сучасного автомобіля вплинула на перерозподіл питомої ваги в технологіях технічного обслуговування та поточного ремонту на діагностичні технологічні процеси. Діагностика стає все більш частою і навіть переходить в безперервний процес – суцільний контроль технічного стану та режимів експлуатації на основі розвитку сучасних програмно-апаратних комплексів та комп'ютерних інформаційних технологій. Наприклад, розроблений кафедрою А і МТС ЖДТУ програмно-апаратний комплекс «ЕПРА» дозволяє контролювати параметри навантаження автомобіля або іншої машини з прив'язкою до часу. Це забезпечує можливість накопичення інформації про механічну систему за весь період її експлуатації для подальшої оптимізації експериментальних режимів.

Тенденція розширення методів діагностики виділяє вібродіагностику в актуальний напрямок наукових досліджень.

Постановка завдання. В даній роботі пропонується на основі проведення досліджень розробити та впровадити методику оцінки технічного стану автомобіля за віброознакою в технологіях технічного обслуговування.

Планується виконання наступних етапів робіт:

1. Вивчення діючих стандартів для нормування параметрів шуму та вібрацій.
2. Розробка нормативної бази для введення оціночної шкали технічного стану автомобіля.
3. Проведення аналізу методів визначення параметрів віброприскорень в контрольних точках автомобіля.
4. Визначення зони контрольних точок автомобіля, які утворюються від зміни центру ваги автомобіля при різних експлуатаційних режимах навантаження.
5. Математичне моделювання параметрів віброприскорень матеріальних точок автомобіля для

літуд автомобілів різного рівня експлуатаційного зношування та побудова шкали оцінки технічного стану автомобіля за віброознакою.

7. Математичне моделювання процесів тертя в рухомих з'єднаннях автомобіля.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Основним методом теоретичних досліджень прийнятий системний аналіз з узагальненням діагностичних ознак вібраційних сигналів і вібраційних характеристик, статистичних даних про граничні значення структурних і вібраційних параметрів та зв'язок із технічним станом автомобілів: класифікація та розпізнавання образів вібраційного стану автомобілів та ймовірно-статистичні методи

нормування вібрацій [1, 2, 3, 9]. Основними методами експериментальних досліджень вібродіагностичних характеристик були: натурні випробування, вимірювання і спектральний аналіз вібрацій [8, 10, 11].

Викладення основного матеріалу. Багатьма науковцями обґрунтовано та доведено, що причиною виходу з ладу технічних систем автомобіля є накопичення пошкоджень від дії вібраційних процесів, що перевищують нормальні значення.

Режими експлуатації автомобільної техніки відповідають законам малоциклової втоми, в результаті чого в певних точках виникають максимальні напруження, що перевищують допустимі для певного конструкційного матеріалу. Такі точки в конструкції називають критичними. При різних режимах завантаження автомобільної техніки критичні точки переміщуються по елементах конструкції, утворюючи зони пластичного деформування, в яких і відбуваються механічні руйнування або підвищене зношування вузлів тертя.

Задачами технічного обслуговування є своєчасне виявлення цих критичних зон руйнування та зношування, а також прийняття технічних заходів по зменшенню дії факторів агресивного впливу (своєчасне змашування, контроль виявлених тріщин, регулювання зазорів і т. д.).

У роботі приведено обґрунтування вібрознак, як комплексного показника оцінки технічного стану автотранспортних засобів. Проведено дослідження наукових літературних джерел [2, 21, 23] за проблемною задачею тематики.

Практичне значення, для застосування в технологіях діагностики для ТО і ПР транспортних засобів, мають наведені в таблиці 1 матеріали бази дефектів за віброознаками, які є результатом огляду вищезазначених літературних джерел за проблемою досліджень.

Таблиця 1

Дослідження дефектів та причин несправностей складових автомобіля, пов'язаних з появою коливальних процесів, що оцінюються: стуком, шумом, вібраціями

Назва вузла авто	Несправність	Умова або причина виникнення несправності	Літературні джерела досліджень
1	2	3	4
КРИВОШИПНО-ШАТУННИЙ І ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ МЕХАНІЗМИ	Стуки корінних підшипників. Нижня частина блоку циліндрів	З'являється при зазорах 0,1–0,2 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Стуки шатунних підшипників. Нижня частина блоку циліндрів	З'являється при зазорах 0,1–0,2 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Стуки поршневих пальців. Верхня частина блоку циліндрів	Збільшений зазор між пальцем і втулкою головки шатуна або отвору для пальця в бобищі поршня	Говорущенко Н.Я. [23]
	Стук поршня. Верхня частина блоку циліндрів, з боку протилежному газорозподільному валу	Значний знос поршня і циліндра, з'являється при зазорах 0,3–0,4 мм	Говорущенко Н.Я. [23]

Продовження табл. 1

2	3	4
Стуки клапанів. Верхня частина блоку циліндрів	З'являються при збільшенні теплових зазорів між стержнями клапанів і носком коромисла (штовхача)	Говорущенко Н.Я. [23]
Стуки підшипників розподільного вала. Верхня частина блоку циліндрів	З'являються при збільшенні теплових зазорів	Говорущенко Н.Я. [23]

	Відмова свічки запалювання	Збільшення відношення амплітуд в спектрі коливання на випуску від 0,25 до 2,51 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Прискорення вібрації від 3 до 8 м/с^2 , при $n = 500 \text{ хв}^{-1}$.	Збільшення теплового зазору між торцем клапана і коромислом (штовхачем) від 0,15 до 0,9 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Прискорення вібрації від 9 до $11,8 \text{ м/с}^2$, при $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$.	Збільшення теплового зазору між торцем клапана і коромислом (штовхачем) від 0,15 до 0,9 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Прискорення вібрації від $14,5$ до 27 м/с^2 , при $n = 1500 \text{ хв}^{-1}$.	Збільшення теплового зазору між торцем клапана і коромислом (штовхачем) від 0,15 до 0,9 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
	Прискорення вібрації від $26,5$ до 42 м/с^2 , при $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$.	Збільшення теплового зазору між торцем клапана і коромислом (штовхачем) від 0,15 до 0,9 мм	Говорущенко Н.Я. [23]
КОРОБКА ПЕРЕДАЧ	Шум в коробці передач	Зношування зубів шестерень, знос підшипників, недостатній рівень масла в коробці передач, осьове переміщення валів	Лудченко О.А. [21]
	Утруднене вмикання передач	Неповне вимикання зчеплення, ослаблення гвинтів кріплення шарніра, зношування або поломка деталей у приводі перемикачів	Лудченко О.А. [21]
	Самовільне вимикання передач	Пошкодження або зношування торців зубів синхронізаторів на шестерні і муфті, підвищені коливання силового агрегату на опорах через тріщини або розшарування гуми на задніх опорах	Лудченко О.А. [21]
	Шум (тріск) в момент включення передач	Неповне вимикання зчеплення, зношування блокуючого кільця синхронізатора	Лудченко О. А. [21]

Продовження табл. 1

1	2	3	4
---	---	---	---

ВЕДУЧИЙ МІСТ	Підвищений шум з боку задніх коліс, постійно підвищений шум під час руху автомобіля	Ослаблення кріплення колеса, спрацювання або руйнування кулькового підшипника півосі, балка заднього моста деформована, півосі деформовані і мають недопустиме биття (понад 0,08 мм), спрацювання шліцьового з'єднання півосі з шестернями, неправильне регулювання, недостатня кількість мастила, пошкодження або спрацювання шестерень чи підшипників головної передачі	Лудченко О.А. [21]
	Шум при розгоні автомобіля	Спрацювання або неправильне регулювання підшипників диференціала, неправильне зачеплення при встановленні нових шестерень головної передачі або при заміні підшипників ведучої шестерні, пошкодження підшипників півосей	Лудченко О.А. [21]
	Шум при гальмуванні автомобіля двигуном	Неправильний боковий зазор у зачепленні між шестернями головної передачі, збільшений зазор у підшипниках ведучої шестерні внаслідок ослаблення гайки кріплення фланця або спрацювання підшипників	Лудченко О.А. [21]
	Шум під час руху на повороті	Утруднене обертання сателітів на осі, задирки на робочій поверхні осі сателітів, заїдання шестерень півосей в корпусі диференціала, неправильне встановлення півосьових шестерень	Лудченко О.А. 21
	Стукіт на початку руху автомобіля	Збільшений зазор у шліцьовому з'єднанні вала ведучої шестерні з фланцем, збільшений боковий зазор у зачепленні шестерень головної передачі, спрацьований отвір півосі сателітів у корпусі диференціала	Лудченко О.А. [21]
КАРДАННА ПЕРЕДАЧА	Стукіт у карданній передачі при рушанні з місця, різкому розгоні або переключенні передач	Ослаблення затягування болтів і гайок кріплення еластичної муфти і фланців карданних шарнірів, збільшений кільцевий зазор у шліцьовому з'єднанні карданного вала, збільшений зазор у підшипниках карданних шарнірів	Лудченко О.А. [21]
	2	3	4
			Закінчення табл. 1

	Шум і вібрація карданної передачі	Деформація карданних валів, дисбаланс карданних валів, не збігання монтажних позначок переднього вала і відповідної муфти, пошкодження проміжної опори, підвищений зазор у підшипниках карданних шарнірів або заїдання шарнірів, ослаблення гайки кріплення вилки переднього карданного вала	Лудченко О.А. [21]
--	-----------------------------------	--	-----------------------

В роботі розроблені елементи методики та оцінки рівня технічного стану за критеріями, що характеризують експлуатаційні зміни стану рами. Загальні критерії оцінки, засновані на вимірі, власне як значень параметрів вібрації, так і значень їх зміни, що належать до експлуатаційного контролю.

Введено критерії двох видів, що поширюються на експлуатаційні зміни і призначені для оцінки рівнів вібрації машин різних типів. Вони засновані на коефіцієнтах K_1 і K_2 зміни середньоквадратичних значень амплітуд віброприскорень. Коефіцієнт K_1 – це середнє значення різниці між еталонними амплітудами віброприскорень і отриманими даними:

$$K_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (a_i - a_e)}{n}, \quad (1)$$

де a_i – амплітуда віброприскорень випробовуваного транспортного засобу в певній точці,

a_e – амплітуда віброприскорень еталонного транспортного засобу в тій самій точці,

n – кількість точок вимірів.

Коефіцієнт K_2 – це відношення отриманих значень амплітуд віброприскорень до еталонних:

$$K_2 = \frac{a_i}{a_e}. \quad (2)$$

Для оцінки технічного стану автомобілів, з використанням критеріїв оцінки за коефіцієнтами K_1 і K_2 введені зони технічного стану несучих систем засобів автомобільного транспорту:

Зона А – це нові машини, тільки що введені в експлуатацію.

Зона В – машини, що є придатними для подальшої експлуатації без обмеження термінів.

Зона С – машини, що розглядають як непридатні для тривалої безперервної експлуатації.

Зона D – машини з вираженим дефектом, що потребує ремонту.

За критерієм K_1 можна охарактеризувати загальний технічний стан несучої системи.

Критерій K_2 дозволяє зробити оцінку технічного стану окремо для кожної точки.

За проведеними експериментальними дослідженнями технічно справних автомобілів з мінімальним пробігом визначено еталонні значення віброприскорень (табл. 2).

Таблиця 2

Еталонні значення амплітуд віброприскорень, що використовуються для оцінки рівня технічного стану елементів несучих систем засобів автомобільного транспорту

Умовно еталонні значення амплітуд віброприскорень, м/с ²		
Точки вимірів	700 хв. ⁻¹	1600 хв. ⁻¹
1	2	3
1	1,60173	3,545277
2	2,205993	3,883493
3	2,622037	6,276475
4	2,788251	5,809266
5	1,719701	4,112293
Закінчення табл. 2		
1	2	3
6	1,123448	1,666764
7	0,619438	1,479424
8	0,621767	0,744402
9	0,656904	0,845702

10	0,783798	1,012625
11	0,733646	0,888552
12	0,670324	0,900496
13	0,631283	0,911516

Розглянуто статистичні моделі розрахунку чисельних значень граничних вібраційних діагностичних параметрів на базі знайденого співвідношення між граничними та вихідними значеннями структурних і вібраційних параметрів. Граничні значення збільшення вібраційного параметра (L_{Φ}) над вихідним (L_{Π}) для функціональних (L_{Φ}) і ресурсних (L_{Π}) елементів несучих систем отримані зі співвідношення [5]:

$$\Delta L_{\Phi} = \frac{\delta_{\Phi}}{\delta_{\Pi}} = \frac{L_{\Phi}}{L_{\Pi}} = 2 \dots 2,5 (\text{рази}) \quad \Delta L_{\Phi} = \frac{L_{\Phi}}{L_{\Pi}} = 20 \lg(2 \dots 2,5) = 6 \dots 8 (\text{дБ}) \quad (3)$$

$$\Delta L_{\Pi} = \frac{\delta_{\Pi}}{\delta_{\Pi}} = \frac{L_{\Pi}}{L_{\Pi}} = 10 (\text{рази}) \quad \Delta L_{\Pi} = \frac{L_{\Pi}}{L_{\Pi}} = 20 \lg 10 = 20 (\text{дБ}) \quad (4)$$

Із залежностей (3), (4) випливає, що зміна діагностичного параметра за зазором і вібрацією при переході механізму з одного класу технічного стану в інший відповідає збільшенню вихідного зазору в 2 рази, вібрації – на 8 дБ, а збільшення їх значень у 10 разів – на 20 дБ, відносно вихідних, є граничною величиною.

Оцінка технічного стану автомобілів за еталонними критеріями $K1$ занесено до таблиці 3.

Таблиця 3

*Наближені значення еталонних коефіцієнта $K1$
оцінки технічного стану рам автобусів БАЗ А079*

Критерії оцінки вібраційного стану рами автобуса БАЗ А079 за зміною амплітуди віброприскорень		
	Зміна амплітуди, m/c^2 (700 хв^{-1})	Зміна амплітуди, m/c^2 (1600 хв^{-1})
Зона А	0–0,2	0–0,35
Зона В	0,2–1,3	0,35–2,5
Зона С	1,3–11,6	2,5–22,2
Зона D	від 11,6	Від 22,2

У роботі проведено математичне моделювання амплітуд величин віброприскорень, як функції від величини нерівностей дороги, а також моделювання процесів тертя в рухомих з'єднаннях автомобіля.

Перша математична модель показує значну роль підвіски для зменшення величин амплітуд віброприскорень несучих мас автомобіля, а відповідно і динамічних силових навантажень.

Друга математична модель дозволяє оптимізувати процеси тертя для зменшення коефіцієнтів тертя, а відповідно втрат на тертя за рахунок забезпечення рідинного тертя або хоча б напіврідинного. Впровадження результатів досліджень в практику ТО і ремонту забезпечить збільшення ресурсу та надійності експлуатації транспортних машин.

Висновки:

1. Розширення загальних методів діагностування при технічному обслуговуванні автомобілів за параметрами вібрацій.
2. Узагальнення нормативних параметрів дефектів автомобіля за віброознаками, отриманих різними науковцями, для використання в технологіях діагностування.
3. Розроблені елементи методики оцінки технічного стану несучих систем засобів автомобільного транспорту за параметрами вібронавантаженості.
4. Розроблена математична модель визначення параметрів вібронавантаженості елементів конструкцій несучих систем автомобіля від величини нерівностей дорожнього покриття та режимів руху.
5. Проведено математичне моделювання параметрів оцінки роботи кінематичних пар тертя рухомих з'єднань автомобіля (коефіцієнтів тертя і сил тертя) та недопущення «сухого» тертя.
6. Проведені експериментальні дослідження віброамплітуд автомобілів різного рівня зношеності та розроблено шкалу оцінки технічного стану транспортних засобів.

Список використаної літератури:

1. Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. – ISO 10816-3-2009.
2. Генкин М.В. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.В. Генкин, А.Г. Соколова. – М. : Машиностроение. 1987. – 288 с.

3. *Говорущенко Н.Я.* Системотехніка транспорту (на прикладі автомобільного транспорту). – Изд. 2-е, перераб. и дополн / Н.Я. Говорущенко, А.Н. Туренко. – Харьков : РИО ХГАДТУ, 1999. – 468 с.
4. *Грабар І.Г.* Современные методы и средства сбора, сохранения и обработки информации на разных этапах создания подвески транспортных средств / *І.Г. Грабар, С.В. Мельничук, В.М. Иванченко* : сб. науч. труд. по материалам международной научно-практической конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании 2007». – Т. 1 – Транспорт. – с. 55–60.
5. *Дячук М.В.* Вдосконалення розрахункових методів оцінки параметрів вібронавантажності несучих систем автомобіля : дис. ... к.т.н. : 05.22.02 / *М.В. Дячук* ; Харківський нац. автомобільно-дорожній ун-т. – Х., 2005. – 20 с.
6. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : Інтернет ресурс основ вібродіагностики <http://www.vibration.ru/osnova.shtml>.
7. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : Інтернет ресурс технічних характеристик акселерометра : http://www.gaw.ru/html.cgi/txt/ic/Analog_Devices/sensor/axelerometr.
8. *Костюков В.Н.* Практические основы виброакустической диагностики машинного оборудования : учеб. пособие / *Костюков В.Н., Науменко А.П.* – Омск : Издательство ОмГТУ, 2002. – 108 с.
9. *Кравченко В.М.* Техническое диагностирование механического оборудования // *В.М. Кравченко, В.А. Сидоров.* – Донецк : Юго-Восток, 2007. – 447 с.
10. *Ларионов Д.Н.* Акселерометры компании Analog Devices / *Д.Н. Ларионов* // Электронные компоненты. – 2005. – № 11. – С. 125–129.
11. ДСТУ 2681-94 Метрологія. Терміни та визначення.
12. *Мигаль В.Д.* Вібраційні методи оцінки якості тракторів на стадіях проектування, виготовлення та експлуатації : дис. ... д.т.н. : 05.22.02 / *Мигаль Василь Дмитрович* Харківський національний автомобільно-дорожній ун-т. – Х., 2003. – 32 с.
13. *Петрухин В.В.* Основы вибродиагностики и средства измерения вибрации / *В.В. Петрухин, С.В. Петрухин.* – М. : Инфра-Инженерия, 2010. – 176 с.
14. *Проскураков В.Б.* Динамика и прочность рам и корпусов транспортных машин. «Машиностроение». – Ленинград, 1972. – 229 с.
15. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле / *С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У.Уивер* ; пер. с англ. *Л.Г. Корнейчука* ; под ред. *Э.И. Григорюка.* – М. : Машиностроение, 1985. – 472 с.
16. *Троценко В.Т.* Трещиностойкость металлов при циклическом нагружении / *В.Т. Троценко, В.В. Покровський, А.В. Прокопенко.* – К. : Наукова думка, 1987. – 251 с.
17. *Ясній П.В.* Пластично деформовані матеріали: втомі і тріщинотривкість / *П.В. Ясній.* – Л. : Світ, 1998. – 292 с.
18. *Степнов М.Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний: Справочник / *М.Н. Степнов* М. : Машиностроение, 1985. – 232 с.
19. *Кузнецов Е.С.* Управление технической эксплуатацией автомобилей / *Е.С. Кузнецов.* – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1990. – 272 с.
20. *Крамаренко Г.В.* Техническое обслуживание автомобилей / *Г.В. Крамаренко* : Изд-во «Транспорт». 1968. – 400 с.
21. *Людченко О.А.* Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія : Підручник / *О.А. Людченко.* – К. : Вища шк., 2007. – 527 с.
22. *Левин А.И.* Математическое моделирование в исследованиях и проектировании станков / *А.И. Левин.* – М. : «Машиностроение», 1978. – 184 с.
23. *Говорущенко Н.Я.* Техническая эксплуатация автомобилей / *Н.Я. Говорущенко.* – Харьков : Вища школа, 1984. – 312 с.

ТИТАРЕНКО Володимир Євгенійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів та автомобільного господарства Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- надійність і міцність машин;
- проблеми вібронавантажувальності несучих систем і екологічні проблеми автомобільного транспорту;
- сучасні енергозберігаючі технології.

ШУМЛЯКІВСЬКИЙ Володимир Петрович – старший викладач кафедри автомобілів та автомобільного господарства Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- надійність і міцність машин;

- сучасні методи діагностики засобів автомобільного транспорту;
- інтелектуальні транспортні системи.

Стаття надійшла до редакції 21.08.2014