



Равлюк В. Г.

Український державний
університет
залізничного
транспорту

Ravlyuk V. G.

Ukrainian State University
of Railway Transport

УДК 629.4.06:621.822.6

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ ВАГОНІВ

Розглянуто різні способи кріплення та вибору оптимальних місць розташування датчиків, які вимірюють вібрацію підшипникових вузлів вагонів при проведенні діагностування. Основне завданням при виборі місця розташування датчика на підшипниковому вузлі вагона, це якомога ближче підібратися до джерела вібрації підшипника. Датчик при цьому необхідно встановлювати у найбільш навантаженої зоні підшипника.

Особливу увагу також приділено ступені точності діагностичного приладу, який залежить від його метрологічних характеристик. Тому до засобів, які вимірюють і передають вібраційні величини, висуваються особливі вимоги. Вони забезпечують вимірювання параметрів вібрації підшипникових вузлів вагонів при діагностуванні та передають їх значення з високою точністю та достовірністю.

Ключові слова: вагон, датчик, діагностування, кріплення, підшипниковий вузол, похибка, прилад, розташування, точність.

Вступ. Особливе місце у віброакустичній діагностиці вузлів і механізмів займає проблема виявлення дефектів, що зароджуються. Тільки можливість виявлення експлуатаційних дефектів на ранній стадії їх розвитку може сприяти прогнозуванню відмов і безаварійній експлуатації вагонів. Удосконалювання існуючих методів й алгоритмів діагностування для виявлення дефектів, які зароджуються, а також розробка нових методів сприяє успішній реалізації технології контролю розвитку деградаційних процесів у вузлах вагонів, що дозволяє прогнозувати залишковий ресурс, оцінювати оптимальний час ремонту, обсяг і вартість ремонтних робіт [1, 4].

Для з'ясування причин втрати працездатності підшипникових вузлів (редукторів, електричних машин, буксових вузлів) вагонів проводять процедуру діагностування несправностей, що заснована на детальному якісному й кількісному аналізі зміни параметрів віброакустичного сигналу й зв'язку цих змін з параметрами технічного стану. При побудові системи діагностичних ознак поряд із даними спектрального аналізу коливальних процесів у реперних точках

конструкції вузла використовують дані спектрального аналізу амплітудної й фазової обвідних, аналізу статистичних характеристик, функцій зв'язку коливальних процесів у різних точках конструкції, імовірності викидів й інші характеристики віброакустичних сигналів [4, 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виконані за останні 15-20 років дослідження й публікації щодо діагностування вузлів можна умовно розділити на кілька великих груп. У першу чергу необхідно відзначити теоретичні питання, що стосуються розвитку несправностей, форм їхнього прояву й реєстрації, а також можливих шляхів їхнього усунення [4]. До другої групи відносяться методи й засоби технічної діагностики, які в основному базуються на даних вібраційних вимірювань [1, 3]. До третьої групи відносяться роботи з оцінки технічного стану систем і вибору ремонтного впливу [2, 5]. Тут розглядаються конкретні механізми, системи та робляться висновки про можливість їх подальшої експлуатації.

Питанням діагностування підшипників кочення, пов'язані з виділенням інформативних компонентів викладені в роботах: А. В. Баркова, Н. А. Баркової, І. А. Біргера, М. Д. Генкіна, З. Г.



Гієва, А. С. Гольдіна, В. Н. Костюкова,
В. М. Кравченка, А. М. Кулікова,
І. Е. Мартинова, С. В. Михалківа, Б. В. Павлова,
А. Г. Соколова, В. А. Руссова,
Е. Д. Тартаковського, В. Ю. Теттера,
А. Р. Ширмана, К. Н. Явленского та ін [3-6].

У праці [5] розглядаються в основному проблеми діагностування дефектів роторних вузлів і механізмів. Доведено, що будь-яке відхилення параметрів функціонування підшипникових вузлів від норми приводить до зміни характеру взаємодії його елементів, що супроводжується зміною віброакустичних процесів.

Метою даної статті є вибір оптимальних місць розміщення датчиків вібрації, що дасть змогу зменшити похибку вібровимірювального засобу при діагностуванні та підвищити точність та достовірність результатів.

Викладення основного матеріалу.

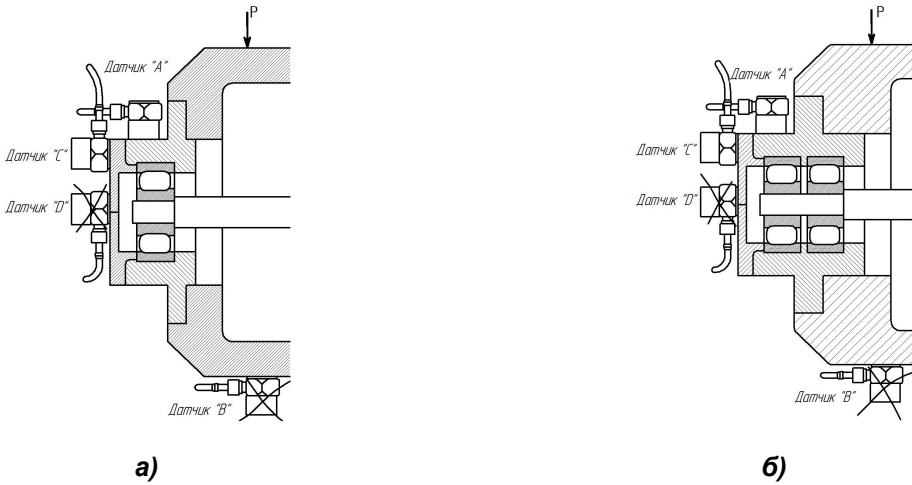
Аналізуючи багаторічний досвід діагностування підшипників кочення обертальних вузлів вагонів можна сказати, що швидкість розвитку для різних типів дефектів неоднакова, але мінімальний час розвитку дефектів зносу, які зароджуються до аварійного стану підшипника близько чверті від середнього ресурсу підшипника.

Враховуючи особливості поширення вібрації, однією з основних помилок є неправильний вибір місця вимірювання вібрації. Максимальні контактні зусилля в підшипнику кочення відбуваються в навантаженій зоні. Логічно припустити, що при нормальних умовах експлуатації, навантажена зона для будь-яких підшипникових вузлів знаходиться у різних місцях [5].

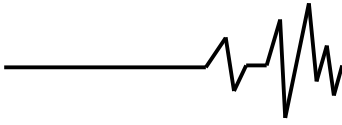
При діагностуванні вузлів вагонів одне з основних завдань якомога ближче підібратися до джерела вібрації в підшипнику, тобто до його навантаженої зони. Таким чином, оптимальними умовами встановлення датчика необхідно обрати найбільш навантажену зону підшипника. Між датчиком і зовнішнім кільцем має бути мінімальна кількість контактних поверхонь. На кожному переході вібрація частково відбивається і поглинається, тому при проходженні декількох контактних поверхонь велика частина енергії високочастотної вібрації розсіюється. Це призводить до того, що при поганому виборі вимірювальної точки не завжди вдається виявляти дефекти підшипників кочення, які зароджуються на ранніх та середніх стадіях їх розвитку [1, 6].

При вібраційних вимірюваннях підшипникових вузлів вагонів датчик слід закріплювати так, щоб його вісь максимальної чутливості збігалася з потрібним при вимірюванні напрямком. Необхідно зазначити, що датчики також чутливі до коливань у поперечних напрямках. Однак, цією поперечною чутливістю можна в більшості практичних випадків знехтувати, тому що вона менше 1 % максимальної чутливості датчика.

Мета вимірювання й аналізу механічних коливань зазвичай висуває вимоги до розташування місць кріплення датчиків вібрації на корпусі, що знаходиться біля підшипника (рис. 1). Завданням вимірювання механічних коливань є контроль умов роботи підшипникових вузлів вагонів. Датчик необхідно установити так, щоб на його основу безпосередньо діяли механічні коливання підшипника [4, 6].



**Рис. 1. Схеми розміщення місць датчиків на вузлі вагона при діагностуванні:
а) одного підшипника; б) двох підшипників**



Отже, датчик «А» сприймає механічні коливання підшипника без помітного впливу коливань, які створюються іншими вузлами й деталями механізму, у той час як датчик «В» сприймає модифіковані механічні параметри місця з'єднання коливання підшипника й механічні коливання, що генеруються іншими деталями вузла. Аналогічно, датчик «С» розташований більш краще з погляду поширення механічних коливань чим датчик «D».

При підготовці вимірювання і аналізу механічних коливань завжди виникає питання про напрямок, оптимальний з погляду дослідження підшипника або його вузла в цілому. Загальної відповіді на це питання або відповідного правила немає, але в розглянутому вище прикладі можна вважати ефективним, зокрема для контролю умов роботи, вимірювання коливань в осьовому й одному з радіальних напрямків [6]. Перевага віддається радіальному напрямку, тобто напрямку з мінімальною жорсткістю.

Перед проведенням вимірювань поверхню вузла на яку буде кріпитися датчик необхідно очистити від старої фарби і бруду, а також обезжирити у випадку, якщо датчик буде кріпитися за допомогою воску або клею (герметика).

Реакція механічних систем, що збуджуються механічними коливаннями є складним фізичним процесом, так що при вимірюванні навіть на одному елементі вузла й близьких точках можуть спостерігатися великі різниці в амплітуді й частотному спектрі коливань, що досліджуються [4].

Спосіб кріплення датчика повинен забезпечувати верхню границю частотного діапазону при отриманні спектра й форми вібрації до $(5 \div 10)f_i$, де f_i – частота перекошування тіл кочення по внутрішньому кільці (зазвичай до 2500 Гц для частоти обертання внутрішнього кільця підшипника 50 Гц), при отриманні спектра обвідної до 25 кГц, при ультразвуковому аналізі до 40 кГц.

Місця кріплення датчика при вимірюваннях, зокрема його надійність на поверхні вузла є одним із найважливіших умов досягнення точних і надійних результатів при діагностуванні підшипникових вузлів вагонів. Ненадійне кріплення датчика спричиняє зменшення його резонансної частоти після кріплення, отже, значно зменшує його робочий частотний діапазон. Ідеальним є кріплення датчика на гладкій плоскій поверхні міцною сталеву різьбову шпилькою (рис. 2. а).

Тонкий шар консистентного змащення на поверхні в місці кріплення звичайно збільшує

загальну жорсткість механічного з'єднання датчика й вузла. Глибина різьбового отвору повинна бути достатньою для того, щоб шпилька не впиралася до дна отвору в основу датчика. Графік у верхній частині рис. 2. а) показує частотну характеристику датчика загального призначення, закріпленого сталеву шпилькою на гладкій поверхні вузла. Резонансна частота закріпленого датчика майже дорівнює резонансній частоті при заводському калібруванні (приблизно 32 кГц), у ході якої датчик закріплений на зовсім гладкій і плоскій поверхні. Часто використовується альтернативний метод кріплення датчиків за допомогою тонкого шару бджолиного воску (рис. 2. б). Наведена в нижній частині рисунка частотна характеристика показує високу якість цього методу кріплення, що гарантує тільки незначне зменшення резонансної частоти датчика (приблизно 29 кГц). Однак, необхідно зазначити, що бджолиний віск розм'якшується при зростанні температури вузла, тому його можна застосовувати в температурному діапазоні до 40°C. Кріплення датчика бджолиним воском на гладкій чистій поверхні можна вважати надійним до прискорень із амплітудами близько 100 м/с² [6].

У тих випадках, коли потрібно міцне кріплення одного або декількох датчиків і порушення конструкції вузла різьбовими отворами неможливо або небажано, ефективними є спеціальні шпильки, що прикріплюються до вузла твердим клеєм або цементом. У якості матеріалів, що склеюють, рекомендуються епоксидні смоли й клеї (герметики). Застосування м'яких клеїв може привести до значного зменшення робочого частотного діапазону датчика (рис. 2. в).

Ізольована шпилька й слюдяна шайба використовуються там, де потрібна електрична ізоляція датчика відносно вузла. Однак, слюдяна шайба повинна мати малу товщину. Ізольована шпилька й слюдяна шайба забезпечують надійне кріплення датчика, що зменшує резонансну частоту всього до 28 кГц (рис. 2. г).

Простим методом кріплення датчика на рівній поверхні вузла з магнітного матеріалу є застосування постійного магніту. Тому що резонансна частота закріпленого на магніті датчика значно зменшується (приблизно до 7 кГц), цим методом можна користуватися тільки при вимірюванні й аналізі в області низьких частот, тобто до 2 кГц. Сила постійного магніту забезпечує надійну роботу датчика при прискореннях до 1000-2000 м/с² (залежно від власної маси датчика) (рис. 2. д).

При вимірюваннях щупом, його необхідно



надійно притиснутий до вимірювальної поверхні, вісь вимірювань повинна бути перпендикулярна поверхні вузла, при цьому відхилення більше 10 градусів не допускається. Також рекомендована сила притискання щупа повинна бути в межах 10÷15 Н.

Щуп, який можна підтримувати і переміщувати рукою, на верхньому кінці якого закріплений датчик, зручно застосовувати при швидкому орієнтовному вимірюванні й перевірки механічних коливань. Однак, через малу загальну жорсткість, отримані при застосуванні цього методу результати не зовсім точні. Вібровимірювальна система, що використовується разом із закріпленням на щупі

датчиком, повинна містити фільтр нижніх частот, що обмежує загальний робочий частотний діапазон на частоті приблизно 1000 Гц (рис. 2. е) [1, 4, 6].

При виборі місця вимірювань використовують два основні підходи, які орієнтовані на розпізнавання технічного стану:

- самого підшипника кочення та вимірювання параметрів високочастотної вібрації (частотний аналіз обвідної);
- самого підшипника кочення та вузла в цілому й вимірювання параметрів вібрації у всій смузі частот (частотний аналіз вібрації в смузі до $(5\div 10)f_i$ і частотний аналіз високочастотної обвідної вібрації).

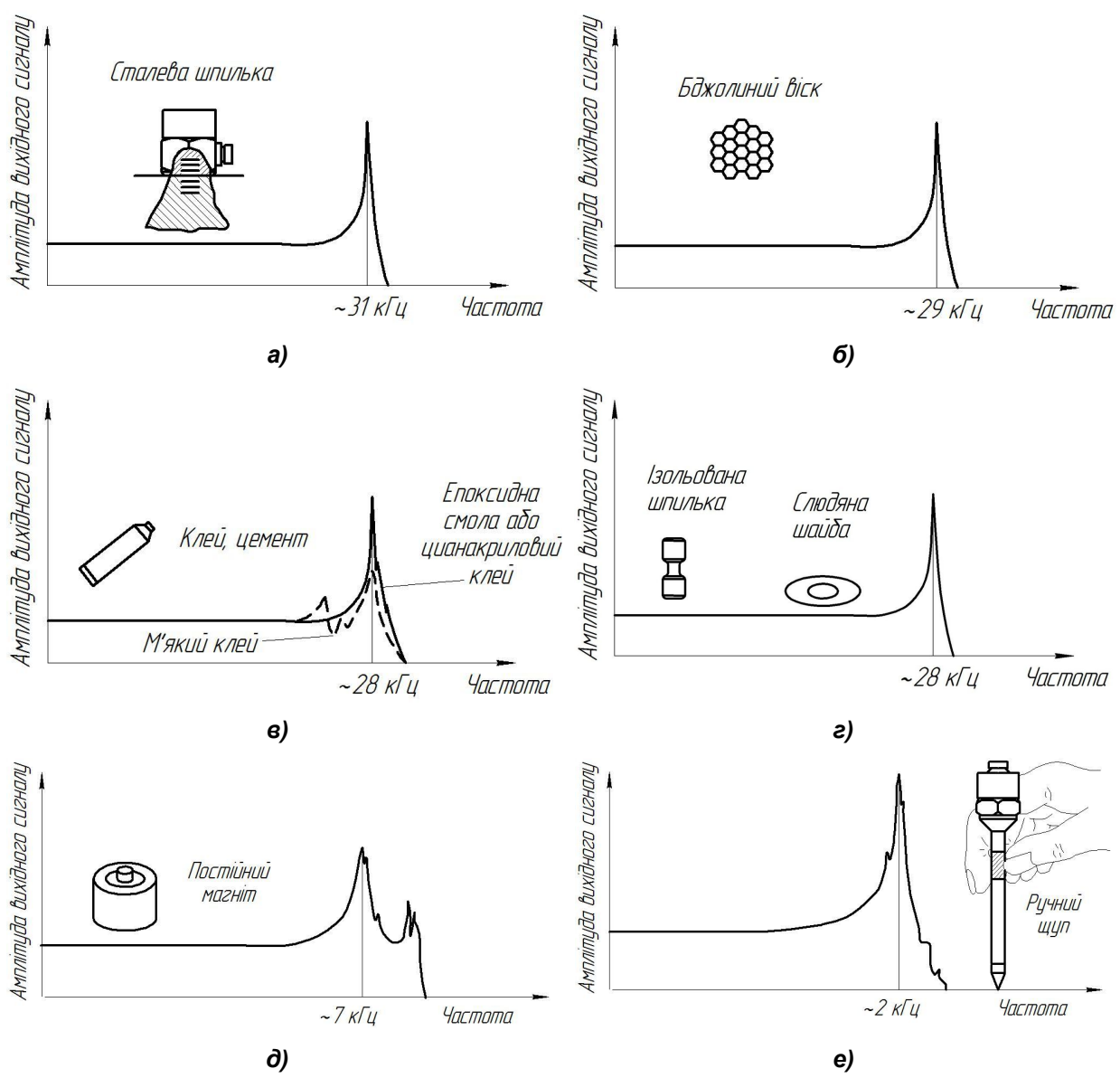


Рис. 2. Частотні характеристики вібродатчика при застосуванні різних схем кріплення до корпусу: а) сталеву шпилькою; б) воском; в) клеєм (герметиком) або епоксидною смолою; г) шпилькою й слюдяною шайбою; д) постійним магнітом; е) щупом



При поширенні височастотного віброакустичного сигналу по металу відбувається його згасання. Однак на лінійних ділянках довжиною менше 0,4 м згасання не дуже велике. Таким чином, при габаритних розмірах корпусу підшипника менше 0,8 м, достатній жорсткості корпусу і достатній дальності сусіднього підшипника вимірювання можна проводити практично в кожній його точці, тоді частота обертання підшипника становить не менше 5 Гц.

При невеликих розмірах підшипників, які розташовані в одному корпусі, вплив вібрації від сусідніх підшипників може бути досить великим і проводити вимірювання в нижніх точках не рекомендується.

Якщо між кришкою підшипника і його зовнішнім кільцем встановлені регульовальні (приставні) кільця або прокладки, тоді проведення вимірювань на кришці є недоцільним [4, 6].

Однак, при обранні найбільш раціональних місць (точок) кріплення датчиків необхідно також звернути увагу на точність результатів вимірювання, які залежать певним чином від стану діагностичних засобів.

Неправильне й ненадійне кріплення датчика при діагностуванні до підшипникового вузла вагона може стати джерелом великих похибок результату вимірювання параметрів вібрації [4, 5].

При кріпленні датчиків на підшипниковий вузол вагона для вимірювання параметрів вібрації необхідно дотримувати таких умов:

а) момент затягування гвинта або шпильки, що кріплять повинен відповідати рекомендаціям виготовлювача;

б) додавання ваги контролюючого датчика до випробовуваного підшипникового вузла не повинно змінювати динамічних характеристик вузла, вібрацію якого передбачається контролювати;

в) місця кріплення датчиків повинні бути ретельно оброблені.

Неправильний метод, що використовується при кріпленні датчиків може привести до істотних похибок при діагностичних вимірюваннях.

Для вимірювання вібрації з високою точністю необхідно здійснювати перевірку основних метрологічних характеристик діагностичного приладу: основної похибки, коефіцієнта перетворення датчика, амплітудно-частотної характеристики, амплітудної характеристики, чутливості датчика.

До вібродіагностичних стендів, які відносяться до засобів передачі вібраційних величин пред'являються специфічні вимоги, що

забезпечують відповідну точність вимірювання параметрів вібрації при порівнянні еталонних і робочих значень засобів вимірювання.

Однак, при показаннях вібровимірювальної апаратури в області нормальних робочих умов можуть бути властиві як випадкові, так і не виключені систематичні похибки. Тому при користуванні технічними вимірювальними приладами ніяких додаткових вимірювань, що впливають на величини не проводиться, в зв'язку з цим всі помилки в області нормальних робочих умов розглядаються як випадкові, так як похибка показання, що викликана кожною спливаючою величиною, може приймати будь-які невідомі нам значення у межах заданого допуску [1, 4, 6].

Основна похибка датчика вібрації $\delta_{O.П.Д}$ розраховується при довірчій імовірності 0,95 за формулою

$$\delta_{O.П.Д} = 1,1\sqrt{\delta_{O.З.В.}^2 + \delta_{\Pi}^2 + \gamma^2 + \delta_a^2 + \delta_g^2}, \quad (1)$$

де $\delta_{O.П.Д}$ – основна похибка датчика;

$\delta_{O.З.В.}$ – похибка основного засобу вимірювання, що використовувався при повірці;

δ_{Π} – похибка через наявність поперечної складової;

γ – нерівномірність амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) датчика в робочому діапазоні частот;

δ_a – нелінійність амплітудної характеристики датчика в робочому динамічному діапазоні;

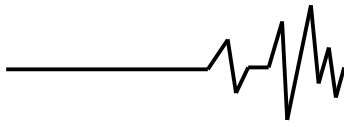
δ_g – похибка вольтметра, що використовувався для вимірювання напруги на виході датчика.

Відповідно до методичних вказівок МИ 1873-88 основна похибка вібровимірювального приладу визначається в нормальних умовах у робочому діапазоні частот і амплітуд і обчислюється за формулою

$$\delta_{o.n} = \sqrt{\delta_a^2 + \delta_f^2}, \quad (2)$$

де δ_a і δ_f – відповідно амплітудна й частотна відносні похибки в робочих діапазонах амплітуд і частот, які визначені при калібруванні апаратури в нормальних умовах.

Похибка вібровимірювального приладу за міжповірочний інтервал визначається при



довірчій імовірності 0,95 за формулою

$$\delta = \sqrt{\delta_{o.n}^2 + \delta_{o.c.n}^2 + v_1^2}, \quad (3)$$

де $\delta_{o.c.n}$ – похибка зразкового засобу вимірювання, що використовувався при повірці;

$v_1^2 = 0,5\delta_o^2$ – нестабільність апаратури за міжповірочний період.

Для раніше розроблених приладів, а також при калібруванні й перевірці вібродатчика й приладу на одній частоті, основна похибка δ_o оцінюється, відповідно до ГОСТу 8.401-80 за формулою

$$\delta_o = \pm \frac{\Delta}{X_N}, \quad (4)$$

де Δ – абсолютне значення похибки;

X_N – нормоване значення, частіше всього кінцеве значення шкали, або значення коефіцієнта перетворення датчика.

У цьому випадку основна похибка вібровимірювального приладу на одній частоті визначається не менш чим при п'ятьох значеннях амплітуд, які рівномірно розподілені по динамічному діапазоні, одне з яких мінімальне, інше максимальне. Крім того для багатодіапазонних приладів додатково потрібно виконати вимірювання не менше, чим в одній точці кожного діапазону.

Висновки

1. Визначення оптимальних місць (точок) розміщення датчиків при діагностуванні дає змогу без суттєвого зростання витрат істотно підвищити точність результатів контролю потокового технічного стану підшипникових вузлів вагонів.

2. Для підвищення точності аналізу вібрації і діагностування дефектів підшипникових вузлів вагонів, що зароджуються на початкових та середніх стадіях розвитку необхідно своєчасно здійснювати перевірку основних метрологічних характеристик та визначати величину основної похибки вібровимірювальних приладів для забезпечення відповідного класу точності.

Список використаних джерел

1. Барков А. В. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Анализ вибрации [Текст]: учеб. / А. В. Барков, Н. А.

Баркова. – СЗУЦ. СПб.: СПбГМТУ, 2004. – 156 с.

2. Баркова Н. А. Вибрационная диагностика машин и оборудования. Расчет основных частот вибрации узлов машин, параметров измерительной аппаратуры и практическая экспертиза [Текст] / Н. А. Баркова, А. А. Борисов. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2009. – 111 с.

3. Основы виброакустической диагностики машинного оборудования [Текст]: учеб. пособие / В. Н. Костюков, А. П. Наumenко, С. Н. Бойченко, Е. В. Тарасов. – Омск: НПЦ «Динамика», 2007. – 286 с.

4. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. [Текст] / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф. Я. Балицкий, А. В. Барков, Н. А. Баркова и др. Вибродиагностика – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.

5. Ширман А. Р. Практическая вибродиагностика и мониторинг состояния механического оборудования [Текст]: учеб. пособие / А. Р. Ширман, А. Б. Соловьев. – М.: Москва, 1996. – 252 с.

6. Измерение и анализ механических колебаний [Текст]: брошюра / Компания „Брюль и Кьер“. – М.: Московский Технический Центр Компании „Брюль и Кьер“, 2000. – 39 с.

Список джерел в транслітерації

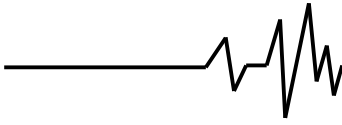
1. Barkov A. V. Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Analiz vibratsii [Tekst]: ucheb. / A. V. Barkov, N. A. Barkova. – SZUTS. SPb.: SPbGMTU, 2004. – 156 s.

2. Barkova N. A. Vibratsionnaya diagnostika mashin i oborudovaniya. Raschet osnovnykh chastot vibratsii uzlov mashin, parametrov izmeritel'noy apparatury i prakticheskaya ekspertiza [Tekst] / N. Barkova, A. A. Borisov. – SPb.: Izd. tsentr SPbGMTU, 2009. – 111 s.

3. Osnovy vibroakusticheskoy diagnostiki mashinnogo oborudovaniya [Tekst]: ucheb. posobiye / V. N. Kostyukov, A. P. Naumenko, S. N. Boychenko, Ye. V. Tarasov. – Omsk: NPTS «Dinamika», 2007. – 286 s.

4. Nerazrushayushchiy kontrol: Spravochnik: V 7 t. [Tekst] / Pod obshch. red. V. V. Klyuyeva. T. 7: V 2 kn. Kn. 2: F. YA. Balitskiy, A. V. Barkov, N. A. Barkova i dr. Vibrodiagnostika – M.: Mashinostroyeniye, 2005. – 829 s.

5. Shirman A. G. Prakticheskaya vibrodiagpostika i monitoring sostoyaniya mekhanicheskogo oborudovaniya [Tekst]: ucheb. posobiye / A. G. Shirman, A. B. Solovyev. – M.:



Moskva, 1996. – 252 s.

6. Izmereniye i analiz mekhanicheskikh kolebaniy [Tekst]: broshyura / Kompaniya "Bryul i Kyer". – M.: Moskovskiy Tekhnicheskiiy Tsentр Kompanii "Bryul i Kyer", 2000. – 39 s.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИАГНОСТИКИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ВАГОНОВ

Аннотация. Рассмотрены различные способы крепления и выбора оптимальных мест расположения датчиков, которые измеряют вибрацию подшипниковых узлов вагонов при проведении диагностирования. Основное задачей при выборе места расположения датчика на подшипниковом узле вагона, это как можно ближе подобраться к источнику вибрации подшипника. Датчик при этом необходимо устанавливать в наиболее нагруженной зоне подшипника.

Особое внимание уделено степени точности диагностического прибора, который зависит от его метрологических характеристик. Поэтому к средствам, которые измеряют и передают вибрационные величины, предъявляются особые требования. Они обеспечивают измерение параметров вибрации

подшипниковых узлов вагонов при диагностировании и передают их значения с высокой точностью и достоверностью.

Ключевые слова: вагон, датчик, диагностирования, крепления, подшипниковый узел, погрешность, прибор, расположение, точность.

IMPROVE THE ACCURACY OF DIAGNOSIS OF BEARING ASSEMBLIES CARS

Annotation. Different methods of mounting and choice of optimal placement of sensors that measure vibration bearings cars during diagnosis. The main task in choosing the location for the sensor bearing units of the car, it is as close as possible to get close to the source of vibration bearing. The sensor must be installed with the most loaded bearing zone.

Particular attention is paid to the degree of accuracy of the diagnostic device, which depends on its metrological characteristics. Therefore, tools that measure and transmit vibration values put forward specific requirements. They provide the measurement of vibration parameters bearings cars in diagnosing and transmit their values with high accuracy and reliability.

Key words: car, sensor diagnostics, fasteners, bearing assembly, error, device, location accuracy.