

УДК 658.562: 629.421.1

В. І. Бульба

(інженер технічного відділу служби приміських пасажирських перевезень Регіональної філії «Південна залізниця», м. Харків)

ВДОСКОНАЛЕННЯ МОНІТОРИНГУ ТЯГОВИХ ПЕРЕДАЧ ЕЛЕКТРОПОЇЗДІВ

Предметом дослідження є розробка методу акустичного моніторингу тягових передач при виконанні технічного обслуговування електропоїздів. На підставі розробленої технології пропонується одержання й реєстрація акустичних сигналів редуктора тягової передачі. При цьому відповідна колісна пара моторного візка за допомогою гідралічного домкрата піднімається над головою рейки, а на тяговий електродвигун подається живлення від стороннього низьковольтного джерела постійного струму. Коли колісна пара досягне стабільного обертання, здійснюється реєстрація акустичного сигналу на корпусі тягового редуктора, за допомогою спеціального датчика, з наступним його записом на магнітофон. Запропоновано метод виділення циклічної часової складової з повного акустичного сигналу на основі збігу відповідних зубів великого зубчастого колеса й шестірні тягового редуктора. У дослідженнях формалізована задача фрактального аналізу отриманих акустичних сигналів і розроблена спеціальна програма для її реалізації. Технічний стан тягового приводу пропонується оцінювати на основі фрактального аналізу акустичного сигналу за розрахунковим значенням показника Херста. Встановлені оціночні градаційні межі зміни числових значень цього показника, які дають можливість визначати працездатність тягових передач. Отримані результати такого моніторингу дозволяють встановити появу й розвиток дефектів у тягових передачах під час експлуатації електропоїзда.

***Ключові слова:** аналіз, зубоспівпадіння, моніторинг, показник Херста, сигнал, тягова передача, фрактал, електропоїзд.*

Постановка проблеми. Для передачі потужності на електропоїздах існує спеціальний тяговий привід, коли для тяги використовується електродвигун, тягове зусилля якого передається безпосередньо на ведучу колісну пару.

За своїми конструктивними властивостями доступ до тягового приводу при його експлуатації й обслуговуванні ускладнений. Це створює окремі проблеми у визначенні технічного стану даного вузла, а також вимагає впровадження сучасних системних методів і технічних засобів для одержання актуальних об'єктивних даних про його працездатність. До них, насамперед, варто віднести моніторинг, що дозволяє без розбирання одержати дані, які несуть у собі всю необхідну інформацію про технічний стан тягового приводу. Тому запропонований напрям досліджень є своєчасним і актуальним.

© Бульба В. І., 2018

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час існує значна кількість фізичних методів неруйнівного контролю. Вони застосовуються у вітчизняній і закордонній практиці для оцінки якості матеріалів і виробів. Серед них особливе місце займає акустичний контроль. Він, як правило, заснований на вимірюваннях пружних коливань, що збуджуються або виникають в об'єкті, який досліджується [1]. Пошук в Інтернеті за запитом «моніторинг та акустичні сигнали» дає понад 70 тисяч посилань. Тому залучення широкого кола фахівців і різноманітних методів досліджень лише підкреслює нерозв'язаність даної проблеми. Серед найбільш значимих наукових публікацій за даною проблемою можна виділити такі.

У роботі [6] викладені фізичні основи, методи й засоби акустичного контролю, як одного з найпоширеніших видів моніторингу. Зазначено, що неруйнівний контроль і моніторинг – це важливі складові частини, які визначають проблему безпеки. У дослідженнях [3] розглядаються загальні положення моніторингу тягових передач, а також аналізується використання для їх діагностики характерні властивості акустичного шуму й вібрації. У роботі [1] розглянуті питання акустичної діагностики і шляхи розповсюдження коливальної енергії по машинних конструкціях. Робота [13] присвячена розгляду основних методів акустичної діагностики, які передбачають аналіз шумового сигналу, що пов'язаний з роботою механізму і здобуття з нього корисної інформації. Публікація [6] присвячена віброакустичним методам, які використовуються для вимірювання низькочастотних і високочастотних коливань систем і елементів транспортних засобів. У роботі [9] розглянутий формат акустичного WAV-файлу, що визначає структуру й особливості його обробки на комп'ютері.

Необхідно відзначити, що практично всі дослідження з обробки акустичних сигналів спираються, за своєю суттю, на спектральний Фур'є аналіз і його результати, який дозволяє охарактеризувати тільки частотний склад сигналу, що вимірюється. Тому останні роки ознаменувалися все зростаючим інтересом до пошуку моделей нелінійного поведіння сигналів, приймаючи їх як часові ряди. Це пояснюється тим, що нелінійні моделі можуть уловлювати дуже складні процеси, на основі теорії хаосу [4]. Найбільш адекватним математичним апаратом для дослідження динаміки й структури таких рядів є фрактальний аналіз, особливе значення якого полягає в тому, що він здатний урахувати поведінку системи не тільки в період вимірювань, але й її передісторію [7, 14].

Опису самоподоби (фрактальності) різних явищ у природі й техніці присвячений значний обсяг досліджень. Серед них можна виділити основні наукові дослідження про фрактали [12]. Постійно публікуються роботи, які присвячені фрактальним властивостям систем і регулярно видається спеціалізований журнал *Fractals* [17-21].

Окремим, важливим питанням, щодо застосування фракталів є аналіз часових рядів, до яких зокрема запропоновано відносити отримані акустичні сигнали. Як правило, інформація про поведінку складних систем утворюється у вигляді саме таких експериментальних даних. Це й послужило, у свою чергу, відправною точкою щодо застосування даного напрямку для моніторингу тягових передач електропоїздів.

Метою роботи є створення методу моніторингу тягових передач електропоїздів на основі застосування фрактального аналізу.

Для досягнення цієї мети були виділені такі задачі:

- провести аналіз сучасних наукових досягнень в галузі акустичного контролю та перспектив щодо їх подальшого розвитку;

- розробити організацію робіт щодо отримання моніторингових параметрів на тяговій передачі електропоїзда;
- провести фрактальний аналіз отриманих акустичних сигналів за показником Херста та оцінити їх передбачуваність відповідно виявлених дефектів у тягових передачах електропоїздів;
- виконати експериментальні дослідження і підтвердити адекватність отриманих результатів.

Викладення основного матеріалу. Тягова передача електропоїзда є одним із лімітуючих вузлів, що забезпечує безпеку його руху. Вона має свої особливості. Конструктивно кожна тягова передача закривається спеціальним кожухом і визначити без його розкриття обслуговуючому персоналу, у якому вона перебуває стані просто неможливо. Візуальним оглядом можна виявити тільки пошкодження цього кожуха й тільки. На підставі цього постає задача здійснення швидкого («експрес») моніторингу тягової передачі електропоїзда з метою оцінки її технічного стану на кожному технічному обслуговуванні ТО-3 або поточному ремонті ПР-1. Такий моніторинг запропоновано здійснювати на основі отримання та подальшого аналізу акустичних сигналів.

Організація акустичного моніторингу тягових передач електропоїздів передбачала виконання наступних операцій.

Перед початком вимірювань колісна пара моторного вагона електропоїзда піднімалась за допомогою гідравлічних домкратів на висоту 5 – 7 мм над головкою рейки (рис. 1).

Після цього на тяговий електродвигун, який пов'язаний з тяговою передачею, що перевірялась, подавалась знижена напруга від зварювальної живильної мережі.

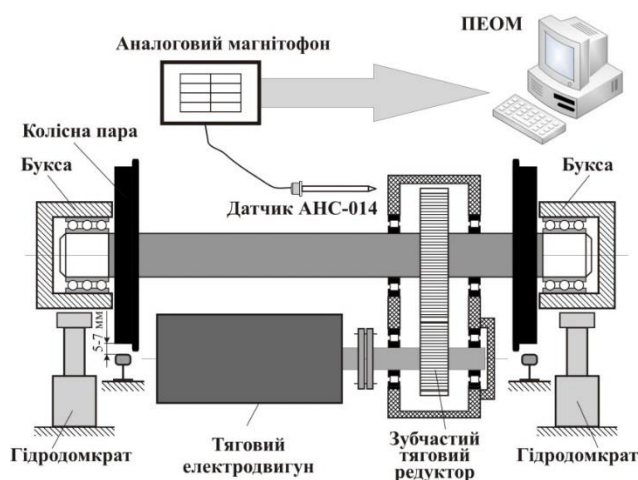


Рис. 1. Схема вимірювання акустичного сигналу

Коли колісна пара досягала стійкого обертання її частота вимірювалась за допомогою спеціального лазерного тахометра (рис. 2б). Після цього датчик АНС-014 (рис. 2, а) прикладався до кожуха тягового редуктора у визначеному місці і здійснювався запис акустичного сигналу на аналоговий магнітофон. У подальшому цей сигнал пересилався на комп'ютер для його обробки.



Рис. 2. Загальний вид датчика АНС-014 (а) і лазерного безконтактного тахометра DT2234C (б)

Аналіз отриманого акустичного сигналу на ПЕОМ здійснювався на основі фрактальної оцінки за показником Херста (метод **R/S** аналізу) за спеціально розробленою програмою. Приймалося, що досліджуваний акустичний сигнал можна ототожнити із часовим рядом (де за часом змінюється амплітуда сигналу) [10]. Насамперед, необхідно встановити чи є досліджуваний ряд фрактальним або просто стохастичним процесом. Для цієї мети визначалась фрактальна розмірність D як:

$$D = 2 - H, \quad (1)$$

де H – показник Херста.

Якщо розмірність D , яка отримувалась в результаті розрахунків, мала дробове значення і складала більше одиниці ($D > 1$), то вважалось, що досліджуваний часовий ряд є фрактальним і має всі необхідні особливості для його фрактальної оцінки.

Показник Херста визначався таким чином [10]. Стосовно до акустичного сигналу приймалося, що він являє собою часову залежність $y(t)$, з різними значеннями величин амплітуд y протягом дискретних цілочисельних моментів часу t . Уявімо собі, що y є деякою накопиченою величиною, яка може бути представлена як сума деяких елементарних внесків Δt у деякому обмеженому інтервалі часу t від 1 до τ . Тоді середнє значення тимчасового ряду визначиться як:

$$\bar{y}(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} \Delta y(t), \quad (2)$$

або

$$\bar{y}(\tau) = \frac{y(\tau)}{\tau}. \quad (3)$$

Після цього обчислювалось накопичене відхилення ряду вимірювань $\Delta y(t)$ від середнього $\bar{y}(\tau)$:

$$y(t, \tau) = \sum_{i=1}^t [\Delta y(i) - \bar{y}(\tau)]. \quad (4)$$

Різниця між максимальними і мінімальними значеннями (розмах) процесу $y(t)$ на інтервалі часу τ визначалась як:

$$R = \max_{1 \leq t \leq \tau} y(t, \tau) - \min_{1 \leq t \leq \tau} y(t, \tau). \quad (5)$$

Середньоквадратичне відхилення приростів випадкового процесу на інтервалі τ буде складати:

$$S = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} [\Delta y(t) - \bar{y}(\tau)]^2}, \quad (6)$$

де $\Delta y(t)$ – елементарне збільшення $y(t)$ на кроці t .

Розмах цього ряду визначався як співвідношення:

$$R/S = (a \cdot \tau)^H, \quad (7)$$

де a – постійна Херста, яка приймалась у розрахунках $a = 0,5$ [12].

Далі отримані значення логарифмувалися:

$$\ln(R/S) = \ln(a \cdot \tau)^H = H \ln(a \cdot \tau) = H [\ln(\tau) + \ln a]. \quad (8)$$

Після цього, використовуючи заміну $\ln(\tau) = \varphi$ й $H \ln(a) = c$ масив апроксимувався лінійною залежністю:

$$f(\varphi) = H \varphi + c. \quad (9)$$

Показник Херста знаходився шляхом визначення тангенсу нахилу прямої даної лінійної залежності. Отриманий при розрахунках показник Херста для акустичного сигналу, з погляду оцінки працездатності тягової передачі електропоїзда, інтерпретувався таким чином [10].

Якщо показник Херста знаходився в інтервалі $0 < H < 0,5$, то значення досліджуваного тимчасового ряду (сигналу) не є незалежними. Кожне з них несе пам'ять про попередні події. У цьому випадку час є важливим чинником, який впливає на всю систему (тягову передачу в цілому). Даний діапазон відповідає антиперсистентному

(ергодичному) ряду, тобто «поверненням до середнього». Якщо часовий ряд демонструє зростання у попередній період, то надалі почнеться його спад. Тому можна очікувати у подальшому в тяговій передачі появу несправності.

При значенні показника Херста $H = 0,5$ досліджуваний часовий ряд являє собою випадкове блукання. При цьому всі значення випадкові й некорельовані, тобто сьогоднішнє не впливає на майбутнє (система знаходиться в невизначеному стані).

При знаходженні показника Херста в інтервалі $0,5 < H < 1,0$ значення досліджуваного тимчасового ряду є залежними. При цьому, чим ближче H до значення $0,5$, тим більш зашумлений ряд і менше виражений його тренд. Якщо ряд зростає в попередній період, то цю тенденцію він буде зберігати і у майбутньому, тобто поява несправності у тяговій передачі не очікується.

На рис. 3 наведені результати розрахунку показника Херста за допомогою ПЕОМ для двох акустичних сигналів.

З отриманого значення показника Херста (рис. 3а) можна зробити висновок про те, що досліджуваний акустичний сигнал володіє фрактальністю, і не є породженням чисто стохастичного процесу, тому що $D = 2 - 0,5507 = 1,4493$. Отже, до даного сигналу можуть бути застосовані фрактальні методи з метою виявлення оптимальної конфігурації систем, що її пророкують. За таким прогнозом значення показника Херста знаходиться вище значення $0,5$ і тому можна зробити висновок, що надалі дана тягова передача буде зберігати задану працездатність і дефектів у ній не передбачається.

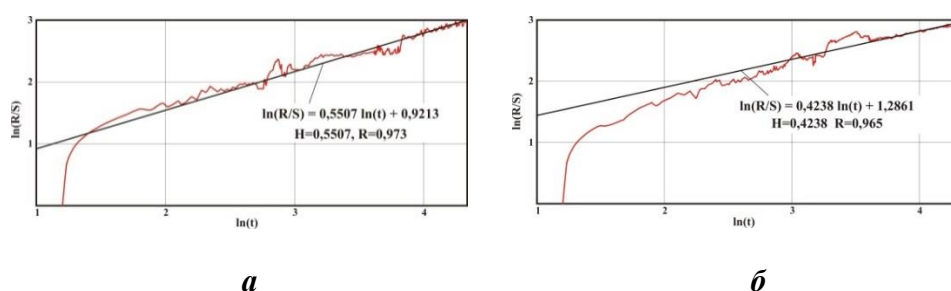


Рис. 3. Результати розрахунку показника Херста: а – показник, що попадає в інтервал $0,5 < H < 1,0$; б – показник, що попадає в інтервал $0 < H < 0,5$

Результати розрахунку показника Херста (рис. 3, б) теж підтверджують його фрактальність, оскільки $D = 2 - 0,4238 = 1,5762$. Однак з погляду прогнозу в цьому випадку показник Херста знаходиться нижче значення $0,5$ і можна припустити зародження у вузлі дефекту, який надалі може призвести до поломки й виходу з ладу тягової передачі.

За запропонованою технологією на планових видах технічного обслуговування ТО-3 і поточного ремонту ПР-1 перевірялися тягові передачі на електропоїздах, які знаходилися в експлуатації. Аналіз технічного стану кожного тягового редуктора оцінювався за значенням показника Херста і його відповідності влучення в прийняті інтервали.

Моніторинг виконувався в моторвагонному депо Харків РФ «Південна залізниця» на першому, другому й третьому ТО-3 після поточного ремонту ПР-2 на 4-х обраних

електропоїздах (на один електропоїзд доводиться 16 тягових передач). Усього за час проведення випробувань було перевірено 192 тягові передачі. За результатами більшості з них (близько 86%) розрахунковий показник Херста знаходився у межах 0,56–0,65. Це приймалося як відсутність у них яких-небудь дефектів і електропоїзд відправлявся в експлуатацію.

Разом з тим, у результаті проведення експерименту, на окремих тягових передачах були зафіксовані й візуально підтверджені при розбиранні значні дефекти. Так, на електропоїзді ЕР2Р–7070 при проведенні моніторингу трьох тягових передач моторних вагонів 70704, 70706 і 70708 перед проведенням ТО-3 на основі обробки акустичних сигналів розрахунковий показник Херста склав $H=0,43\div0,48$. Фрактальна розмірність при цьому складала $D = 1,57 \div 1,52$. При прокручуванні у цих тягових передачах, які перевірялися, прослуховувався сильний шум у низькочастотному діапазоні. Перевіркою було встановлено (за допомогою штатних щупів), що в кожухах вищезначених передач був недостатній рівень мастила. Після поповнення мастила в цих тягових редукторах до необхідного рівня були повторно зняті акустичні сигнали. Шум помітно зменшився й за результатами обробки сигналів показник Херста вже склав $H=0,52\div0,54$.

На двох тягових передачах був отриманий показник Херста відповідно 0,44 і 0,41, а фрактальна розмірність склала $D = 1,56 \div 1,59$. При прокручуванні колісних пар у тягових редукторах прослуховувалися стукооти й удари. Після розкриття кожухів тягових передач і їх візуального огляду через оглядові люки були виявлені відколи й тріщини зубів вінця великого зубчастого колеса. Моторний вагон із цими дефектами був відставлений у ремонт.

Для окремих тягових передач був отриманий розрахунковий показник Херста в межах $H=0,36\div0,41$, а фрактальна розмірність склала $D = 1,59 \div 1,64$. При їх огляді було встановлене підвищене зношування поверхні зубів і, як наслідок, порушення геометрії зчеплення.

У результаті проведення експериментів кожна тягова передача, для якої за розрахунковим показником Херста прогнозувався незадовільний технічний стан і наявність дефектів, розбиралася й оглядалася. При цьому проводилося вимірювання розмірів деталей, а також встановлювалися основні причини й фактори, що призводили до даного дефекту. На основі цього були визначені основні фактори, які викликають зношення тягової передачі. Встановлено, що діючих факторів багато й кожний з них можна вважати причиною виниклої несправності. Однак проглядаються фактори, які визначають специфічні умови роботи екіпажної частини. Це, у першу чергу, динамічні навантаження, як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах. Причини багатьох несправностей – низька якість обслуговування й ремонту відповідальних вузлів механічної частини, відсутність повсюдного використання ефективних способів відновлення працездатності деталей під час їх ремонту. Не менш важлива й роль низької ремонтпридатності низки конструкцій тягового приводу. Встановлено, що тягові приводи електропоїздів, особливо ті, які пройшли заводський або деповської ремонт, мають підвищений рівень акустичних сигналів. Це, як правило, виникає в результаті розукомплектування зубчастих коліс тягового редуктора.

Висновки і перспективи подальшого використання. На підставі проведених досліджень щодо акустичного моніторингу тягових передач електропоїздів можна зробити такі висновки.

1. Виконаний огляд наукових досягнень в галузі акустичного контролю, який засвідчив його актуальність і перспективу широкого застосування на основі сучасних підходів щодо використання методів фрактального аналізу.

2. Створена технологія отримання моніторингових параметрів, яка включає процеси вивішування колісної пари, подачі живлення на тяговий електродвигун від сторонньої мережі і вимірювання частоти її обертання, а також отримання акустичного сигналу на кожусі тягового редуктора.

3. Проведений фрактальний аналіз отриманих акустичних сигналів. Запропоновані діапазони для оцінки показника Херста, на основі яких можна визначати технічний стан тягових передач, а також прогнозувати на подальший час їх працездатність у експлуатації.

4. Проведеними експериментальними дослідженнями доведено, що отримані акустичні сигнали завжди мають фрактальну властивість, яка може змінюватися відповідно до виявлених дефектів у тягових передачах. При цьому підтверджено, що метод R/S аналізу є цілком адекватним для оцінки результатів моніторингу і показав коректність його застосування щодо визначення технічного стану тягових передач електропоїздів.

5. Характерні дефекти в тягових передачах і передбачуваність їх появи на основі оцінки показника Херста дозволяють на перспективу рекомендувати продовження виконаних досліджень і розширити їх на весь парк електропоїздів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Артоболовский И.И. Введение в техническую диагностику машин / И.И. Артоболовский, Ю.И. Балицкий, М.Д. Генкин. – М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. – 296 с.
2. Баранов В.М. Акустическая диагностика и контроль на предприятиях / В.М. Баранов. – М.: Наука, 1998. – 304 с.
3. Барков А.В. Вибрационная диагностика колесно-редукторных блоков на железнодорожном транспорте / А.В. Барков. – СПб.: Изд. центр СПб ГМТУ, 2002. – 101 с.
4. Бобровников Я.Ю. Диагностические комплексы электроподвижного состава / Я.Ю. Бобровников. – Хабаровск.: Издательство ДВГУПС, 2012. – 94 с.
5. Генкин М.Д. Виброакустическая диагностика машин и механизмов / М.Д. Генкин, А.Г. Соколова. – М.: Машиностроение, 1987. – 282 с.
6. Ермолов И.Н. Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
7. Зиненко А.В. R/S анализ на фондовом рынке / А.В. Зиненко // Бизнес-информатика. – 2012. – №3(21). – С. 24 – 30.
8. Зосимов В.В. Фракталы и скейлинг в акустике / В.В. Зосимов, Л.М. Лямшев // Акустический журнал. – 1994. – Т. 40. – №5. – С. 709–737.
9. Кинтцель Т. Программирование звука на ПК / Т. Кинтцель. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 432 с.
10. Киселев Б.В. Об интерпретации статистического R/S-анализа (показатель Херста) / Б.В. Киселев // Ученые записки СПбГУ, – 2007. – Вып. 40 (440). – С. 121 – 130.
11. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях / Макс Ж. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
12. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002 – 656 с.
13. Павлов Б.В. Акустическая диагностика механизмов / Б.В. Павлов. – М.: Машиностроение, 1981. – 224 с.
14. Панчелюга В.А. Локальный фрактальный анализ шумоподобных временных рядов методом всех сочетаний / В.А. Панчелюга, М.С. Панчелюга // Биофизика. – 2015. – Т. 60. – Вып. 2. – С. 395 – 410.
15. Сосулин Ю.Г. Теория обнаружения и оценивания стохастических сигналов / Ю.Г. Сосулин. – М.: Сов. радио, 1978. – 319 с.
16. Alekseev A.D., Vasilenko T.A. Fractal analysis of the hierarchic structure of fossil coal surface // Journal of Mining Science, May 2008, Vol. 44, Is. 3, P. 235–244.

17. Eiji U., Takanori K.. Tissue characterization of coronary plaque by kNN classifier with fractal-based features of IVUS RF-signal // *Journal of Intelligent Manufacturing*, October 2014, Vol. 25, Is. 5, P. 973 – 982.
18. Luciano T., Gerardo C. Fractal approaches in investigating the time dynamics of self-potential hourly variability // *International Journal of Earth Sciences*, April 2005, Vol. 94, P. 285–300.
19. Schaefer D., Martin J., Wiltzius P. Fractal Geometry of Colloidal Aggregates // *Phys. Rev. Lett*, 1984, V.52, № 26, P. 2371 – 2374.
20. Vicky G., Bal S. Assessment of the spatial pattern of colorectal tumour perfusion estimated at perfusion CT using two-dimensional fractal analysis // *European Radiology*, June 2009, Vol. 19, Is. 6, P. 1358–1365.
21. Yulmetyev R., Gafarov F., Hanggi P. Possibility between earthquake and explosion seismogram differentiation by discrete stochastic non-Markov processes and local Hurst exponent analysis // *Phys. Rev. E.*, 2001, № 64, P. 62 – 68.

REFERENCES

1. Artobolevsky I.I. Vvedenie v tekhnicheskuy diagnosticu mashin [Introduction in technical diagnostics of machines], I.I. Artobolevsky, U.I. Balitckiy, M.D. Genkin. M.: The main edition of the physical and mathematical literature, 1979, 296 p.
2. Baranov V.M. Akusticheskay diagnostica i control na predpriytiy [Acoustic diagnostics and the control over the enterprises], V.M. Baranov. M.: Science, 1998, 304 p.
3. Barkov A.V. Vibratsionnay diagnostica kolesno-reduktornykh blokov na geleznodorozhnom transporte [Vibrating diagnostics of wheels and reducers of blocks on a railway transportation], A.V. Barkov. SPb.: Izd. zentr SPb GMTU, 2002, 101 p.
4. Bobrovnikov Y.U. Diagnosticheskie kompleksey elektropodvignogo sostava [Diagnostic complexes of an electrorolling stock], Y.U. Bobrovnikov, Xabarovsk, Publishing house DVGUPS, 2012, 94 p.
5. Genkin M.D. Vibroakusticheskay diagnostica mashin i mexanizmov [Vibroacustik diagnostics of machines and mechanisms], M.D. Genkin, A.G.Sokolova, M.: Mashinistroyeniye, 1987, 282 p.
6. Ermolov I.N. Akusticheskoye metody kontrolya [Acoustic quality monitoring], I.N. Ermolov, N.P. Aleshin, M.: Vysh. shk., 1991, 283 p.
7. Zinenko A.V. R/S analiz na fondovom rynke [R/S the analysis in the share market], A.V. Zinenko // *Business-computer science*, 2012, №3(21), pp. 24-30.
8. Zosimov V.V. Fraktaly i skayling v akustike [Fractals and skayling in acoustics], V.V. . Zosimov, L.M. Lymshv // *Acoustic magazine*, 1994, T.40, №5, pp. 709-737.
9. Kintcel T. Programirovaniye zvuka na PK [Programming of a sound on a personal computer], T. Kintcel, DMK Press, 2005, 432 p.
10. Kiselev B.V. Ob interpretatsii statisticheskogo R/S-analiza (pokazatel Xersta) [About interpretation of the statistical R/S-analysis (Hurst's parameter)], B.V. Kiselev // *Scientists of a note SPbGU*, 2007, Release 40(440), pp. 121-130.
11. Macs G. Metody i tekhnika obrabotki signalov pri fizicheskix izmereniyax [Methods and technical equipment of processing of signals at physical measurements], Macs G., M.: Mir, 1983, 312 p.
12. Mandelbrot B. Fraktalnay geometriya prirody [Fractals geometry of the nature], . Mandelbrot B., Institute of computer researches, 2002, 656 p.
13. Pavlov B.V. Akusticheskay diagnostica mexanizmov [Acoustic diagnostics of mechanisms], B.V. Pavlov, M.: Mashinistroyeniye, 1981, 224 p.
14. Pansheluga V.A. Lokalniy fraktalniy analiz shumopodobnykh vremennykh ryadov metodom vsekh sochetaniy [Local fractals the analysis of temporary numbers similar to noise by a method of all combinations], V.A. Pansheluga, M.S. Pansheluga // *The biological physics*, 2015, T.60, Release 2, pp. 395-410.
15. Sosulin U.G. Teoriya obnaruzheniya i ocenivaniya stokasticheskix signalov [The theory of detection and estimation of stochastic signals], U.G. Sosulin U.G., M.: Sov. radio, 1978, 319 p.
16. Alekseev A.D., Vasilenko T.A. Fractal analysis of the hierarchic structure of fossil coal surface // *Journal of Mining Science*, May 2008, Vol. 44, Is. 3, P. 235–244.
17. Eiji U., Takanori K.. Tissue characterization of coronary plaque by kNN classifier with fractal-based features of IVUS RF-signal // *Journal of Intelligent Manufacturing*, October 2014, Vol. 25, Is. 5, P. 973–982.
18. Luciano T., Gerardo C. Fractal approaches in investigating the time dynamics of self-potential hourly variability // *International Journal of Earth Sciences*, April 2005, Vol. 94, P. 285–300.
19. Schaefer D., Martin J., Wiltzius P. Fractal Geometry of Colloidal Aggregates // *Phys. Rev. Lett*, 1984, V.52, № 26, P. 2371 – 2374.

20. Vicky G., Bal S. Assessment of the spatial pattern of colorectal tumour perfusion estimated at perfusion CT using two-dimensional fractal analysis // European Radiology, June 2009, Vol. 19, Is. 6, P. 1358–1365.

21. Yulmetyev R., Gafarov F., Hanggi P. Possibility between earthquake and explosion seismogram differentiation by discrete stochastic non-Markov processes and local Hurst exponent analysis // Phys. Rev. E., 2001, № 64, P. 62 – 68.

В. И. Бульба

(инженер технического отдела службы пригородных пассажирских перевозок Регионального филиала «Південна залізниця», г. Харьков)

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МОНИТОРИНГА ТЯГОВЫХ ПЕРЕДАЧ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

Предметом исследования является разработка метода акустического мониторинга тяговых передач при проведении технического обслуживания электропоездов. На основании разработанной технологии предлагается получение и регистрация акустических сигналов редуктора тяговой передачи. При этом соответствующая колесная пара моторной тележки при помощи гидравлического домкрата поднимается над головкой рельса, а на тяговый электродвигатель подается питание от постороннего низковольтного источника постоянного тока. Когда колесная пара достигнет стабильного вращения, производится регистрация акустического сигнала на корпусе тягового редуктора, при помощи специального датчика, с последующей его записью на магнитофон. Предложен метод выделения циклической временной составляющей из полного акустического сигнала на основе совпадения соответствующих зубьев большого зубчатого колеса и шестерни тягового редуктора. В исследованиях формализована задача фрактального анализа полученных акустических сигналов и разработана специальная программа для ее реализации. Техническое состояние тягового привода предлагается оценивать на основе фрактального анализа полученного акустического сигнала по расчетному значению показателя Херста. Установлены оценочные градационные границы изменения числовых значений этого показателя, которые дают возможность определять работоспособность тяговых передач. Полученные результаты такого мониторинга позволяют установить появление и развитие дефектов в тяговых передачах во время эксплуатации электропоезда.

Ключевые слова: анализ, зубосовпадение, мониторинг, показатель Херста, сигнал, тяговая передача, фрактал, электропоезд.

Vladislav I. Bulba

(The engineer of a technical department service of suburban passenger transportations RF «Southern railway»)

PERFECTION OF MONITORING TRACTION TRANSFERS OF ELECTRIC TRAINS

Object of research is development of a method of acoustic monitoring of traction transfers at carrying out of maintenance service of electric trains. On the basis of the

developed technology reception and registration of acoustic signals of a reducer of traction transfer is offered. Thus the corresponding wheel pair the motor carriage by means of a hydraulic jack rises above a head of a rail, and on the traction electric motor a feed from an extraneous low-voltage source of a direct current moves. When the wheel pair will reach stable rotation, registration of an acoustic signal on the case of a traction reducer, by means of the special gauge, with his subsequent record on the tape recorder is made. The method of allocation cyclic temporary making of a full acoustic signal on the basis of concurrence corresponding tooth's the big cogwheel and gear a traction reducer is offered. In researches the problem fractals the analysis of the received acoustic signals is formalized and the special program for her realization is developed. The technical condition of a traction drive is offered to be estimated on the basis of fractals the analysis of the received acoustic signal on settlement value of a parameter of Hurst. Estimated gradational borders of change of numerical values of this parameter which enable are installed to determine working capacity of traction transfers. The received results of such monitoring allow installing occurrence and development of defects in traction transfers during operation of an electric train.

Keywords: electric train, fractal, Hurst's parameter, monitoring, signal, the analysis, tooth's concurrence, traction transfer.

Стаття надійшла до редакції 15.12.2017 р.