

- plants [Text] / J. Zhang, L. Chen, H. Zeng, X. Yan, X. Song, H. Yang, C. Ye // Desalination. – 2007. – Vol. 214, Issues 1–3. – P. 287–298. doi: 10.1016/j.desal.2006.12.004.
10. Frick, J. M. Evaluation of pretreatments for a blowdown stream to feed a filtration system with discarded reverse osmosis membranes [Text] / J. M. Frick, L. A. Féris, I. C. Tessaro // Desalination. – 2014. – Vol. 341. – P. 126–134. doi: 10.1016/j.desal.2014.02.033.
11. Zeng, H. Comparison of an ultrafiltration membrane fed with raw seawater, coagulated seawater and cooling tower blowdown [Text] / H. Zeng, J. Zhang, C. Ye // Desalination. – 2009. – Vol. 244, Issues 1–3. – P. 199–207. doi: 10.1016/j.desal.2008.04.044.

У статті розглянута сутність R/S-методу для аналізу часових рядів. Визначені основні положення за розрахунками фрактального показника Херста й аналізу його характеру для різних умов складових часового ряду. На основі розрахунку й оцінки показника Херста для часового ряду витрат палива тепловозами запропонована організація моніторингу технічного стану й створений метод для розрахунку залишкового ресурсу паливної апаратури

Ключові слова: аналіз, відхилення, залежність, інтервал, метод, показник, розмах, фрактал, часовий ряд

В статье рассмотрена сущность R/S-метода для анализа временных рядов. Определены основные положения по расчету фрактального показателя Херста и анализа его характера для различных условий составляющих временного ряда. На основе расчета и оценки показателя Херста для временного ряда расхода топлива тепловозами предложена организация мониторинга технического состояния и создан метод для расчета остаточного ресурса топливной аппаратуры

Ключевые слова: анализ, отклонение, зависимость, интервал, метод, показатель, размах, фрактал, временной ряд

УДК 629.424.1

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.29353

АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ Й ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТЕПЛОВОЗА З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ ХЕРСТА

В. І. Дробаха

Кандидат технічних наук,
начальник виробничого управління
Департамент локомотивного
господарства Укрзалізниці
вул. Тверська, 5, м. Київ, Україна, 03680
E-mail: UZ@uz.gov.ua

О. Д. Трихліб

Начальник відділу
Відділ «Нормування
паливно-енергетичних ресурсів»
Служба локомотивного
господарства Південної залізниці
вул. Червоноармійська, 7, м. Харків, Україна, 61052
E-mail: toplivo.pz@mail.ru

1. Вступ

Організація експлуатаційної роботи локомотивного парку відіграє першорядну роль у показниках його ефективності. Полігон поїзної й маневрової роботи тепловозів, особливості профілю колії та характер навантаження, що реалізується силовими установками, частка гарячих простоїв і ступінь залучення в пасажирському русі, швидкості руху і їхнього обмеження – все це приводить до того, що питомі витрати дизельного палива тепловозів однієї серії, працюючих у різних регіонах експлуатації, а також їх технічний стан значно відрізняються. У процесі експлуатації тепловоза поступово відбувається погіршення його технічного стану. Процес зношування й розрегулювання спостерігається по всіх основних вузлах й системах дизеля. Результатом такого погіршення технічного стану є не тільки зниження надійності роботи, але й збільшення витрат палива. У результаті досліджень проведених у локомотивних депо Південної залізниці й ряді підприємств промислового залізничного транс-

порту виявлено, що технічний стан 70 % локомотивів, що перебувають в експлуатації, не відповідає вимогам нормативно-технічної документації.

Використання системи контролю БІС-РМ, значне розширення її інформаційних можливостей, дозволяє не тільки одержувати точні й об'єктивні показники паливовикористання, але й здійснювати аналіз технічного стану тепловоза. Зафіксовані системою контролю показники, здійснювані з упорядкованої періодичністю, можуть бути подані у вигляді тимчасового ряду й підвладні відповідній математико-статистичному аналізу для виявлення їхньої структури й прогнозування.

Останні роки ознаменувалися зростаючим інтересом до пошуку моделей нелінійної поведінки часових рядів. Це пояснюється тим, що нелінійні моделі можуть уловлювати дуже складні процеси, на основі теорії хаосу. Найбільш адекватним математичним апаратом для дослідження динаміки й структури таких рядів є фрактальний аналіз, особливе значення якого полягає в тому, що він здатний урахувати поведжен-

ня системи не тільки в період вимірювань, але також і його передісторію, а також перспективу.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Опису самоподоби (фрактальності) різних явищ у природі й науці присвячена значна кількість літератури. По-перше, це класичні монографії основоположника науки про фрактали Бенуа Мандельброта [1] та його послідовників [2, 3]. По-друге, регулярні огляди в загальнонаукових журналах [4–7]. По-третє, роботи, які постійно публікуються по фрактальним властивостям систем, що виникають у зовсім різних галузях природознавства: геофізиці [1], економіці й фінансах [3], астрономії [8], комп'ютерній графіці [9], ядерній фізиці [10], фізіології [11] і т. д. Регулярно видається спеціалізований журнал *Fractals*.

Окремою, важливою галуззю застосування фракталів є аналіз часових рядів: послідовностей виміру фізичних величин, упорядкованих за часом. Як правило, інформація про поведінку складних систем утворюється у вигляді саме таких експериментальних даних. На сьогоднішній день добре відомо, що фракталами є графіки реалізацій всіляких процесів, як стохастичних (броунівський рух), так і детермінованих (реалізація рішень логістичного рівняння при певних значеннях параметру). Фрактальні часові ряди виникають, зокрема, при вимірюваннях різних природних процесів: геофізичної й геомагнітної активності [7], сонячних випромінювань [8], рівня розливів річок [10], фізіологічних характеристик організму людини [11] і т. д.

Така широка поширеність фрактальних властивостей дозволяє використовувати її (з певною інтерпретацією) для дослідження показників часових рядів у локомотивному господарстві залізниць. Специфіка роботи рухомого складу, що представляє основну частину локомотивного господарства, характеризується многафакторністю й серйозними труднощами інтерпретації. Класичні методи статистичного аналізу не завжди дозволяють одержати адекватні результати.

Накопичені за тривалий період часу експлуатаційні показники, що характеризують маневрову роботу тепловозів, (у першу чергу витрата палива, реалізована потужність і ін.) на думку авторів можуть бути піддані аналізу з використанням R/S-методу Херста для одержання більше надійних і обґрунтованих прогнозних результатів.

3. Ціль та задачі дослідження

Удосконалена система контролю витрати палива БІС-Рм дозволяє істотно розширити інформаційні можливості для аналізу роботи тепловоза. Ціллю дослідження є проведення аналізу та створення методу моніторингу паливної економічності тепловозів на основі аналізу часових рядів за показником Херста.

Основною задачею є одержання можливостей розрахунку показників Херста для прогнозу залишкового ресурсу паливної апаратури й проведення її додаткового регулювання й ремонту.

4. Матеріали та методи дослідження поточного технічного стану тепловозів на базі аналізу експлуатаційної витрати палива.

Вплив безлічі випадкових факторів приводить до того, що видаткові характеристики дизелів можуть змінюватися на різну величину [12]. Такі відхилення можуть досягати 10–15 %. Ці явища найбільше помітно виявляються при експлуатації локомотивів з великими пробігами й повинні врахуватися при вирішенні завдання оцінки витрат палива на виконану поїзну роботу.

Значний вплив на витрату палива ДГУ тепловоза робить якість настроювання зовнішньої характеристики тепловоза. При проведенні післяремонтних реостатних випробувань потужність ДГУ тепловоза повинна перебувати в межах паспортного поля допуску (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри настройки ДГУ тепловоза серії ЧМЕЗ

Позиція контролера машиніста	Частота обертання колінчастого вала дизеля, об/хв	Потужність ДГУ	
		к. с.	кВт
0	350±5	0	0
1	350±10	190±10	140±10
2	385±10	260±10	190±10
3	420±10	375±15	276±15
4	465±10	550±15	404±15
5	515±10	750±15	552±15
6	575±10	930±15	685±15
7	665±10	1150±15	846±15
8	750±10	1350±15	990±15

Дослідження, проведені по ряду локомотивних депо, показали, що відхилення потужності ДГУ від паспортних значень спостерігаються практично повсюдно. Значно відрізняються умови експлуатації локомотивів.

Для визначення поточного технічного стану ДГУ тепловозів, коректування міжремонтних періодів роботи і внесення відповідних коректувань у розрахункові залежності для розрахунку експлуатаційної витрати палива розроблена методика прогнозування на основі нелінійної динаміки, теорії фракталів і математичної статистики – фундаментальних математичних дисциплін.

Одним з найцікавіших напрямків у розробці методів аналізу й прогнозування часових рядів є метод Херста, або R/S метод, що одержав також назву методу нормованого розмаху. Даний емпіричний метод був запропонований для статистичного аналізу часових рядів ще на початку ХХ століття Херстом [13] і заснований на результатах його спостережень за розвитком багатьох природних процесів (кількості опадів, стік річок, товщини річних кілець на деревах, донних відкладень та ін.). Тривале вимірювання еволюції безлічі природних показників виявляє їх, на перший погляд, безладне поведіння, як на корот-

ких, так і на довгих часових інтервалах. Для аналізу таких часових послідовностей досліджуваних величин існує метод, розроблений Херстом.

Цей метод дослідження добре відомий у статистичній практиці економіки й фінансів. Однак у технічних науках його поширення іноді обмежується труднощами фізичної інтерпретації. У той же час метод Херста, будучи робастним, дозволяє виявити в статистичних даних такі властивості, як кластерність, тенденцію знаходитись за напрямком тренду, сильну післядію, окрему пам'ять, швидку зміну послідовних значень, фрактальність, наявність періодичних і неперіодичних циклів, здатність розрізнити «стохастичну» і «хаотичну» природу шуму й т. д. Крім основної роботи Г. Херста у розвитку теорії R/S-методу й застосуванні її на практиці значну роль зіграла робота Б. Мандельброта [1]. Вона ґрунтується на так званому методі накопиченого відхилення (або методі нормованого розмаху). Відповідно до цього методу аналізуються не самі дані, що складають динамічний часовий ряд, а розмах суми відхилень цих даних від середнього арифметичного, нормовані шляхом ділення на стандартне відхилення. Суми цих відхилень підраховуються для різних періодів часу (або для різної кількості послідовних моментів спостережень), які виступають як масштаб виміру. Основна відмінність методу нормованого розмаху (або R/S-методу прогнозу) від інших існуючих статистичних методів для аналізу часових рядів полягає в тому, що даний метод включає у свій аналіз напрямок часу, у той час як інші відомі методи стосовно цього часу інваріантні.

Суть методу Херста полягає у визначенні середнього вибіркового значення висот профілю даних X на досліджуваній довжині інтервалу L як [1]

$$X(L) = \frac{1}{L} \sum X(l). \quad (1)$$

Тоді накопичене відхилення, висот профілю $X(L)$ від середнього значення буде дорівнювати [1]

$$X(l, L) = \sum [X(U) - X(L)]. \quad (2)$$

Вираз для розмаху буде мати вигляд [1]

$$R(L) = \max X(l, L) - \min X(l, L). \quad (3)$$

Встановлено, що нормований розмах добре описується наступною залежністю [1]

$$R/S = N^H, \quad (4)$$

де S – середньоквадратичне відхилення висот профілю, R/S – нормований розмах, N – число спостережень, H – показник Херста.

Виходячи із цього був проаналізований часовий ряд витрати дизельного палива групами тепловозами, з різними інтервалами їх пробігу від капітального ремонту.

Якщо в подвійних логарифмічних координатах побудувати залежність R/S як функцію від N , то тангенс кута нахилу дає значення показника Херста H . На підставі виконаних розрахунків збудова-

ний у подвійному логарифмічному масштабі графік залежності нормованого розмаху від числа спостережень $\ln(R/S) = f(\ln N)$ добре апроксимується прямою (рис. 1), з коефіцієнтом кореляції $R = 0,93$ й показником Херста $H = 0,368$.

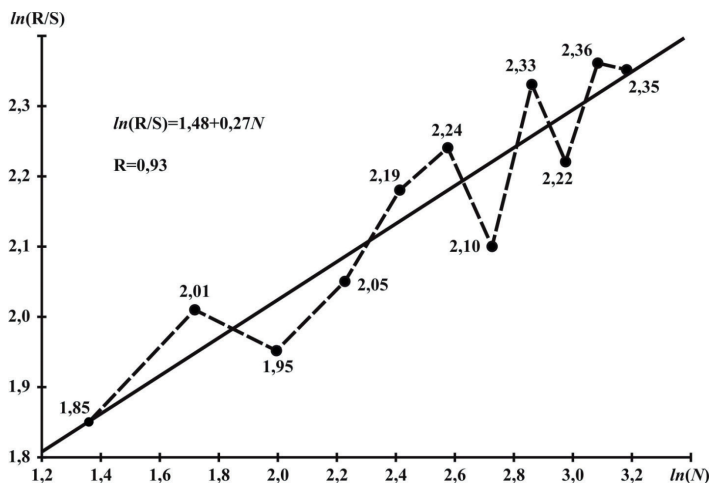


Рис. 1. Визначення показника Херста

Відомо, що показник Херста дозволяє за своїм значенням судити про ступінь хаотизації системи в цілому [3]. Тому, проведеними дослідженнями практично визначено, що в тепловозів, які не мають перевитрати дизельного палива, показник Херста менше 0,5. Якщо показник Херста для інтервалу витрати палива тепловозами буде дорівнює $H = 0,115$, то це значить, що його перевитрата у подальшому буде зростати незначно. При граничному значенні $H = 0,5$ необхідно організувати діагностичний контроль паливної апаратури дизеля тепловоза й розпочати підготовку її до ремонту.

Як приклад на рис. 2 наведена апроксимація прямої, що виражає залежність зміни показника Херста від пробігу тепловозів.

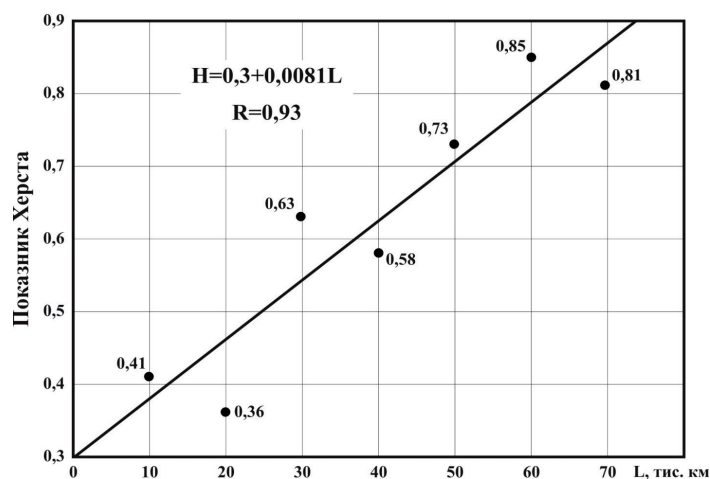


Рис. 2. Динаміка зміни показника Херста від пробігу тепловозів

На підставі проведених досліджень для виділеної групи тепловозів отримані залежності комплексного показника Херста від їхнього останнього ремонту. Це дозволило створити методіку, що дозволяє прогнозу-

вати терміни проведення ремонту паливної апаратури у тепловозів, які мають перевитрату палива.

Так для групи вантажних тепловозів 2ТЕ116 при періодичності контролю $L=10$ тис. км. і значенні показника Херста $H=0,75$ за отриманим розрахунковим рівнянням $H=0,3+0,0081L$ граничний пробіг до регулювання та ремонту паливної апаратури буде складати

$$L_{\text{пред}} = \left[\frac{(0,75-0,3)}{0,0081} \right] - 10 = 46 \text{ тис. км.}$$

За даним методом визначивши показник Херста для інтервальної витрати палива, можна встановити залишковий ресурс паливної апаратури тепловозів, що забезпечує надійну експлуатацію до ремонту. Крім того, у випадку оцінки залишкового ресурсу з'являється можливість (з деяким випередженням) прогнозувати технічний стан тепловозів у цілому залежно від умов їхньої експлуатації.

5. Висновки

Встановлено, що для аналізу фрактальних часових рядів потрібно не велика кількість спостережень, а часовий ряд зі збільшеною довжиною або збільшеною кількістю інтервалів. При цьому важливо не те, яка досліджується кількість спостережень, а те, скільки періодів (інтервалів) охоплюють ці дані. Такий підхід значно відрізняється від стандартного статистичного аналізу, де більш важлива кількість спостережень, ніж довжина досліджуваного часового ряду.

На підставі розрахунку й оцінки показника Херста за часовим рядом паливної економічності тепловозів запропонована організація моніторингу та створений метод для розрахунку залишкового ресурсу паливної апаратури, суть якого полягає в використанні розрахункового значення показника Херста для прогнозування технічного стану тепловоза, планування і проведення ремонту й додаткового регулювання його паливної апаратури.

Література

1. Мандельброт, Б. Фрактальная геометрия природы [Текст] / Б. Мандельброт. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
2. Кроновер, Р. М. Фракталы и хаос [Текст] / Р. М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 316 с.
3. Петерс, Э. Фрактальный анализ финансовых рынков [Текст] / Э. Петерс – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
4. Грицюк, П. М. Статистичний аналіз кластерів у часових рядах рожайності зернових [Текст] : зб. наук. пр. / П. М. Грицюк // Економіка: проблеми теорії та практики. – Дніпропетровськ, «Наука і освіта», 2010. – С. 112–116.
5. Зиненко, А. В. R/S аналіз на фондовому ринку [Текст] / А. В. Зиненко // Бизнес-информатика. – 2012. – № 3(21). – С. 24–30.
6. Коршунов, Л. А. Детерминированное непериодическое изменение валового регионального продукта [Текст] / Л. А. Коршунов, Г. П. Быстрай // Экономика региона. – 2010. – № 1. – С. 196–201.
7. Yulmetyev, R. Possibility between earthquake and explosion seismogram differentiation by discrete stochastic non-Markov processes and local Hurst exponent analysis [Text] / R. Yulmetyev, F. Gafarov, P. Hanggi, R. Nigmatullin, S. Kayumov // Phys. Rev. E. – 2001. – Vol. 64, Issue 4. – P. 66–132. doi: 10.1103/physreve.64.066132.
8. Scafetta, N. Solar Flare Intermittency and Earth's Temperature Anomalies [Text] / N. Scafetta, B. J. West // Phys. Rev. Lett. – 2003. – Vol. 90, Issue 24. doi: 10.1103/physrevlett.90.248701.
9. Божокин, С. В. Фракталы и мультифракталы [Текст] / С. В. Божокин, Д. А. Паршин. – Ижевск.: РХД, 2001. – 267 с.
10. Abarbanel, H. Analysis of Observed Chaotic Data [Text] / H. Abarbanel. – Springer, New York, 1996. – 1392 p. doi: 10.1007/978-1-4612-0763-4.
11. Costa, M. Multiscale Entropy Analysis of Complex Physiologic Time Series [Text] / M. Costa, A. L. Goldberger, C. K. Peng // Phys. Rev. Lett. – 2002. – Vol. 89, Issue 6. doi: 10.1103/physrevlett.92.089803
12. Хомич, А. З. Экономия топлива и теплотехническая модернизация локомотивов [Текст] / А. З. Хомич, О. И. Тупицын, А. Э. Симсон. – М.: Транспорт, 1975. – 264 с.
13. Дубовиков, М. М. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов [Текст] / М. М. Дубовиков, А. В. Крянев, Н. В. Старченко // «Вестник РУДН». – 2004. – Т. 3, № 1. – С. 81–95.