

**УДК 629.424.1**

**DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.149.2014.81767>**

**ЗАСТОСУВАННЯ R/S-МЕТОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ТЕПЛОВОЗІВ**

**Д-р техн. наук О.Б. Бабанін, інж. О.Д. Трихліб**

**ПРИМЕНЕНИЕ R/S-МЕТОДА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ ТЕПЛОВОЗОВ**

**Д-р техн. наук А.Б. Бабанин, инж. А.Д. Трихлеб**

**APPLICATION OF AN R/S-METHOD FOR AN ESTIMATION OF FUEL PROFITABILITY OF DIESEL LOCOMOTIVES**

**Dr. of techn. sciences O.B. Babanin, O.D. Trihlib**

*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. Встановлено, що при аналізі часового ряду за цим показником відіграє роль не тільки кількість спостережень, а довжина ряду або кількість обраних інтервалів для проведення досліджень. 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, що дозволяє забезпечити планування та проведення її додаткових регулювань і ремонту.

**Ключові слова:** аналіз, відхилення, залежність, інтервал, метод, оцінка, 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. Установлено, что анализа временного ряда играет роль не количество наблюдений, а длина ряда или количество выбранных интервалов для проведения исследований. 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, что позволяет обеспечить планирование и проведение ее дополнительных регулировок и ремонта.*

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

*In clause the essence of a R/S-method for the analysis of temporary numbers is considered. Substantive provisions by calculation fractals Hurst's parameter and the analysis of his character for various conditions of components temporary are certain of some. It is established, that for the analysis temporary of some plays a role not quantity of supervision, and length of some or quantity of the chosen intervals for carrying out of researches. It allows to consider behaviors of all system not only during carrying out of measurements, but also to open his previous history for the certain period of time. Being the person-machine, the given method allows to reveal in statistical data such features as clustering, the tendency is behind a direction of a trend and fast change of consecutive values. On the basis of calculation and an estimation of a parameter of Hurst for temporary of some the charge of fuel diesel locomotives offer the organization of monitoring of a technical condition and the method for calculation of a residual resource of the fuel equipment that allows to provide planning and carrying out of its additional adjustments and repair is created.*

**Keywords:** analysis, deviation, dependence, the interval method, assessment, record, scale, fractal time series.

**Постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями.** 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 поведінку системи не тільки в період вимірювань, але також і його передісторію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Опису самоподоби (фрактальності) різних явищ у природі й науці присвячена значна кількість літератури. По-перше, це класичні монографії основоположника науки про фрактали Бенуа Мандельброта [5] та його послідовників [4,6]. По-друге, регулярні

огляди в загальнонаукових журналах [9,10,12]. По-третє, роботи, які постійно публікуються по фрактальним властивостям систем, що виникають у зовсім різних галузях природознавства: ядерній фізиці [8], астрономії [10], геофізиці [5], біології й медицині [11], комп'ютерній графіці [1], економіці й фінансах [6] 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: сонячної активності [10], рівня розливів річок [8], шумів електронних приладів [11], геофізичної й геомагнітної активності [12], фізіологічних характеристик організму людини [9] і т.д.

Така широка поширеність фрактальних властивостей дозволяє використовувати її (з певною інтерпретацією) для дослідження показників часових рядів у локомотивному господарстві.

**Мета дослідження.** Проведення аналізу та створення методу моніторингу паливної економічності тепловозів на основі дослідження часових рядів за показником Херста.

**Основна частина.** На сьогоднішній день активно розвиваються методи 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 XX століття Херстом [3] 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 коротких, так і на довгих часових інтервалах. Для аналізу таких часових послідовностей досліджуваних величин і 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 розрізняти

"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 [5]. Вона ґрунтується на так званому методі накопиченого відхилення (або методі нормованого розмаху). Відповідно до цього методу аналізуються не самі дані, що складють 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 [5]

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

Тоді накопичене відхилення, висот профілю  $X(L)$  від середнього значення буде дорівнювати [5]

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

Вираз для розмаху буде мати вигляд [5]

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

Встановлено, що нормований розмах добре описується наступною залежністю [5]

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

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

## Рухомий склад залізниць

дає значення показника Херста  $H$ . На підставі виконаних розрахунків збудований 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  $H=0,368$ .

Відомо, що показник Херста дозволяє за своїм значенням судити про ступінь хаотизації системи в цілому [6]. 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.

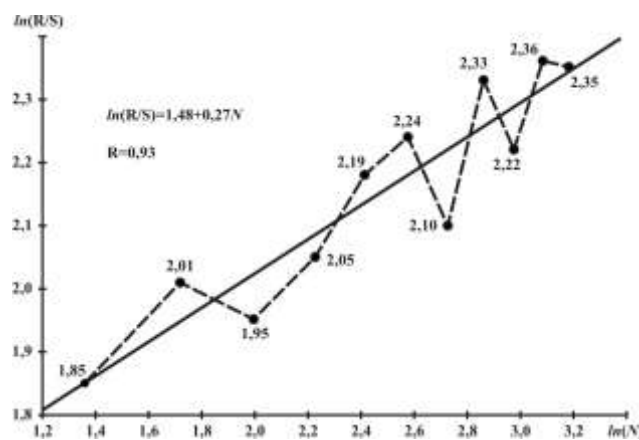


Рис. 1 Визначення показника Херста

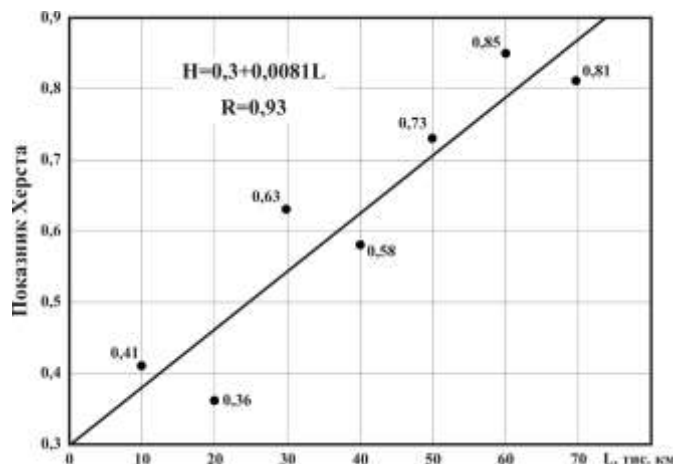


Рис. 2 Динаміка зміни показника Херста від пробігу тепловозів

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

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

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.

**Висновки з дослідження й перспективи, подальший розвиток у даному напрямку.**

1. 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.

2. 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, що забезпечує планування і проведення її додаткового регулювання й ремонту.