

Научная статья

УДК 677.022 : 519.876.5

EDN DJYDIJ

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-25-28>

Петр Алексеевич Севостьянов¹

Илья Максимович Бурдин²

Татьяна Алексеевна Самойлова³

Любовь Михайловна Городенцева⁴

^{1,2,3,4} Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

¹ petrsev46@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9919-5551>

² burd20@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0063-6952>

³ tasamo89@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2727-0011>

⁴ gorodentseva-lm@rguk.ru; <https://orcid.org/0009-0005-3211-7718>

О ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ *D*-МЕТОДА ОБНАРУЖЕНИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ

Аннотация. Рассмотрены возможности и перспективы использования *D*-метода обнаружения скрытых периодичностей в потоках данных, описывающих неровноту одномерных волокнистых потоков по переходам прядильных производств. Для исследования и анализа результатов использован метод компьютерной статистической имитации с применением классических критериев математической статистики. С высоким уровнем надежности установлены области возможного применения *D*-метода, в которых данный метод может иметь преимущества по сравнению с гармоническим спектральным анализом.

Ключевые слова: неровнота, случайные функции, продукты прядения, спектральный анализ, *D*-метод, имитационное статистическое моделирование, периодичность

Для цитирования: О чувствительности *D*-метода обнаружения периодичности / П. А. Севостьянов, И. М. Бурдин, Т. А. Самойлова, Л. М. Городенцева // Технологии и качество. 2026. № 1(71). С. 25–28. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-25-28>.

Original article

Petr A. Sevostyanov¹

Ilya M. Burdin²

Tatiana A. Samoiloa³

Lubov M. Gorodentseva⁴

^{1,2,3,4} Kosygin State University of Russia (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

ON THE SENSITIVITY OF THE *D*METHOD OF PERIODICITY DETECTION

Absrtact. The potential and prospects for using the *D*method for detecting hidden periodicities in data streams describing the unevenness of one-dimensional fibre flows across spinning mill transitions are examined. Computer statistical simulation, using classical mathematical statistics criteria, was used to study and analyse the results. Areas of potential application for the *D*method, where it may offer advantages over harmonic spectral analysis, are reliably identified.

Keywords: unevenness, random process, spinning products, spectral analysis, *D*method, statistical simulation, periodicity

For citation: Sevostyanov P. A., Burdin I. M., Samoiloa T. A., Gorodentseva L. M. On the sensitivity of the *D*method of periodicity detection. Technologies & Quality. 2026. No 1(71). P. 25–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2026-1-71-25-28>.

Обнаружение и анализ источников возникновения периодической неровноты в одномерных продуктах прядильных производств является классической задачей технологии, которую решают методами автоматизированного гармонического спектрального анализа [1, 2]. Например, в прядильном производстве практически на всех этапах переработки поток волокнистого материала взаимодействует с вращающимися цилиндрическими поверхностями рабочих органов. При эксцентриситете вращения, вызванном различными причинами, в потоке возникает периодическая неровнота. Оценка периода позволяет найти источник возникновения неровноты. Наиболее распространенный подход к решению задачи заключается в оценке частотного спектра корреляционной функции (КФ) процесса. Пики в спектральной плотности дисперсии указывают на частоту и интенсивность периодических составляющих, например в линейной плотности потока $x(t)$, кг/с. В работах [1–3] описаны недостатки такого подхода. Между тем, для обнаружения скрытых периодичностей в потоке данных используют альтернативный, так называемый D -метод [3, 4]. В этом методе в качестве индикатора для обнаружения периодичности применяют частный случай структурных функций, известных при изучении нестационарных потоков данных, например при изучении турбулентности [5, 6]. Приводятся обоснованные доводы в пользу D -метода против гармонического анализа. Метод основан на проверке выполнения определяющего соотношения периодической функции $x(t+T) = x(t)$, $t > 0$. Нули и минимумы функции дают оценки периодов T . Трудоемкость метода (объем вычислений) сравним с трудоемкостью оценки спектра, но исключает получение ложных оценок.

Однако потоки данных, получаемые при контроле неровноты продуктов прядения (НПП), обладают известной спецификой: они описываются стационарными случайными функциями, которые могут содержать как детерминированные, так и случайные периодические компоненты. Поэтому целесообразность и эффективность применения D -метода требует специального изучения, результаты которого и приведены ниже. Отмеченная особенность неровноты продуктов прядения позволяет, в частности, при применении D -метода ограничиться D -функциями 1-го порядка:

$$D(T) = \frac{1}{T_m - T} \sum_{t=1}^{T_m - T} (x(t+T) - x(t))^2, \quad T = 1, \dots, T_{\max}, \quad (1)$$

где T_m – объем выборки;

T_{\max} – наибольшая ожидаемая величина периода, $T_{\max} \leq T_m - 1$.

Очевидно, что индикаторная функция $D(T)$ для периодической функции $x(t)$ с периодом T будет равна нулю, а при других T , отличных от периода, будет больше нуля. Таким образом, минимальное, нулевое значение $D(T)$ индицирует наличие в потоке значений $x(t)$ периода.

Если $x(t)$ является реализацией случайной функции, то значения $D(T)$ ни при каких T не обратятся в ноль, но могут быть близки к нему. В этой ситуации, типичной для НПП, необходимо проверять значимость отличия $D(T)$ от нуля. Поскольку выборки данных имеют, как правило, большой объем T_m , то для проверки данной гипотезы был использован критерий Стьюдента. Проверка выполнялась методом компьютерной имитации нескольких вариантов потоков данных с заранее известными вероятностными характеристиками.

Для имитации потоков использованы суммы двух составляющих – периодической $P(t)$ и случайной $R(t)$: $x(t) = P(t) + R(t)$.

$$P(t) = p_1 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_1}t\right) + p_2 \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T_2}t - a\right), \quad (2)$$

где $R(t)$ – стационарный нормальный центрированный процесс с КФ.

$$K_1(\tau) = d \delta(\tau),$$

$$K_2(\tau) = d \exp\left(\frac{-\tau}{b}\right), \quad (3)$$

$$K_3(\tau) = d \exp\left(\frac{-\tau}{b}\right) \cos\left(\frac{2\pi}{T_3}\tau\right).$$

$K_1(\tau)$ соответствует стационарному белому шуму, остальные КФ – стационарным случайным функциям линейных процессов 1-го и 2-го порядков. В формулах (3) d – дисперсия случайной составляющей; τ – аргумент КФ; $a, b, p_1, p_2, T_1, T_2, T_3$ – параметры. Алгоритмы генерации потоков, имитирующих компоненты, описаны в руководствах по имитационному моделированию [7]. Большое количество и разнообразие параметров дало возможность достаточно полно исследовать свойства D -метода. Приведем основные выводы, вытекающие из результатов этих экспериментов.

Наличие периода $T = T_1$ в НПП при $p_2 = 0$ и $d = 0$, как и следовало ожидать, четко и точно обнаруживается нулевыми значениями $D(T)$. Присутствие в НПП двух периодических составляющих при $p_1 > 0$ и $p_2 > 0$ также надежно обнаруживается с помощью $D(T)$, причем независимо от соотношения периодов T_1 и T_2 , в том числе и для значений этих периодов, не имею-

щих общего кратного. Если ориентировочные значения периодов известны, то скорость их обнаружения и оценки оказывается несравнимо выше и точнее, чем методом гармонического спектрального анализа.

Присутствие в потоке данных $x(t)$ случайной составляющей с различными видами КФ (3) приводит, во-первых, к отсутствию нулей у функции $D(T)$, а во-вторых, к тому, что результаты вычислений по формуле (1) дают лишь оценку этой функции. Поэтому для оценки ее минимумов, соответствующих возможным периодам скрытых периодичностей, присутствующих в потоке данных, необходимы повторные оценки и поиск минимума как результата проверки статистической гипотезы. Именно такой способ поиска скрытых периодичностей и был использован в компьютерных экспериментах.

Было установлено, что периоды T_1 и T_2 обнаруживаются с надежностью 0,95 при условии,

что $\max\{p_1; p_2\} > 0,5\sqrt{d}$, т. е. если среднеквадратическое отклонение случайной составляющей потока данных, равное \sqrt{d} , не слишком велико для полного «зашумления» информации о периодичности, присутствующей в потоке данных.

Если НПП состоит только из случайной составляющей с КФ $K_3(\tau)$, то, несмотря на присутствие в этой КФ периодической составляющей, говорящей о колебаниях корреляции в потоке данных, скрытые периодичности не обнаруживаются, что соответствует структуре и свойствам такой НПП.

Полученные результаты имитационных компьютерных экспериментов для большого количества вариантов, близких к реально встречающимся при измерениях НПП, показали, что D -метод не дает значимых преимуществ для НПП по сравнению с методом гармонического спектрального анализа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Севостьянов А. Г. Современные методы исследования неровноты продуктов хлопкопрядения. М. : Легкая индустрия, 1966. 88 с.
2. Севостьянов П. А. Методы исследования и моделирования неровноты продуктов прядения, 2019. 240 с.
3. Серебренников М. Г., Первозванский А. А. Выявление скрытых периодичностей. М. : Наука, 1965. 244 с.
4. Вениаминов С. С. Выявление скрытых структурных закономерностей в процессах и сигналах: от космических исследований до анализа трендов рынка / науч. ред. Б. М. Шустов. 2-е изд., доп. М. : URSS-Ленанд, 2017. 211 с.
5. Монин А. С., Яглом А. М. Статистическая гидромеханика. Теория турбулентности. 2-е изд., перераб. и доп. СПб. : Гидрометеиздат, 1996. 741 с.
6. Романенко А. Ф., Сергеев Г. А. Вопросы прикладного анализа случайных процессов. М. : Сов. радио, 1968. 255 с.
7. Севостьянов П. А., Самойлова Т. А., Вахромеева Е. Н. О методе обнаружения скрытых периодичностей при автоматизированной обработке потоков оцифрованных данных // Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления : сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. симпозиума IV Междунар. Косыгинского форума «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета» (Москва, 20–22 февраля 2024 года). М., 2024. С. 93–98.

REFERENCES

1. Sevostyanov A. G. Modern methods of studying the unevenness of cotton spinning products. Moscow, Legkaya Industriya Publ., 1966. 88 p. (In Russ.)
2. Sevostyanov P. A. Methods for studying and modeling the unevenness of spinning products. Moscow, Kosygin Rus. St. Univ. Publ., 2019. 240 p. (In Russ.)
3. Serebrennikov M. G., Pervozvansky A. A. Identification of hidden periodicities. Moscow, Nauka Publ., 1965. 244 p. (In Russ.)
4. Veniaminov S. S., Shustov B. M. (ed.). Identification of hidden structural patterns in processes and signals: from space research to market trend analysis. 2nd ed., suppl. Moscow, URSS-Lenand Publ., 2017. 211 p. (In Russ.)
5. Monin A. S., Yaglom A. M. Statistical hydromechanics. Theory of turbulence. 2nd ed., revised and enlarged. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1996. 741 p. (In Russ.)
6. Romanenko A. F., Sergeev G. A. Issues of applied analysis of random processes. Moscow, Sov. Radio Publ., 1968. 255 p. (In Russ.)

7. Sevostyanov P. A., Samoiloва T. A., Vakhromeeva E. N. On the method of detecting hidden periodicities in automated processing of digital data streams. Modern engineering problems in the production of consumer goods: Collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Symposium of the IV International Kosygin Forum “Problems of Engineering Sciences: Formation of Technological Sovereignty” (Moscow, February 20–22, 2024). Moscow, Kosygin Rus. St. Univ. (Technologies. Design. Art) Publ., 2024. P. 93–98. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 20.12.2025
Принята к публикации 09.02.2026

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

П. А. Севостьянов, доктор технических наук, профессор

И. М. Бурдин, аспирант

Т. А. Самойлова, кандидат технических наук, доцент

Л. М. Городенцева, кандидат технических наук, доцент