

УДК 620.179.118

## Метод выделения профиля шероховатости поверхности, основанный на эмпирической модовой декомпозиции

Л.В. Маркова<sup>1</sup>, Х. Конг<sup>2</sup>, Х.-Г. Хан<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
просп. Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь

<sup>2</sup>Корейский институт науки и технологии,  
Хваранро 14-Гил 5, Сеонгбук-гу, Сеул 136-791, Республика Корея

Поступила в редакцию 09.09.2021.

После доработки 07.12.2021.

Принята к публикации 10.12.2021.

Для обеспечения эксплуатационных свойств триbosопряжений необходимо контролировать параметры шероховатости поверхностей трения, значения которых в значительной степени зависят от точности выделения профиля шероховатости из исходного профиля поверхности. С целью повышения точности определения параметров шероховатости предложен метод фильтрации профиля поверхности, основанный на декомпозиции исходного профиля на эмпирические моды. Разработана методика и предложен алгоритм, реализованный в среде программирования MATLAB, выделения профилей шероховатости, волнистости и формы и определения средней линии для шероховатости поверхности с помощью эмпирической модовой декомпозиции. Выполнено сравнение результатов применения фильтра Гаусса, вейвлет-фильтрации и предложенного метода при выделении средней линии и определении среднеарифметического отклонения профиля шероховатости моделированной и реальной (фрезерованной и шлифованной) поверхностей. Показано, что метод эмпирической модовой декомпозиции даёт среднюю линию для моделированного профиля, максимально совпадающую с теоретической. Кроме того, предложенный метод вносит минимальные краевые искажения, что позволяет выделить профиль шероховатости поверхности, который практически повторяет теоретический профиль. При этом значение среднеарифметического отклонения наиболее близко к значению, рассчитанному по теоретическому профилю шероховатости. Установлено, что средняя линия, построенная с использованием метода разложения на эмпирические моды, более точно отражает изменение исходного профиля фрезерованной и шлифованной поверхностей в длинноволновой области, что обеспечивает более точное определение параметров шероховатости поверхности. Предложенный метод фильтрации, основанный на декомпозиции исходного профиля на эмпирические моды, предназначен для использования при определении параметров шероховатости технических поверхностей, в частности, в цифровых профилометрах.

**Ключевые слова:** поверхность трения, волнистость, шероховатость, фильтрация профиля поверхности, эмпирическая модовая декомпозиция.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

---

**Адрес для переписки:**

Л.В. Маркова  
Белорусский национальный технический университет,  
просп. Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь  
e-mail: lvmark@mail.ru

**Address for correspondence:**

L.V. Markova  
The Belarusian National Technical University,  
Nezavisimosty Ave., 65, Minsk 220013, Belarus  
e-mail: lvmark@mail.ru

---

**Для цитирования:**

Л.В. Маркова, Х. Конг, Х.-Г. Хан.  
Метод выделения профиля шероховатости поверхности,  
основанный на эмпирической модовой декомпозиции.  
Трение и износ.  
2021. — Т. 42, № 6. — С. 639—648.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

**For citation:**

L.V. Markova, H. Kong, and H.-G. Han.  
[Method of Extraction of Surface Roughness Profile Based on  
Empirical Mode Decomposition].  
*Trenie i Iznos*.  
2021, vol. 42, no. 6, pp. 639—648 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

# Method of Extraction of Surface Roughness Profile Based on Empirical Mode Decomposition

L.V. Markova<sup>1</sup>, H. Kong<sup>2</sup>, and H.-G. Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>The Belarusian National Technical University,  
Nezavisimosty Ave., 65, Minsk 220013, Belarus

<sup>2</sup>Korea Institute of Science and Technology,  
Hwaranro 14-Gil 5, Seongbuk-gu, Seoul 136-791, Republic of Korea

Received 09.09.2021.

Revised 07.12.2021.

Accepted 10.12.2021.

## Abstract

Monitoring roughness parameters of friction surfaces is critical to ensure the operational properties of tribosystems. These values largely depend on the accuracy of surface roughness extraction from initial surface profile. A method of surface profile filtration based on decomposition of initial profile into empirical modes is proposed to increase the accuracy of estimation of surface roughness parameters. A technique is developed and an algorithm is proposed for extracting roughness, waviness and form profiles and determining the mean line for surface roughness using empirical mode decomposition. The algorithm is implemented in the MATLAB programming environment. The proposed method is compared against Gaussian filtration and wavelet filtration in application to extraction of mean line for the roughness profile and arithmetic mean deviations of roughness of simulated and real (milled and grinded) surfaces. It is shown that the method of empirical mode decomposition gives the mean line for the simulated profile maximally coinciding with the theoretical one. Besides, the proposed method introduces minimal edge distortions. This fact allows us to extract the surface roughness profile which practically reproduces the theoretical profile. In this case, the value of the arithmetic mean deviation is the closest to the value calculated from the theoretical roughness profile. It is found that the mean line, constructed using the method of decomposition into empirical modes, more accurately reflects the change in the initial profile of the milled and grinded surfaces in the long-wavelength region. As a result, the calculation of the surface roughness parameters is performed with higher accuracy. The proposed filtration method, based on the decomposition of the initial profile into empirical modes, is intended for use in determining the roughness parameters of engineering surfaces, in particular, in digital profilometers.

**Keywords:** friction surface, waviness, roughness, surface profile filtration, empirical mode decomposition.

**DOI:** 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

---

### Адрес для переписки:

Л.В. Маркова  
Белорусский национальный технический университет,  
просп. Независимости, 65, г. Минск 220013, Беларусь  
e-mail: lvmark@mail.ru

### Для цитирования:

Л.В. Маркова, Х. Конг, Х.-Г. Хан.  
Метод выделения профиля шероховатости поверхности,  
основанный на эмпирической модовой декомпозиции.  
Трение и износ.  
2021. — Т. 42, № 6. — С. 639—648.  
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

### Address for correspondence:

L.V. Markova  
The Belarusian National Technical University,  
Nezavisimosty Ave., 65, Minsk 220013, Belarus  
e-mail: lvmark@mail.ru

### For citation:

L.V. Markova, H. Kong, and H.-G. Han.  
[Method of Extraction of Surface Roughness Profile Based on  
Empirical Mode Decomposition].  
*Trenie i Iznos*.  
2021, vol. 42, no. 6, pp. 639—648 (in Russian).  
DOI: 10.32864/0202-4977-2021-42-6-639-648

## Список использованных источников

1. Демкин Н. Б. Качество поверхности и контакт деталей машин. — М.: Машиностроение. — 1981
2. Григорьев А. Я. Физика и микрогеометрия технических поверхностей — Минск: Белорусская наука. — 2016
3. Рудзит Я. А. Микрогеометрия и контактное взаимодействие поверхностей — Рига: Зинатне. — 1975
4. Huang N.E. et al. The Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis // Proceedings of the Royal Society London A. — 1998 (454), 903—995
5. Jiri Vit. Surface Metrology Open Profile Gaussian Filter (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52892-surface-metrology-open-profile-gaussian-filter>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved February 15, 2021
6. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. — М.: СОЛОН-Пресс. — 2010
7. Lucas K., Sanz-Libera A., Anton-Acedos P., and Amatriain A. A Survey of Bidimensional Wavelet Filtering in Surface Texture Characterization // Procedia Manufacturing. — 2019 (41), 811—818
8. Gogolewski D. Fractional Spline Wavelets within the Surface Texture Analysis // Measurement. — 2021 (179) 109435
9. Rilling G., Flandrin P., and Gonçalves P. On Empirical Mode Decomposition and Its Algorithms // Proceedings of IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03, Jun 2003, Grado, Italy. (inria-00570628)
1. Demkin N. B. Kachestvo poverkhnosti i kontakt detaley mashin. — M.: Mashinostroyeniye. — 1981 (in Russian)
2. Grigoryev A.Ya. Fizika i mikrogeometriya tekhnicheskikh poverkhnostey. — Minsk: Belorusskaya nauka. — 2016 (in Russian)
3. Rudzit Ya.A. Mikrogeometriya i kontaktnoye vzaimodeystviye poverkhnostey. — Riga: Zinatne. — 1975 (in Russian)
4. Huang N.E. et al. The Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis // Proceedings of the Royal Society London A. — 1998 (454), 903—995
5. Jiri Vit. Surface Metrology Open Profile Gaussian Filter (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/52892-surface-metrology-open-profile-gaussian-filter>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved February 15, 2021
6. Diakonov V.P. Veyvlyety. Ot teorii k praktike. — M.: SOLON-Press. — 2010 (in Russian)
7. Lucas K., Sanz-Libera A., Anton-Acedos P., and Amatriain A. A Survey of Bidimensional Wavelet Filtering in Surface Texture Characterization // Procedia Manufacturing. — 2019 (41), 811—818
8. Gogolewski D. Fractional Spline Wavelets within the Surface Texture Analysis // Measurement. — 2021 (179) 109435
9. Rilling G., Flandrin P., and Gonçalves P. On Empirical Mode Decomposition and Its Algorithms // Proceedings of IEEE-EURASIP Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing NSIP-03, Jun 2003, Grado, Italy. (inria-00570628)

Для приобретения полного текста статьи, обращайтесь в редакцию журнала.  
Адрес редакции: 246050, ул. Кирова 32а, г. Гомель, Беларусь Телефон/факс: +375 (232) 34 06 36 / 34 17 11  
*Full text of articles can be purchased from the editorial office.*  
Address: 32a Kirov Street, Gomel, Belarus, 246050 Phone: +375 (232) 34 06 36. Fax: +375 (232) 34 17 11  
E-mail: [FWJ@tut.by](mailto:FWJ@tut.by)