

УДК 621.87

Ярослав Литвиненко, д.т.н., проф.; Володимир Дзюра д.т.н., проф.;

Катерина Марущак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РЕГУЛЯРНОГО І
ЧАСТКОВО РЕГУЛЯРНОГО МІКРОРЕЛЬЄФУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
МАКСИМАЛЬНОЇ ПЛОЩИННОЇ ОДНОРІДНОСТІ**

Анотація. Проаналізовано проблему забезпечення однорідності створюваних на робочих поверхнях пар тертя регулярних та частково регулярних мікрорельєфів для покращення їх експлуатаційних властивостей. Розроблено алгоритм для реалізації методу оптимізації розміщення регулярного і частково регулярного мікрорельєфу для забезпечення максимальної площинної однорідності. Розроблений алгоритм здійснює пошук оптимального взаємного розміщення канавок мікрорельєфу, враховуючи їх геометричні параметри (амплітуду, крок, ширину канавки).

Ключові слова: регулярні мікрорельєфи, комп'ютерне моделювання, алгоритм, геометричні параметри, площинна неоднорідність, канавки, площа.

Iaroslav Lytvynenko, Volodymyr Dzyura, Kateryna Marushchak

**COMPUTER MODELING AND OPTIMIZATION OF REGULAR AND
PARTIALLY REGULAR MICRORELIEF TO ENSURE MAXIMUM PLANE
UNIFORMITY**

Abstract. The problem of ensuring the uniformity of friction pairs created on the working surfaces of regular and partially regular microreliefs to improve their operational properties has been analyzed. An algorithm has been developed to optimize the placement of regular and partially regular microreliefs to achieve maximum planar uniformity. The developed algorithm searches for the optimal mutual placement of microrelief grooves, accounting for their geometric parameters (amplitude, pitch, groove width).

Keywords: regular microreliefs, computer modeling, algorithm, geometric parameters, planar heterogeneity, grooves, area.

Регуляризація профілю поверхні – процес створення частково чи повністю регулярного мікрорельєфу на робочих поверхнях деталей машин. Формування регулярного мікрорельєфу на робочих поверхнях деталей машин відчутно підвищує ресурс їх роботи за рахунок зниження ймовірності захоплення деталей за умов рідинного та сухого тертя, більшої мастилоємності поверхонь тертя, меншого періоду припрацювання або його відсутність; меншого коефіцієнту тертя між спряженими деталями, а також вищої зносостійкості [1]. Забезпечити ці переваги можна лише, створивши на поверхні мікрорельєф із такими параметрами, які б забезпечували однакові властивості.

У попередніх дослідженнях було розроблено метод визначення площинної неоднорідності профілю канавок регулярного та частково регулярного мікрорельєфу [2]. Тому для оцінювання поверхонь з регулярними мікрорельєфами доцільно використовувати метод визначення площинної неоднорідності розподілу площі канавок та числові параметри, що відображають вплив форми канавок, їх геометричних параметрів та взаємного розміщення на площині. Цей метод дозволяє встановити нерівномірність розподілу площі канавки мікрорельєфу вздовж будь-якої з осей,

відносно яких вони формуються. Однак реалізація методу є досить трудомісткою та вимагає великих затрат часу та ретельного підходу до опрацювання результатів.

Запропоновано комп'ютерний алгоритм для оптимального розміщення канавок мікрорельєфу.

Вхідними даними для розроблення алгоритму пошуку оптимального розміщення канавок за обраними критеріями оптимізації були дані трьох рівнів:

- дані, що описують геометричні параметри канавок (закон зміни осьової лінії мікронерівності, амплітуда канавки, осьовий крок канавки, ширина канавки);
- умови, що визначають взаємне розміщення канавок (канавки не дотикаються, канавки дотикаються, канавки перетинаються);
- параметри оптимізації (значення коефіцієнта площинної неоднорідності k_g , максимальне значення висоти перерізу канавки R_{max} , середнє значення висот перерізу канавки R_{aver}).

Структурна схема роботи алгоритму подана на рис. 1. При цьому вхідними даними для проведення комп'ютерного моделювання мікрорельєфу є параметри синусоподібних канавок. Принцип роботи алгоритму полягає у наступному: спочатку задають геометричні параметри осьової лінії канавки у формі синусоїди: осьовий крок канавки T_g , амплітуда A_g (блок 1). Після цього вводять параметр b_g , який моделює ширину канавки та забезпечує побудову верхньої і нижньої еквідистант на відстані $b_g/2$ від осьової лінії канавки у формі синусоїди (блок 2). Далі задають параметр S_o , який відповідає за міжосьову відстань між осьовими лініями канавок та побудову співвісної канавки з параметрами, введеними у блоці 1 (блок 3). На цьому етапі задання вхідних даних геометричних параметрів канавок та параметрів їх розміщення завершено. На наступному етапі слід визначити напрям побудови графіків площинної неоднорідності канавок мікрорельєфу та обрати область її визначення. Область визначення площинної неоднорідності обрано таким чином, щоб охопити елементи суміжних канавок, які періодично повторюються з кроком T_g в осьовому напрямку і кроком S_o в міжосьовому напрямку.

Залежно від обраного напрямку аналізу площинної неоднорідності та подальшої оптимізації розміщення канавок, алгоритм запропонує вертикальний чи горизонтальний аналіз. При цьому задають відстані (крок) між січними лініями горизонтального та вертикального перерізу (блок 4.1, 4.2) або (блок 5.1, 5.2). Для побудови графіків площинної неоднорідності слід додати відрізки січних ліній, що перетинають тіло канавки у горизонтальному чи вертикальному напрямі. Залежно від обраного напрямку визначення площинної неоднорідності алгоритм буде додавати відрізки вертикальних (блок 6.1), або горизонтальних січних ліній (блок 6.2).

Результатом додавання відрізків є графік площинної неоднорідності, який є сумою відрізків січних вертикальних (блок 7.1) або горизонтальних ліній (блок 7.2). Процес оптимізації розміщення канавок мікрорельєфу ґрунтується на послідовному визначенні зазначених параметрів для кожного можливого розміщення канавок і є досить складним. Його автоматизація забезпечує виявлення оптимальних параметрів розташування канавок та неоднорідності розподілу їх площі у режимі реального часу.

Розроблено алгоритм для оптимізації розташування канавок частково регулярного мікрорельєфу із канавками синусоподібної форми і забезпечення максимальної площинної однорідності мікрорельєфу.

Пропонований алгоритм забезпечує оптимальне взаємне розташування канавок мікрорельєфу, враховуючи їх геометричні параметри (амплітуду, крок, ширину канавки). Критеріями оптимізації були: мінімальна неоднорідність вздовж однієї з осей x або y , мінімальні значення параметрів, що характеризують площинну неоднорідність – коефіцієнт площинної неоднорідності k_g , мінімальне значення максимальної висоти

відрізка паралельного осі x чи y $R_{(x)y\max}$, середнє арифметичне значення усіх висот відрізків паралельних до осі x чи y $R_{y(x)aver}$.

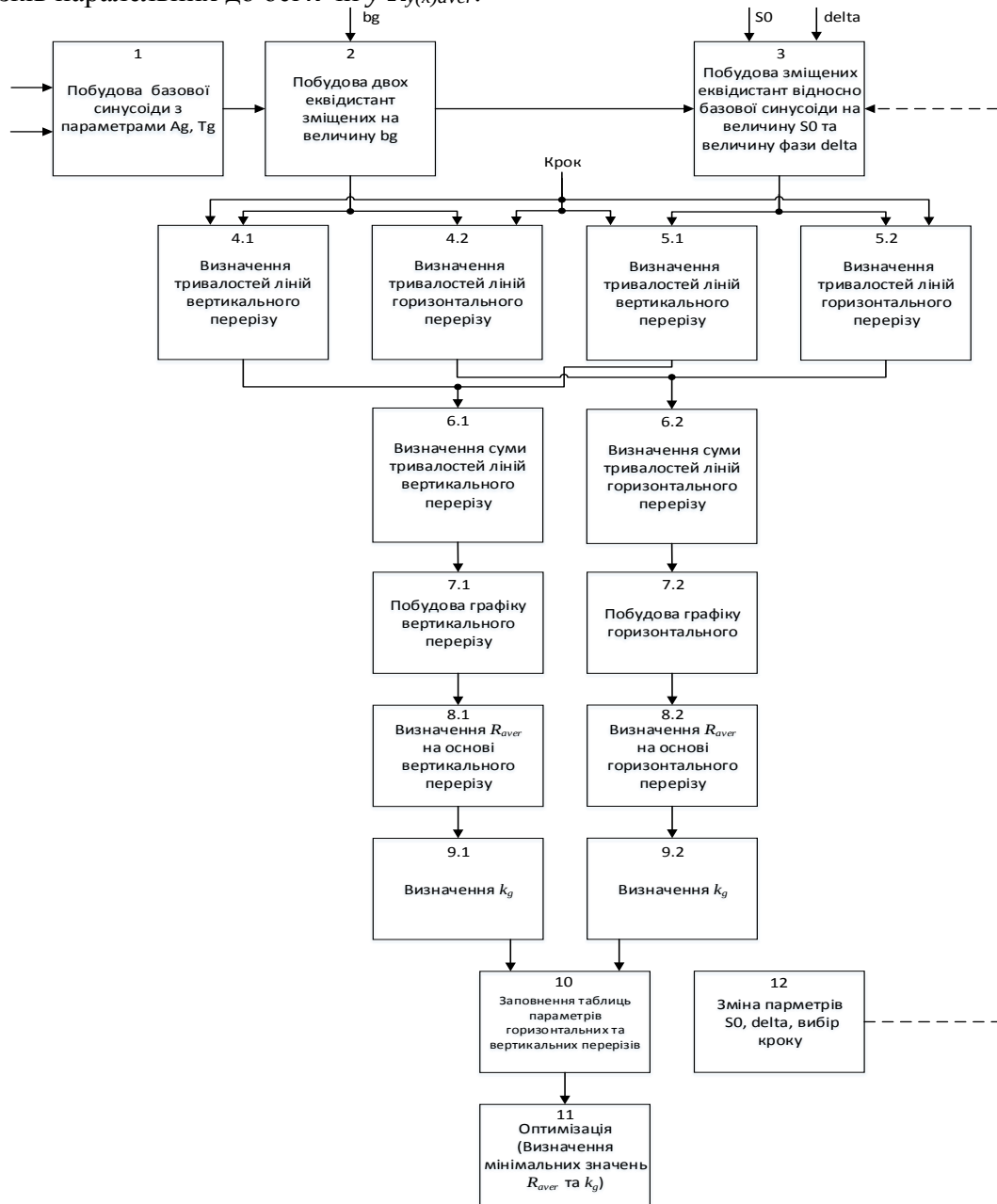


Рисунок 1 – Структурна схема нового алгоритму комп'ютерного моделювання впорядкованого мікрорельєфу з заданими параметрами

Перелік посилань

1. Pawlus P. A study on the functional properties of honed cylinders surface during running-in, Wear 1994, 176 (2), 247–254. [https://doi.org/10.1016/0043-1648\(94\)90153-8](https://doi.org/10.1016/0043-1648(94)90153-8). Aug.
2. Dzyura V., Maruschak P., Bytsa R., Zinchenko I. Planar non uniformity of regular and partially regular microreliefs and method for its evaluation. Eng 2025, 6, 314. <https://doi.org/10.3390/eng6110314>.