

М.М. Боярченкова // Экономика, механизация и первичная обработка льна: сб. науч. тр. ВНИИЛ. – Торжок, 1982. – Вып. XVIII. – С. 135–139.

14. Макаєв В.І. Удосконалення роздільного способу збирання льону-довгунця з метою поліпшення якості продукції / В.І. Макаєв // Межвузовський журнал «Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины». – Херсон, 2004. – №1(8). – С. 96–100.

Рецензент д.т.н., проф. О.О.Налобіна.

УДК 620.186

© А. В. Шостак, д.т.н.

Луцький національний технічний університет

В. М. Мельник

Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки

Ю. А. Мельник

Луцький національний технічний університет

МЕТОД РЕМ-АНАЛІЗУ МЕХАНІЧНО СФОРМОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

У статті розглянуто РЕМ-аналіз механічно сформованих поверхонь деталей конструкцій сільськогосподарських машин методом структурних функцій.

МІКРОСКОПІЯ, АНАЛІЗ, ПОВЕРХНЯ, ДЕТАЛЬ, МАШИНИ.

Постановка проблеми. Одним із актуальних напрямків впровадження перспективних методик нанотехнологічних досліджень у виробництві, експлуатації та ремонті, а також розробці нових сільськогосподарських машин є растрова електронна мікроскопія (РЕМ), методи якої дозволяють отримати якісні та кількісні характеристики досліджуваних мікрооб'єктів.

Такі РЕМ-дослідження матеріалів, з яких виконано деталі, вузли, механізми конструкцій сільськогосподарських машин, як аналіз поверхні і приповерхневих шарів, отримання інформації про структуру, її якісний і кількісний склад направлені на вирішення багатьох задач, пов'язаних з отриманням матеріалів та конструкцій з

покращеними характеристиками, оцінкою та прогнозуванням аварійності деталей та конструкцій машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Ефективним методом дослідження шорсткості механічно сформованих поверхонь деталей конструкцій сільськогосподарських машин є метод структурної функції [1], оскільки побудова 3-D структурної функції досліджуваної поверхні дає можливість виявляти анізотропність поверхні. Останнє особливо важливе для конструкції сільськогосподарських машин, оскільки багато їх технічних поверхонь, є анізотропними, тобто мають явно виражену спрямованість.

Застосування автокореляційної функції, яка повинна характеризуватися загальним для всіх профілів початком, можна одержати лише в тому випадку, якщо всі профілі вимірюються від однієї і тієї ж середньої площини. У протилежному випадку на початку функції виникають сингулярності.

Такі випадки спостерігаються при аналізі шліфованих поверхонь, які мають велике число накладених одна на одну рівнобіжних подряпин, довжина кожної з яких може бути в 10–100 разів більше її ширини. Зрозуміло, що така поверхня має сильно анізотропні властивості. Із аналізу автокореляційної функції (АКФ) отримується оцінка шорсткості такої поверхні, тобто середньо-квадратичне відхилення розподілу висот, залежить від напрямку; профілі, паралельні певному виділеному напрямку, мають значно менший вплив при деяких довжинах хвиль, ніж профілі під прямими кутами до цього напрямку. Тобто, такі профілі є більш гладкими. Якщо при цьому спробувати побудувати тривимірну АКФ, то вона буде неоднозначною на початку координат. Якщо спробувати уникнути цього негативного явища шляхом нормування окремих автокореляційних функцій за їхніми відповідними варіаціями, то отримана при цьому тривимірна автокореляційна функція все ж таки буде недостовірно характеризувати просторові зміни (варіації) мікрорельєфу.

Мета дослідження – обґрунтування РЕМ-аналізу механічно сформованих поверхонь методом структурних функцій на прикладі модельної поверхні.

Результати дослідження. Розглянемо більш детально відзначені вище особливості на прикладі модельної поверхні.

Структурна функція модельної поверхні. Оскільки АКФ підсумовує добуток затримок сигналів, то будемо вважати висоти мікрорельєфу поверхні як значення сигналів $z(x)$, для яких повинні бути визначені статистичні властивості затримки. Для цього визначимо

математичне очікування $s(\tau)$ як суму квадратів різниць амплітуд запізнення:

$$S(\tau) = E \left\{ [z(x) - z(x+\tau)]^2 \right\}, \quad (1)$$

де $E \{ \cdot \}$ означає математичне очікування. Вираз (1) відомий як варіація структурної функції [2], яка не залежить від вибору середньої площини.

Для того, щоб продемонструвати незалежність структурної функції від вибору середньої площини і одержати співвідношення з автокореляційною, розглянемо простий профіль (рис. 1).

$$S(\tau) = E \left\{ [z(x) + h]^2 \right\} + E \left\{ [z(x+\tau) + h]^2 \right\} - 2E \left\{ [z(x) + h][z(x+\tau) + h] \right\}. \quad (2)$$

Після нескладних перетворень маємо:

$$S(\tau) = E \left\{ z^2(x+\tau) \right\} + E \left\{ z^2(x) \right\} - 2E \left\{ z(x)z(x+\tau) \right\}. \quad (3)$$

Доданок з добутком – це коваріаційна функція $\psi(\tau)$. Для стаціонарного випадку

$$E \left\{ z^2(x) \right\} = E \left\{ z^2(x+\tau) \right\} = \sigma^2, \quad (4)$$

тобто

$$S(\tau) = 2 \left\{ \sigma^2 \Psi(\tau) \right\},$$

або, якщо виразити за допомогою автокореляційної функції $R(\tau) = \Psi(\tau) / \sigma^2$, то $S(\tau) = 2\sigma^2 \{1 - R(\tau)\}$.

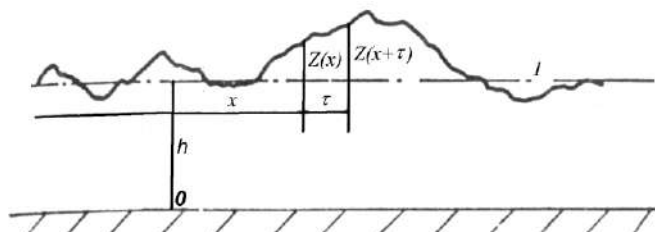


Рис. 1 – Профіль поверхні з випадковим полем шорсткості. Вказані позначення характеризують форму та розміри контактної ділянки; l – середня площина [348]

Таким чином, профільна структурна функція є січенням тривимірної структурної функції, що взагалі не характерно для автокореляційної функції.

Ідентифікація на основі структурної функції текстурних особливостей модельної поверхні [1]. Ця задача відноситься до ідентифікації просторових особливостей поверхні, які у певному відношенні однакові, але повторюються випадковим чином. Подібні характеристики мають багато механічно оброблених чи сформованих поверхонь сільськогосподарських машин, наприклад, поверхні, отримані при взаємодії робочих органів коренебульбозбиральних машин з абразивним середовищем ґрунту, або сформовані в результаті кавітаційно-ерозійного зношування. Такі поверхні мають випадковий набір мікроратерів, що відрізняються розмірами, але мають однакову форму. Цікаве у цьому відношенні є те, в якій мірі ця форма представлена структурною чи кореляційною функцією, і чи має ця функція інформацію, що дозволить визначити просторові властивості поверхні. З цією метою скористаємося підходом, запропонованим в роботі [1].

Розглянемо [3] простий приклад цифрової моделі мікрорельєфу (ЦММР), сформованої в результаті механічної обробки (рис. 2). Повторюваною в даному випадку характеристикою є ряд створених на поверхні плоских ділянок. Необхідно визначити ті зміни, які мають місце в структурній і автокореляційній функціях, а також з'ясувати питання, чи можна ці зміни інтерпретувати за допомогою просторових характеристик (таких як довжини плоских ділянок) досліджуваної поверхні.

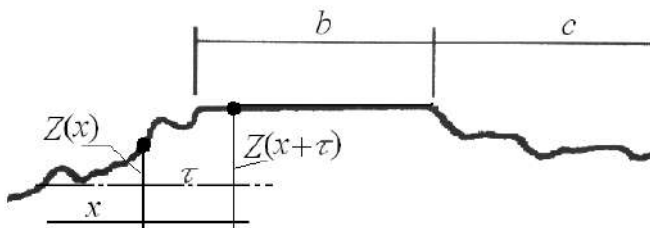


Рис. 2 – Геометрія текстурних особливостей поверхні ЦММР плоских ділянок

Припустимо, що імовірність $P^k(l)$ зростає, якщо сусіди A_i мають високі ймовірнісні характеристики відмінностей до b (рис. 2). Зокрема, на k -тій ітерації для вузла $A_i(x_i, y_i)$, що має сусідів $A_j(x_j, y_j)$, кількість $q_i^k(l)$ визначається так:

$$q_i^k(l) = \sum_{\|l-l'\leq 1\|} P_j^k(b')$$

де розглядаються тільки ті сусіди A_j , у яких b' відмінні від b менше, ніж на 1.

Обчислення ймовірностей P є типовою задачею і, згідно з теоремою Бюффона, базується на постулаті, що шукана ймовірність дорівнює співвідношенню площ s і S

Для конкретності визначимо повне математичне сподівання, що має n подій. Відомо, що повне математичне сподівання визначається сумою своїх умовних сподівань, помножених на ймовірність кожної події [4]. Скориставшись структурною функцією, одержуємо:

$$E\left\{\left[z(x) - z(x+\tau)\right]^2\right\} = \sum_{i=1}^n P_i E\left\{\left[z(x) - z(x+\tau)\right]^2 \mid A_i\right\}, \quad (5)$$

де P_i – ймовірність події A_i , а $E\left\{\left[z(x) - z(x+\tau)\right]^2\right\}$ – умовні сподівання події A_i , тобто $E\{\cdot\}$ дійсне, коли подія A_i відбувається.

Процес обчислення повного математичного сподівання для розглянутого тут модельного прикладу можна вважати як таким, що складається всього лише з трьох подій [2]:

подія A_1 : $z(x)$ і $z(x+\tau)$ лежать у незмінній області,

подія A_2 : $z(x)$ або $z(x+\tau)$ одне лежить у змінній області, а друге – ні,

подія A_3 : $z(x)$ і $z(x+\tau)$ лежать на плоскій ділянці.

При цьому враховуються просторові особливості, де b – середній розмір плоскої ділянки, а c – середня відстань між ними.

Подія A_1 . Очевидно, $E\left\{\left[z(x) - z(x+\tau)\right]^2 \mid A_1\right\} = S_U(\tau)$. Коли обидві координати відносяться до непорушеної зони, а математичне сподівання характеризує вихідну поверхню $S_U(\tau)$.

Тоді ймовірність події A_1 дорівнює

$$P_1 = P(A_1) = 1 - [P(A_2) + P(A_3)] = 1 - [P(A_2) + P(A_3)] \quad (6)$$

і може бути оцінена, якщо відомі $P(A_2)$ і $P(A_3)$.

Подія A_2 . Математичне сподівання для події A_2 залежить від відстані між координатами τ :

$$E \left\{ \left[z(x) - z(x+\tau) \right]^2 | A_2 \right\} \approx S_U (\tau/2), \text{ коли } \tau < b. \quad (7)$$

$$E \left\{ \left[z(x) - z(x+\tau) \right]^2 | A_2 \right\} \approx S_U (\tau - b/2), \text{ коли } \tau > b. \quad (8)$$

Якщо c – середня відстань між плоскими ділянками, а b – середній розмір такої ділянки, то відношення площ дорівнює:

$$\frac{S}{S_n} = \frac{b}{b-c} = a, \quad (9)$$

а щільність плоских ділянок така:

$$q = 1/(b+c). \quad (10)$$

Просторову імовірність подій можна визначити наступним чином $P(A_i) = \frac{L_p}{L_3}$, де L_p – довжина області, в якій має місце подія;

L_3 – загальна можлива довжина досліджуваних областей.

Якщо $\tau \leq b$, то

$$P(A_2) = 2\tau / (b+c) = 2q\tau, \quad (11)$$

а при $b \leq \tau < c$

$$P(A_2) = 2\tau / (b+c) = 2q\tau. \quad (12)$$

Якщо $\tau \rightarrow c$, то імовірність, згідно з рівнянням (12), буде зменшуватися внаслідок зміни c . Це приведе до того, що одна координата події буде відповідати іншому контакту, а не непорушеній поверхні. Якщо τ перевищить c , то імовірність того, що ця координата виявиться на непорушеній поверхні, буде функцією відношення площ a і при $\tau > c$ імовірність події A_2 буде дорівнювати:

$$P(A_2) = 2b(1-a) / (b+c) = 2a(1-a) \quad \tau > c. \quad (13)$$

Подія A_3 . Для цієї події математичне сподівання

$$E \left\{ \left[z(x) - z(x+\tau) \right]^2 | A_3 \right\} = 0, \quad (14)$$

якщо ця операція створює плоскі ділянки.

Застосовуючи такий же підхід, як і для події A_2 , можна показати, що

$$P(A_3) = (b-\tau) / (b+c) = a - q\tau \quad \tau \leq b. \quad (15)$$

$$P(A_3) = 0 \quad b \leq \tau < c. \quad (16)$$

Отже, для детермінованої геометрії взаємного розташування елементів модельної ЦММР умовні математичні сподівання та імовірності кожної події описуються наступними співвідношеннями:

$$\begin{aligned}
 E_1 = S_U(\tau) \quad \text{для всіх } \tau; \quad P_1 \begin{cases} = 1 - a - \tau q & \tau < b \\ = 1 - 2a & b < \tau < c \\ = (1 - a)^2 & \tau > c \end{cases} \\
 E_2 \begin{cases} = S_U(\tau/2) & \tau < b \\ = S_U(\tau - b/2) & \tau > b \\ = 0 & \text{для всіх } \tau; \end{cases} \quad P_2 \begin{cases} = 2\tau q & \tau < b \\ = 2a & b < \tau < c. \\ = 2a(1 - a) & \tau > c \end{cases} \quad (17) \\
 E_3 = 0 \quad \text{для всіх } \tau; \quad P_3 \begin{cases} = a - \tau q & \tau < b \\ = 0 & b < \tau < c, \\ = a^2 & \tau > c \end{cases}
 \end{aligned}$$

де $S_U(\tau)$ – вихідна поверхня структурної функції, наприклад, до обробки; a – відношення площ плоских ділянок до номінальної площі; q – щільність плоских ділянок.

За допомогою (17) можна кількісно оцінити зміни структурної функції. Наприклад, для $\tau > c$ і стаціонарного поля маємо

$$S_U(\tau - b/2) \approx S_u(\tau). \quad (18)$$

Аналізуючи (17) і (18) бачимо, що значення a і b визначають щільність q та середню відстань c . Значення цих параметрів дозволяє отримувати в аналітичному вигляді функцію $S_U(\tau)$.

Проте отримання структурної функції в явному вигляді можливе лише для найпростіших випадків. В загальному випадку структурна функція визначається емпірично [5].

$$S(\tau) = S(k, m) = \frac{1}{N - k} \frac{1}{N - m} \sum_{i=1}^{N-k} \sum_{j=1}^{N-m} (z(i, j) - z(i + k, j + m))^2 \quad (19)$$

$$k, m = 0, 1, 2, \dots, N - 1,$$

де N – кількість точок в кожному напрямку регулярної сітки;

τ – евклідова відстань між точками (i, j) та $(i + k, j + m)$ на площині.

При такому підході необхідне 3D-моделювання.

Висновок. З використанням виконаного на прикладі модельної поверхні обґрунтування РЕМ-аналізу шорсткості механічно сформованих поверхонь деталей конструкцій сільськогосподарських машин методом структурних функцій можливе проведення оцінки анізотропності досліджуваної поверхні за побудовою її 3D структурної функції.



*Робота виконана за підтримки МОН України
(держреєстраційний номер теми № 0112U000290).*

Література

1. Sayles R. Surface topography as a no stationary random process [Text] / R. Sayles, T. Thomas // Nature. – 1978. –V. 281. – P. 431–434.
2. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1973 – 681 с.
3. Шостак А. В. РЕМ-стереометрична оцінка чистоти технологічної поверхні [Текст] // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки» -Луцьк, 2001. – С. 271–276.
4. Корн Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
5. Гаврилова О. В. Метод аппроксимации автокорреляционных функций для описания площадных объектов фотоизображения [Текст] / О. В. Гаврилова // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. –1984. – № 2. – С. 68–72.

УДК 515.2 : 631.3

© В. П. Юрчук, д. т. н.; В.В. Карпюк; М. А.Святина
НТУУ«Київський політехнічний інститут»,

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ СПРЯЖЕННЯ ПРИ ВИГОТОВЛЕННІ ГРУНТООБРОБНИХ ДИСКІВ

В статті розглядаються методи ремонту та виготовлення робочих органів сільськогосподарських машин, а саме, дисків сферичних борін із застосуванням методу спряження методом точіння.

**РОБОЧІ ОРГАНИ, ШТАМПУВАННЯ ДИСКІВ,
ВИРІЗАННЯ ДИСКІВ, НАВАРЮВАННЯ В СТИК, ПРОТОЧЕНИЙ
ДІАМЕТР, СПРЯЖЕНА ГЕОМЕТРИЧНА ФОРМА ДИСКА ТА
ЗУБІВ.**

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку нашої країни у сільськогосподарському машинобудуванні проводяться значні роботи, направлені на вирішення науково-технічних задач по збільшенню продуктивності, функціональності сільськогосподарських машин, які крім цього, повинні бути надійними та довговічними, простими в конструкції і роботі та відповідати сучасним агротехнічним