Горенко М.В.
ТОВ "Апекс",
м. Київ, Україна
E-mail: newmax23@ukr..net

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГООБМІНУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ З СЕРЕДОВИЩЕМ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ АСИМЕТРИЧНИХ ПОВЕРХНЕВО - АКТИВНИХ СТРУКТУР (ЗОКРЕМА ЧЕШУЙНОПОДІБНИХ) З ВЕКТОРНО ЗАДАНИМ НАПРЯМОМ ОПОРУ

УДК 621

В роботі вперше запропоновано для оптимізації енергообміну робочої поверхні з середовищем використовувати розраховані для заданих умов експлуатації асиметричні елементи та порції поверхні з заданим вектором опору, зокрема чешуйноподібні структурні елементи, які об`єднуються у локалізації та групи, чим задається загальний вектор опору відносно поверхні. Розглядаються варіанти структуризацій та показана можливість їх створення на контактних поверхнях заданого профілю на основі базової шорсткості об`єкту з метою підвищення економічності і ефективності трибосистем. Дається загальне визначення ефективності структуризованої поверхні. Даний спосіб підвищення ефективності енергообміну робочих поверхонь і обладнання для його реалізації пропонується для впровадження і використання в виробництві.

Ключові слова: ефективність, ефективність енергообміну, ефективність робочих поверхонь, ефективність енергообміну робочих поверхонь, поверхнево-активні структури, функція розподілу вектора опору, знос.

Вступ

В трибосистемах, гідравлічних системах і парогазових системах, які характеризуються взаємодією робочої поверхні з робочим середовищем, за рахунок особливостей поверхневої геометрії, важливу роль відіграють параметри робочих поверхонь, їх рельєф на рівні мікро- і наноструктур [1 - 2]. Тому постає проблема оптимізації процесу енергообміну поверхня – середовище. Поверхні, які задані стандартизованими параметрами шорсткості забезпечують максимальні робочі характеристики системи в певному діапазоні умов взаємодії поверхня – середовище але і при цьому можуть виникати зрив потоку на критичних режимах, помпаж, кавітація тощо. Тому постає питання про створення поверхонь на рівні мікро- і наноструктур, які б оптимізували ефективність процессу енергообміну і взаємодії. Така оптимізація досягається зокрема розрахунком поверхневої геометрії для необхідного енергообміну з робочим середовищем і створенням певної структури поверхонь, а саме шляхом формування поверхневих структур у поєднанні структур макро-, мікро- і нанорозмірностей, які мають заданий векторний напрям опору робочому середовищу з врахуванням макрогеометричних характеристик робочої поверхні, і умов експлуатації. Тобто, ступінь структуризації робочої поверхні обумовлюється характеристиками робочого середовища і об'єднує макро-, мікро- і нано геометрії поверхні.

Існуючі способи структуризації або враховують параметр шорсткості, без врахування індивідуальної геометрії її вершин і каналів та об`ємів, або використовують структуризацію визначеними (створеними емпірично) геометричними елементами формуючи з них масиви [3, 4, 5, 6] – що дозволяє маніпулюючи їх розмірами дещо покращувати енергообмін, або реалізують хаотичний характер перетікання (обтікання поверхні). Такі підходи хоча і покращують загальні експлуатаційні характеристики поверхонь (у вигляді наприклад зриву на критичних режимах експлуатації граничного шару, або безсистемного переміщення змащувальних матеріалів), але не забезпечують максимальну ефективність поверхні з врахуванням її геометричних параметрів, напряму переміщення і розподілу градієнтів швидкостей по її поверхні. Це все обумовлює енергетичні втрати за рахунок неупорядкованості перетікання (обтікання) робочим середовищем структурних елементів поверхні. Реалізація ж способу побудови поверхні з структурними елементами зі зміщеною або відсутньою віссю симетрії, або на основі несиметричних елементів структур, об'єднаних у групи й локалізації, геометрія яких утворена в результаті розрахунку для заданого енергообміну поверхня-середовище дає можливість упорядковано розподіляти на робочій поверхні вектори швидкостей руху робочого середовища, тим самим або відбирати енергію потоків, або передавати найбільш вигідним способом. Наприклад, для прискорення руху робочого середовища треба звести до мінімуму перетікання по площині у напрямах, які не співпадають з вектором напряму руху робочої поверхні, або протилежний варіант – треба відібрати максимальну енергію потоку середовища за рахунок забезпечення кращої взаємодії робоче середовище – поверхня, забезпечивши максимальну площу енергообміну по поверхні.

Мета і постановка задачі

Реалізація методу структуризації поверхонь (або поверхні) полягає у створенні і поєднанні макро-, мікро- і нанорельєфу за допомогою аналізу фактичного векторного розподілу швидкостей руху сере-

довища і необхідного векторного розподілу оптимального градієнта швидкостей по поверхні в максимальному діапазоні експлуатаційних характеристик. Геометрія поверхні формується на основі необхідних характеристик взаємодії середовища з поверхнею.

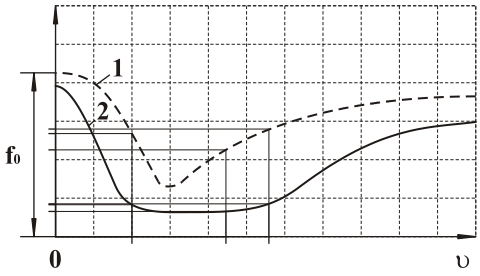

Рис. 1 – Залежність коефіцієнта тертя ковзання f_0 від швидкості υ для площинного контакту:
1 – поверхні з стандартною шорсткістю;
2 –поверхні з структуризацією розрахованою відповідно заданих умов експлуатації

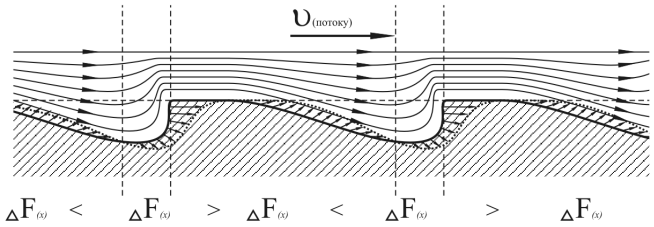

Рис. 1, а – Приклад перерізу створеної порції поверхні при умові заданого напряму руху і умови максимального енергетичного обміну в заданому діапазоні швидкості між потоком середовища і поверхнею (рухається поток середовища, передаючи свою енергію поверхні)

При зміні кута атаки поверхні енергообмін збільшується (рис. 1, б).

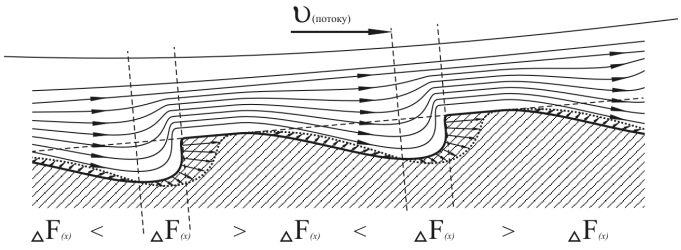

Рис. 1, б – Зміна енергообміну потоку середовища з поверхнею при зміні кута атаки

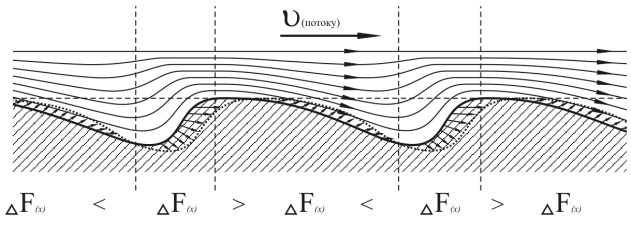

Рис. 2, а – Варіант інтерпольованого перерізу структур для роботи у більш енергетичноємних системах

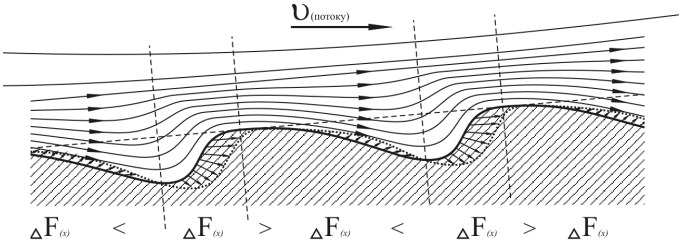

Рис. 2, б – Варіант інтерпольованого перерізу структур при зміні кута атаки

Ефективність енергообміну поверхня-середовище збільшується зі збільшенням кута атаки поверхні, оскільки збільшується сила дії потоку на робочу поверхню, але навіть при нульовому куті атаки (поверхня знаходиться паралельно потоку) поверхні з такою геометрією, чи з похідними від такого профілю будуть більш ефективно взаємодіяти з потоком середовища, ніж поверхня з неупорядкованою геометрією шорсткості. Тобто за рахунок зміни структурного рельєфу з`являється можливість забезпечити при різних кутах атаки (нахилу площини) оптимальну взаємодію з середовищем.

Приклад створення порції такої поверхні при умові заданого напряму руху і умові максимального енергетичного обміну між поверхнею і потоком середовища: поверхневе профілювання – рис. 3, а, профілювання криволінійних поверхонь – рис. 3, б.

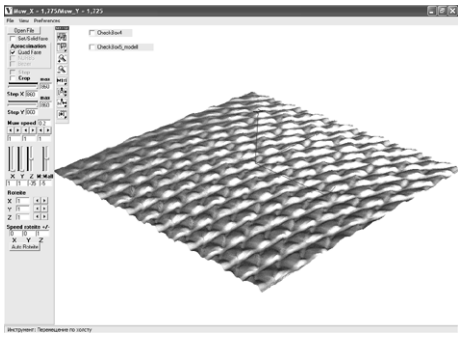

Рис. 3, а – Приклад поверхневого профілювання площини

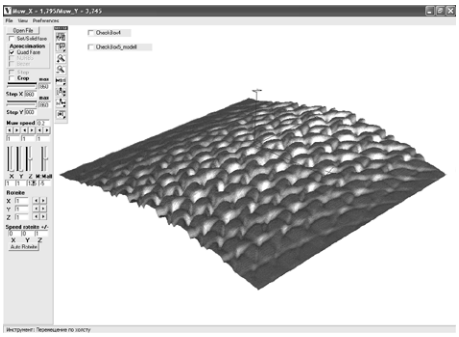

Рис. 3, б – Приклад поверхневого профілювання криволінійної поверхні

Приклад створення максимального градієнта швидкостей на поверхні лопасті вентилятора зі спрощеною структурованою поверхнею при заданому напрямі руху і умові максимального енергетичного обміну між поверхнею і потоком (рухається поверхня, передаючи свою енергію потоку) приведено на рис. 4.

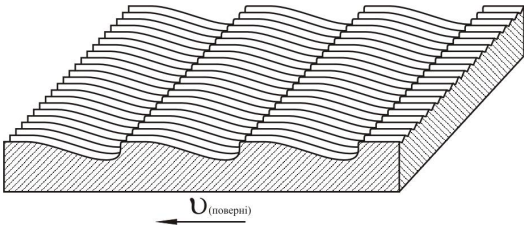

Рис. 4 – Приклад поверхні зі спрощеною структуризацією

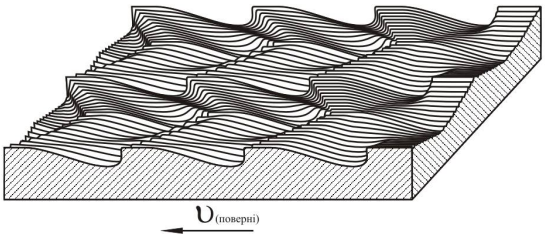

Рис. 5 – Варіант складної порції поверхні з урахуванням перетікання при заданій турбуленізації потоку для збільшення єнергообміну з седовищем

Для збільшення енергообміну поверхні з середовищем і зменшення неупорядкованого перетікання середовища задається інший її структурний рельєф (рис. 5).

Даний метод структуризації поверхні відрізняється від існуючих методів зокрема тим, що використовуючи отриману в процесі розрахунку несиметричну похідну (наприклад від утвореного в процесі розрахунку каплеподібного профілю [7]) яка враховує зміну кутів взаємодії поверхні з середовищем для оптимізації енергообміну, формується результуючий вектор опору $\overrightarrow{a_{eff}}$ [7] порції поверхні.

За геометричними особливостями утворених структурних елементів в результаті розрахунку і їх властивостями, зокрема функцією розподілу вектора опору $\overrightarrow{a_{eff}}$ [7] поверхні середовищу - можна виділити основні види поверхневих структур: чешуйноподібні, пилоподібні, каплеподібні, асиметрично-перфоровані, гібридно - аморфні поверхневі структури.

Утворені структуризовані елементи можуть мати вигляд інтерпольованої пилоподібної, чешуйноподібної структура або перфорованої асиметричної структури з контрольованою заданою геометрією схилів каналів та вершин структурних елементів зі зміщеною або відсутньою віссю симетрії. Тобто, це така несиметрична структуризація, яка створює градієнт швидкостей за рахунок створення зон градієнтів опору з орієнтацією в заданому напрямі за рахунок різниці кутів атаки потоку до вершин та їх схилів. Такі структурні елементи можуть об`єднуватися в локалізації, групи і масиви несиметричних структур, заглиблень та об`ємів каналів і перфорації. Головна відміна від існуючих методів полягає в створенні

упорядкованої заданої геометрії схилів, каналів та вершин, чим створюється векторно заданий опір руховi середовища по поверхні. Зміщений центр симетрії або його відсутність у вершин структурних елементів (асиметричні структури) і поєднання макро-, мікро- і наногеометрії поверхні, каналів, перфорацій за рахунок взаємодії поверхні з потоком середовища змінюють вектор напряму руху і відносну швидкість потоку середовища, а структуризовані зони з заданим градієнтом швидкості і опору, дозволяють керувати процесами розподілу енергообміну потоку з поверхнею.

Варіанти простих чешуйноподібних структур приведені на рис. 6.

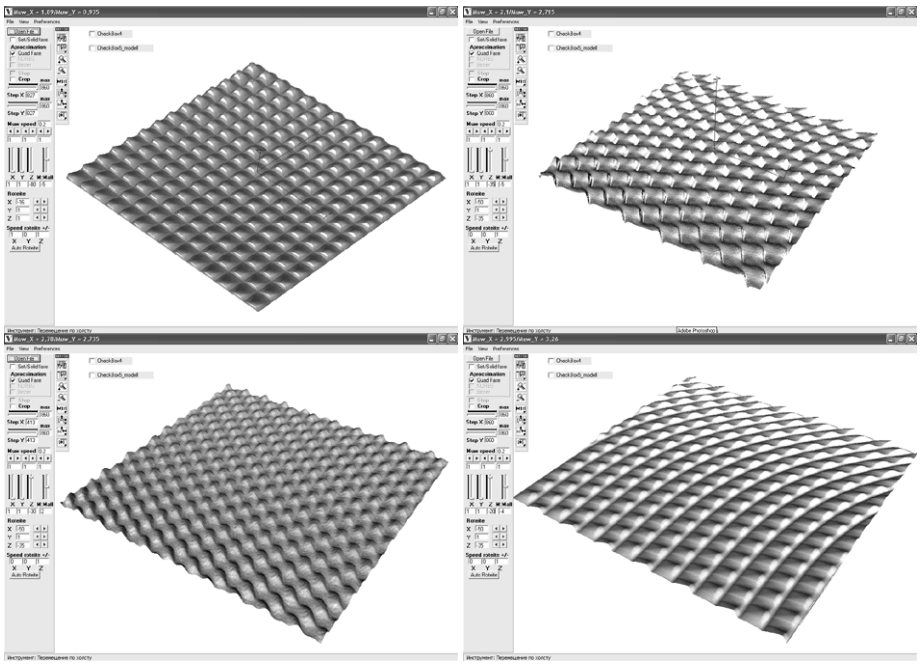

Рис. 6 – Варіанти розрахованих простих чешуйноподібних структур поверхні

Варіанти складних чешуйноподібних структур приведені на рис. 7.

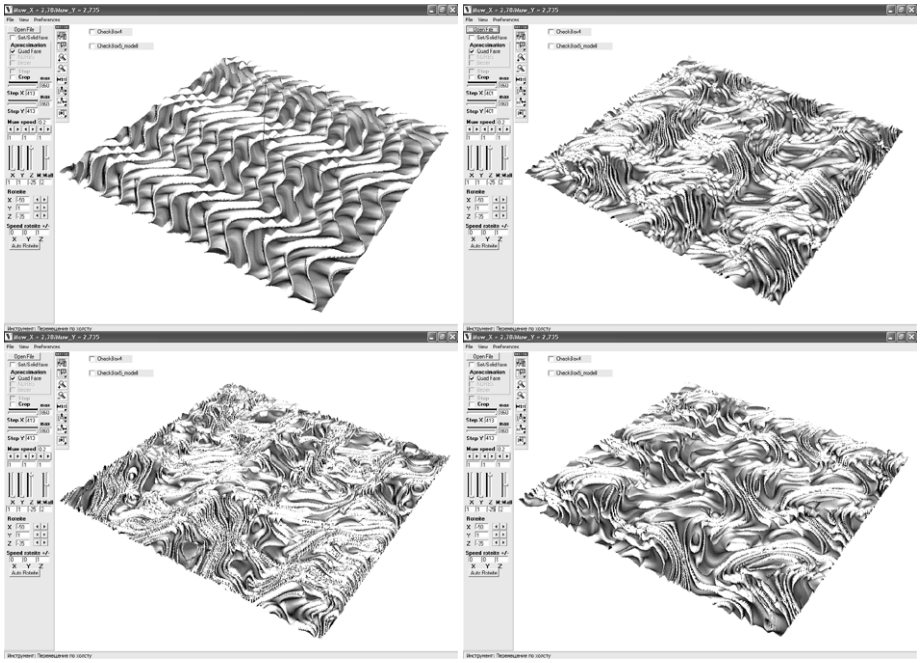

Рис. 7 – Варіанти розрахованих складних чешуйноподібних структур

Варіанти простої та складної асиметричної інтерпольованої пилоподібної (каплеподібної) структури зображено на рис. 8, а, рис. 8, б.

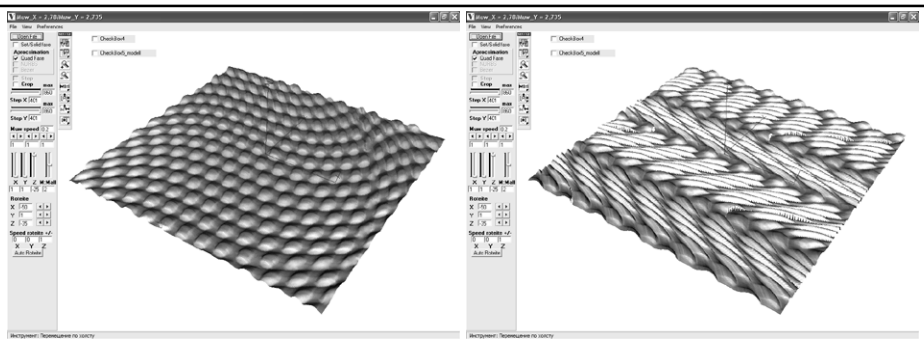

Рис. 8, а – Варіанти розрахованої простої асиметричної інтерпольованої пилоподібної (каплеподібної) структури

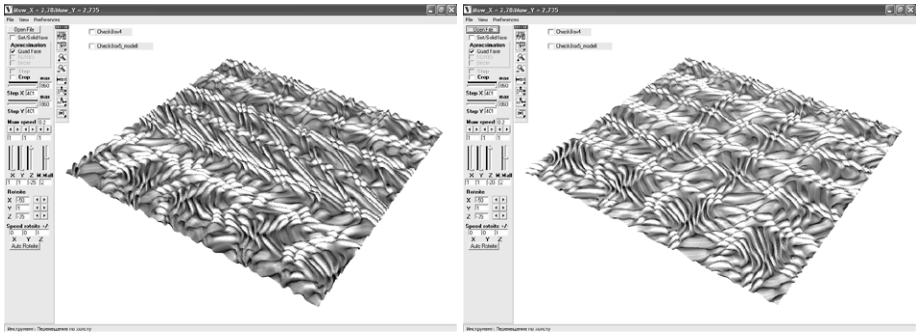

Рис. 8, б – Варіанти розрахованої складної асиметричної інтерпольованої пилоподібної (каплеподібної) структури

Варіанти простої та складної асиметричної інтерпольованої перфорованої структури, створеної на основі заданих векторів напряму перетікання і градієнта швидкостей для підвищення енегретичного обміну в турбуленізованих середовищах, зображено на рис. 9.

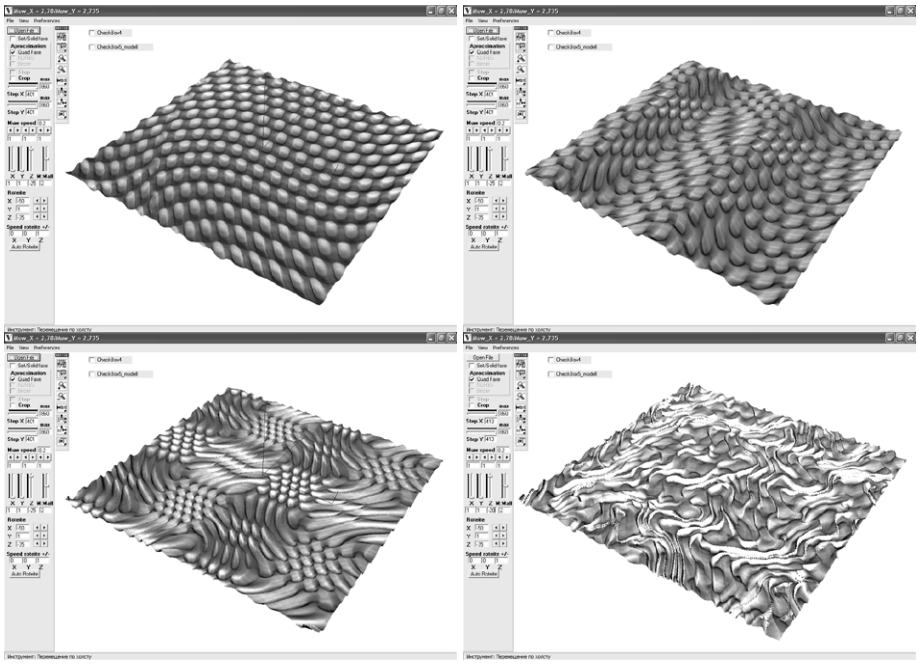

Рис. 9 – Варіанти розрахованої простої та складної асиметричної інтерпольованої перфорованої структури для підвищення енегретичного обміну в турбуленізованих середовищах

Варіант складної гібридної аморфної інтерпольованої асиметричної структури для підвищення енегретичного обміну в тубуленізованих середовищах з врахуванням заданих векторів перетікання речовин зображено на рис. 7.

Розрахунки необхідної геометрії поверхні проводяться на основі об`ємно-векторного аналізу потоку середовища в об’ємі над поверхнею [7].

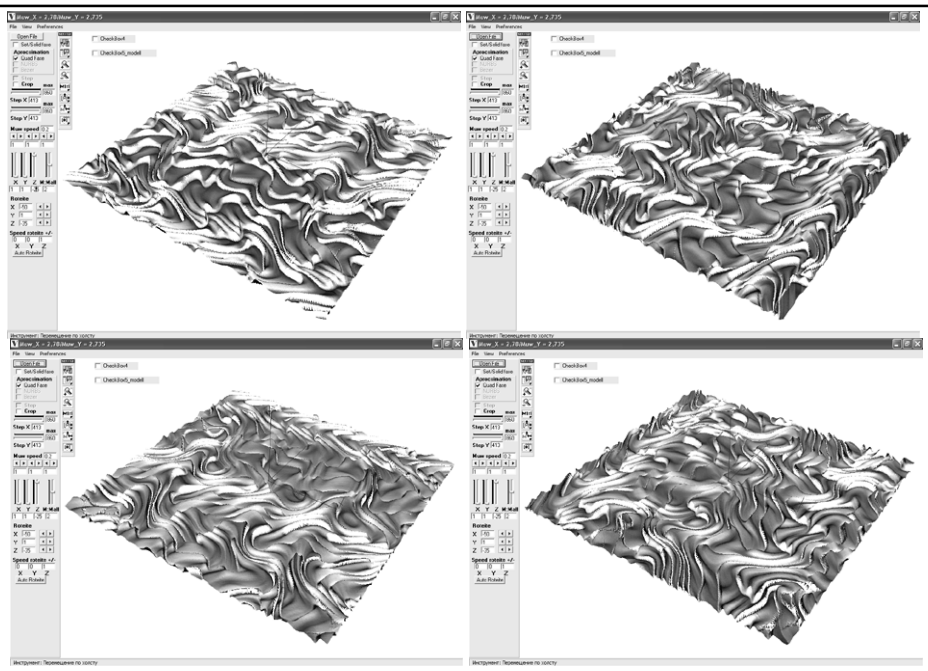

Рис. 10 – Варіант розрахованої складної гібридної аморфної інтерпольованої асиметричної структури

Метод заданої структуризації поверхні у спрощеному вигляді може бути виконаний засобами корегування осі симетрії існуючої шорсткості різноманітними методами обробки (механічними, чи безконтактним лазерним або електроерозійним способом - зрізанням вершин під заданим кутом рис. 11, а, або способом пластичної деформації методом зсуву по площині поверхні рис. 11, б) на спеціалізованому обладнанні [8, 9].

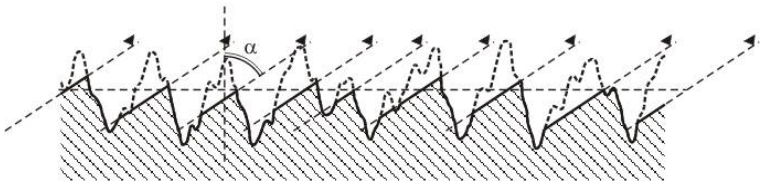

Рис. 11, а – Скореговані структури шорсткості (зрізані вершини виступів) шляхом механічної, чи безконтактної видів обробки поверхні

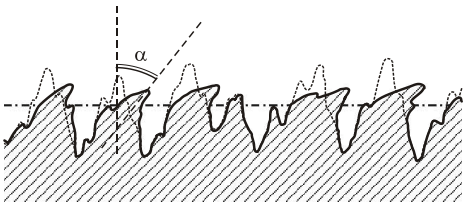

Рис. 11, б – Скореговані структури шорсткості шляхом пластичної деформації методом зсуву

Ці способи доводки найбільш дешеві (можуть використовуватися на виробництві без потреби у впровадженні нового типу обладнання), але вони потребують наступної доводки для формування достатніх площ опорних ділянок поверхні, бо не забезпечують повної відповідності оптимальному рельєфу і не забезпечують максимальну ефективність поверхні у порівнянні з структурованими поверхнями з заданою геометрією, де структура та площа контактних ділянок задаються і формуються на етапі розрахунку структурних елементів та відтворюються безпосередньо на поверхні. Для відтворення поверхні з максимальною подібністю до отриманої в процесі розрахунку найбільш перспективними являються спосіб лазерної обробки поверхні на спеціалізованому обладнанні [8] або використання способу електронно-променевої обробки поверхні.

Ефективність поверхні можна охарактеризувати співвідношенням опору у площині взаємодії до площі робочої поверхні, наприклад з поверхнею рис.12.

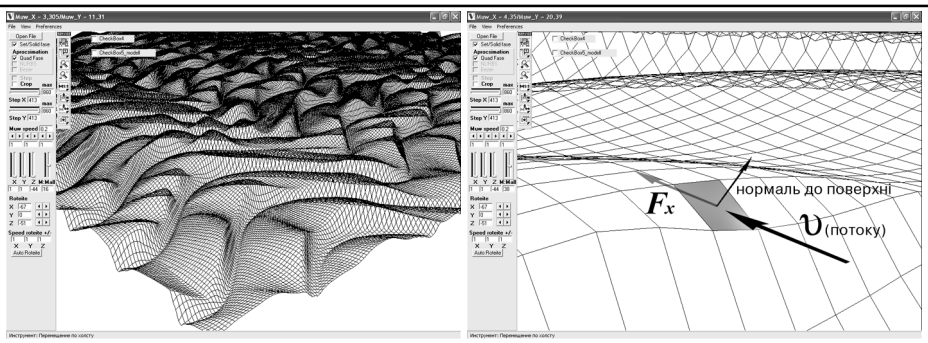

Рис. 12 – Структурні елементи поверхні, розбиті на елементарні порції поверхні

Тоді ефективність взаємодії (Ep) поверхні з робочим середовищем у спрощеному загальному вигляді при заданому векторі напряму взаємодії буде мати вигляд:

$$Fx = \int_0^{\infty} \eta\ (v)\ dv \int_{n=\max}^{n=0} m_n \frac{\partial v_n}{\partial t_n}\ \cos(\alpha_n)\ dn\ ;$$

$$Fx = \int_0^{\infty} \eta\ (v)\ dv \int_{n=\max}^{n=0} m_n \frac{\partial v_n}{\partial t_n}\ \cos(\alpha_n)\ dn\ ;$$

$$Fx = \int_0^{\infty} \eta\ (v)\ dv \int_{n=\max}^{n=0} m_n \frac{\partial v_n}{\partial t_n}\ \cos(\alpha_n)\ dn\ ;$$

$$Fx = \int_0^{\infty} \eta\ (v)\ dv \int_{n=\max}^{n=0} m_n \frac{\partial v_n}{\partial t_n}\ \cos(\alpha_n)\ dn\ ,$$

де m – маса;

a – прискорення;

v_n – швидкість;

t_n – час;

η - динамічна в'язкість середовища;

α_n – кут атаки елементарної порції поверхні;

F_x – сила лобового опору;

$F_{x\,n}$ – сила лобового опору елементарної порції поверхні;

S – загальна площа поверхні;

E_p – загальна ефективність поверхні.

Загальній опір поверхні можливо виразити через інтеграл кутів атаки елементарних площин по поверхні:

$$Fx = m \cdot a \langle \eta \rangle \int_{n=\max}^{n=0} \cos(\alpha_n)\ dn\ ,$$

тоді:

$$Fx = m \frac{\partial v}{\partial t} \langle \eta \rangle \int_{n=\max}^{n=0} \cos(\alpha_n)\ dn\ .$$

Ефективність зростає зі збільшенням робочої площі, а структурні елементи якраз і забезпечують це. Характеризуючи взаємодію з позиції енергообміну і змінного кута атаки до набігаючого потоку структурних елементів, взаємодію потоку з поверхнею можна виразити як імпульс на площу по поверхні:

$$p = m \cdot v \cdot k_{ef}\ .$$

Де k_{ef} – коефіцієнт, який залежить від геометрії поверхні і кутів вектору взаємодії.

З врахуванням z над поверхнею:

$$Fx = \int_0^{\infty} dz \int_0^{\infty} \eta(v)\ dv \int_{n=\max}^{n=0} m_n a_n \cos(\alpha_n) dn\ .$$

З розрахунку об'ємної складової Fx_n порції поверхні буде мати вигляд:

$$Fx_n = \int\limits_{y=\max}^{y=0} dy \int\limits_{0}^{\infty} dz \int\limits_{0}^{\infty} \eta(v)\, dv \int\limits_{n=\max}^{n=0} m_n a_n \cos(\alpha_n) dn \ .$$

Тоді загальна об`ємна складова поверхні у спрощеному вигляді:

$$Ep = \left(\int\limits_{x=\max}^{x=0} dx \int\limits_{y=\max}^{y=0} dy \int\limits_{0}^{\infty} dz \int\limits_{0}^{\infty} \eta(v)\, dv \int\limits_{n=\max}^{n=0} m_n a_n \cos(\alpha_n) dn \right) \Big/ S;$$

$$Ep = \left(\int\limits_{x=\max}^{x=0} dx \int\limits_{y=\max}^{y=0} dy \int\limits_{0}^{\infty} dz \int\limits_{0}^{\infty} \eta(v)\, dv \int\limits_{n=\max}^{n=0} m_n a_n \cos(\alpha_n) dn \right) \Big/ S \ .$$

Альтернативним практичним більш зручним в використанні способом визначення енергоефективності поверхні може бути спосіб визначення функції розподілу вектора опору $\overrightarrow{a_{eff}}$ [7].

Структурно поверхні з підвищеною ефективністю можуть мати форму складного багатовимірного рельєфу. Структура поверхні розраховується з врахуванням оптимального розподілу векторів швидкості руху середовища по поверхні з метою отримання оптимальної швидкості і заданого або змінного вектору розподілу по поверхні з врахуванням бажаного енергообміну (заданого опору, теплообміну) по поверхні [7]. Структуровані елементи поверхні можуть бути виконані у вигляді первинної шорсткості з несиметричною обробкою схилів шорсткості (задаємо кути атаки схилів, вершин та заглиблень), структурованих вершин зі зміщеною віссю симетрії з врахуванням геометрії схилів та заглиблень з наступною комбінацією їх у локалізації і масиви в залежності від заданих вихідних параметрів. Такі ж комбінації можна застосовувати для структурованих заглиблень зі зміщеною віссю симетрії (асиметричних) з контрольованою геометрією схилів, а також з інших гібридних сполучень. Можливі комбінації вищеперерахованих способів.

Використання даного способу розрахунку і створення структуризації поверхневої геометрії нано-, мікро-, макрорівня на основі загальної геометрії робочих поверхонь дозволяє поліпшити експлуатаційні характеристики техніки і продовжити термін експлуатації [7] рис. 13. Даний спосіб дозволяє розподіляти найбільш ефективно контактні поверхневі навантаження в трибосистемі і являється перспективним для використання в якості компактних рушійних, перекачувальних, дозувальних систем [10].

Рис. 13 – Використання способу підвищення ефективності енергообміну робочих поверхонь в різних середовищах

Даний спосіб підвищення ефективності енергообміну робочих поверхонь і обладнання для його реалізації пропонується для впровадження і використання в виробництві.

Висновки

1. Результати випробувань показують зменшення коефіцієнта тертя в заданому діапазоні швидкостей при використанні структуризації поверхневої геометрії нано-, мікро-, макрорівня отриманої способом розрахунку [7] - в порівнянні з поверхнями з стандартною шорсткістю отриманою стандартними способами обробки.

2. Розглянуті варіанти розрахованої поверхневої геометрії (з заданим вектором опору) простих і складних чешуйноподібних структур, простої і складної асиметричної інтерпольованої пилоподібної (каплеподібної) структури, асиметричної інтерпольованої пилоподібної (каплеподібної) структури, простої та складної асиметричної інтерпольованої перфорованої структури, складної інтерпольованої гібридної аморфної асиметричної структури.

3. Запропоновано способи створення на робочих поверхнях структуризації з заданими розрахованими властивостями, зокрема на основі корегування осі симетрії існуючої шорсткості, та обладнання для цього.

4. Запропоновано визначення характеристики ефективності енергообміну поверхні як критерію оцінки властивостей поверхневої геометрії.

5. Запропоновано варіанти практичного використання в техніці і галузях виробництва розрахованого для відповідних умов експлуатації асиметричного поверхнево-активного структурування з векторно заданим напрямом опору.

6. Даний спосіб підвищення ефективності енергообміну робочих поверхонь і обладнання для його реалізації пропонується для впровадження і використання в виробництві.

Література

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность): учеб./ Д.Н.Гаркунов.-4-е изд. – М.: Изд-во “МСХА”, 2001. – 606 с..

2. Когаев В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П.Когаев, Ю.Н.Дроздов. – М:Высш.шк., 1991. – 309 с.

3. United States Patent (Jun.14,1988). Patent Number: 4,750,693. Device for reducing the frictional drag of moving bodies.

4. United States Patent (Mar.13,1990). Patent Number: 4,907,765. Wall with a drag reducing surface and method for making such a wall.

5. International Patent Classification: F15D 1/06 (2006.01) F15D 1/12 (2006.01), International Publication Number WO 2010/060042 A1. A passive drag modification system.

6. Deutsches Patent DE 101 61 732 A 1.

7. Горенко М.В. Спосіб формування елементів структур поверхневої шорсткості з заданими геометричними параметрами схилів каналів, вершин та об’ємів, а також асиметричних і чешуйноподібних поверхнево-активних структур з векторно заданим напрямом опору середовищу для підвищення ефективності енергообміну робочих поверхонь в різних середовищах. // Авторське свідоцтво №62084, Офіційний бюлетень авторське право та суміжні права. – 2016. Каталог №19, бюлетень №39.

8. Горенко М.В. Про можливість формування заданого профілю контактних поверхонь // Проблеми трибології. – 2011. – № 2. – С. 13-16.

9. Горенко М.В. Проблема усунення вібрацій при формуванні мікро- та наношорсткості трибо ефективних поверхонь для підвищення прецизійності обробки // Проблеми трибології. – 2011. – №3. – С. 65-69.

10. Горенко М.В. Двигун, пристрій який створює рушійну силу за рахунок взаємодії робочої речовини з робочою чи робочими поверхнями на яких сформовано заданим способом (асиметричну) нано-, мікро-, макроструктуризацію з заданим вектором опору // Авторське свідоцтво №64545, Офіційний бюлетень авторське право та суміжні права. – 2016. Каталог №20, бюлетень №40.

Поступила в редакцію 23.03.2016

Gorenko M.V. **Optimization of energy efficiency work surfaces with environment by creating asymmetric surface-active structures (including squamose-like) with the vector direction given resistance.**

The paper first proposed to optimize the working surface energy exchange with the environment using calculated for given conditions asymmetric elements with a given surface portions vector resistance, particularly squamose-like structural elements that unite into localization and groups, the general vector resistance given relative to the surface. The variants structures and the possibility of their creation on contact surfaces of a given profile based on a base object roughness to improve the efficiency and effectiveness tribosystems. We give a general definition of efficiency structured surface. This method of increasing the efficiency of working surfaces, equipment for its implementation is proposed for introduction and use in production.

Keywords: effective, efficacy, efficacy energyexchange, efficacy of working surfaces, efficacy of energyexchange of working surfaces, surface-active, function control (distribution) vectorial of resistance, the wear.

References

1. Garkunov D.N. Tribotexnika (iznos i beziznosnost): uzeb.-4-e izd.–M.: Izd-wo “MCXA”, 2001. 606 s..

2. Kogaev V.P., Drozdov Y.N. Proznost i iznosostoikost detalej mashin. M:Bish.hk., 1991. 309 s.

3. United States Patent (Jun.14,1988). Patent Number: 4,750,693. Device for reducing the frictional drag of moving bodies.

4. United States Patent (Mar.13,1990). Patent Number: 4,907,765. Wall with a drag reducing surface and method for making such a wall.

5. International Patent Classification: F15D 1/06 (2006.01) F15D 1/12 (2006.01), International Publication Number WO 2010/060042 A1. A passive drag modification system.

6. Deutsches Patent DE 101 61 732 A 1.

7. Gorenko M.V. The method of generating surface structure elements of roughness with given geometrical parameters of the inclinations of channels, tips and volumes, as well as asymmetrical and squamose-like surface-active structures with a given direction of environmental resistance for the enhancement of energy exchange efficiency of work surfaces in various environments. Avtorskoe svidetelstvo №62084, Ofizialnij buleten avtorskoe pravo i sumiznie prava. 2016. Katalog №19, buleten №39.

8. Gorenko M.V. About possibility of forming of the set type of contact. Problems of Tribology. 2011. №2. C.13-16.

9. Gorenko M.V. The problem of removal vibrations in the formation of micro- and nano-roughness on friction effective surfaces for increasing accuracy processing. Problems of Tribology. 2011. №3. C. 65-69.

10. Gorenko M.V. Dvigatel, ustrojstvo kotoroe sozdaet dvizuszuju silu za szet vzaimodejstvija rabozego veszestva s rabozej ili rabozimi poverxnostami na kotorix sformirovano zadanim sposobom (asimetriznuyu) nano-, mikro-, makrostrukturizaziyu s zadanim vektorom soprotivlenija. Avtorskoe svidetelstvo №64545, Ofizialnij buleten avtorskoe pravo i sumiznie prava. 2016. Katalog №20, buleten №40.