

ЗМАЩУВАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ

Анотація. Нормальні умови роботи ланцюгової передачі, її довговічність і коефіцієнт корисної дії в значній мірі визначаються організацією раціонального процесу змащування рухомих контактуючих поверхонь конструктивних елементів передачі. Подання ланцюгової передачі у вигляді систем на декількох конструктивно-технологічних рівнях та математичний опис структурних моделей дозволяє встановити зони змащування та резервування мастила (зони поповнення мастильним матеріалом) і дати їм повну характеристику. Визначення фізико-механічних, геометричних, кінематичних параметрів передачі та її конструктивних елементів вказує на напіврідинний режим мащення пар тертя. Такий режим мащення потребує уваженості у виборі способу змащування в силу значного впливу процесу змащування на надійність роботи ланцюгової передачі. Пропонується застосовувати мастильні пристосування, які реалізують аерозольне змащування; при цьому вказується необхідність забезпечення екології оточуючого середовища. Організація раціонального процесу мащення не виключає пошуку нових технічних рішень в межах існуючих передач та розробки нових конструкцій ланцюгових передач з умови вирівнювання режиму роботи всіх пар тертя як єдиної трибологічної системи.

Умовні позначення

- A_e – відносна площа кривої опорної поверхні;
- A_i – номінальна площа поверхонь;
- A_M – відносна площа вільного простору, який заповнюється мастилом;
- b_1, b_2, b_3, c – коефіцієнти апроксимації;
- e_i, e_j – елементи системи;
- F_N – навантаження (нормальна сила);
- F_T – тангенціальна сила;
- f_{TP} – коефіцієнт тертя;
- h – товщина мастильної плівки;
- i – число поверхонь;
- M_C – матриця суміжності;
- R_s – середнє арифметичне відхилення профілю поверхні;
- S_e – елементарна система;
- tr – опорна крива профілю;
- u – швидкість відносного переміщення пар тертя;
- V_{min} – мінімальний об'єм мастила в зоні контактуючих поверхонь;
- V_e – властивості елементів системи;
- Z – зв'язки між елементами системи;
- ε – величина відносного зближення поверхонь тертя;
- η – динамічна в'язкість мастила;
- η/F_N – характеристика режиму роботи;
- v – показник степеневої апроксимації;
- ψ – частка мастильної плівки в зоні контакту;
- Λ – параметр мащення.

Довговічність ланцюгових передач залежить від багатьох факторів [1,2,3], одним з яких є забезпечення раціонального режиму роботи рухомих контактуючих поверхонь конструктивних елементів передачі, що досягається завдяки знаходженню мастила в зоні тертя.

Забезпечення формування мастильної плівки в зоні контакту, яка повністю розділяє поверхні тертя передачі, є досить важким. Це викликано конструктивним виконанням ланцюгової передачі (високий ступінь закритості зон тертя ускладнює доступ мастила і його рівномірний розподіл в цій зоні) та характером її роботи (суттєві

навантаження в зоні контакту поверхонь при незначній відносній швидкості їх руху не дозволяють сформувати повноцінну еластогідродинамічну плівку; переміщення вузлів тертя в просторі під час роботи передачі тощо). Це вказує на необхідність розробки моделі змащування поверхонь тертя конструктивних елементів передачі, що дозволить приймати обґрунтовані конструктивні рішення ланцюгових передач для забезпечення раціональних умов їх експлуатації.

Ланцюгова передача як система. Для трибологічного аналізу роботи ланцюгової передачі вибрано її роликово-втулковий тип. Це зумовлено наявністю в роликово-втулковому ланцюзі максимальної кількості рухомих контактуючих поверхонь (наприклад, порівняно з втулковим ланцюгом). Ланцюгові передачі з роликово-втулковим ланцюгом (рис. 1) подано у вигляді системи, що відображає взаємодію

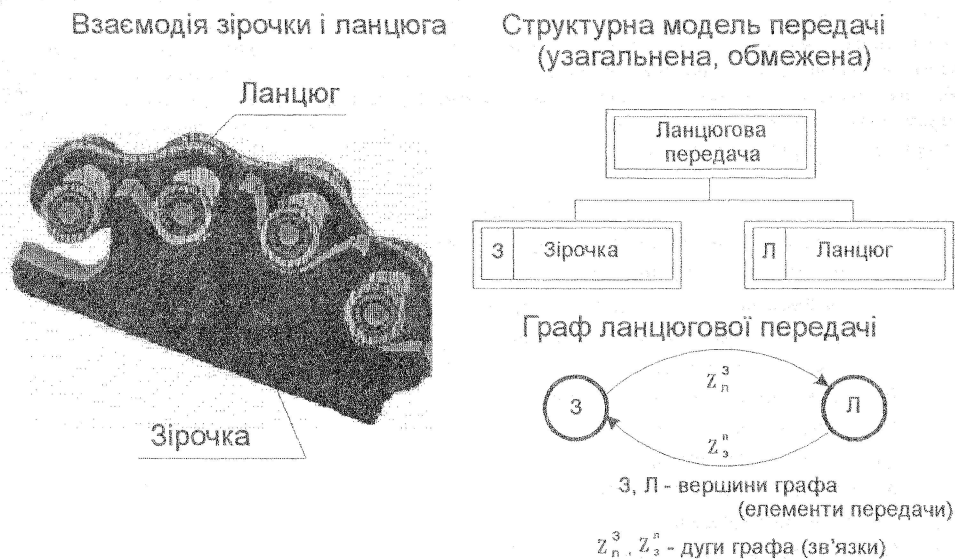


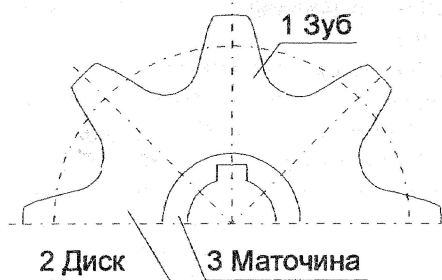
Рисунок 1 - Втулково-роликова ланцюгова передача

ланцюга і зірочки на верхньому ієрархічному рівні. Таке обмежене системне подання ланцюгової передачі (не включені пристосування натягу, вали і з'єднувальні елементи, захисні пристосування) викликане вивченням і дослідженням зон тертя і змащування передачі. При конструктивній розробці ланцюгової передачі або пристосувань натягу чи інших її конструктивних компонент таке припущення є недопустимим.

Системне представлення конструкцій зірочки (рис.2) і ланцюга (рис.3) та їх опис структурними моделями із врахуванням загальної моделі (рис.1) дозволяє встановити зони тертя і резервування мастила, їх розташування і зміну в просторі, а також геометричні і кінематичні параметри конструктивних складових.

Зони тертя ланцюгової передачі включають дві групи, одна з яких відображає взаємодію контактуючих поверхонь зуба зірочки і ролика ланцюга, а інша - внутрішню взаємодію конструктивних елементів ланцюга. Моделювання взаємодії поверхонь тертя у вигляді графів (рис.4) дозволяє визначитись і дати характеристику видах контактів, що мають місце в процесі роботи передачі: циліндр - площина, циліндр - циліндр (зовнішній і внутрішній контакти), площина - площина, а також у видах тертя:

Конструкція зірочки



Структурна модель зірочки

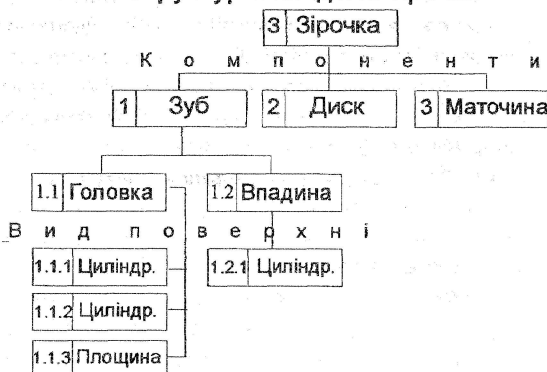


Рисунок 2 - Зірочка: конструкція та структурна модель (фрагмент)

ковзання, кочення, ковзання/кочення. Граф змашування конструктивних елементів зірочки - ланцюг є об'єднувальним, який одночасно відображає взаємодію всіх зубів зірочки і ланок ланцюга. Встановлення вагомості зв'язків (рис.4) дозволяє створювати складніші або прості моделі, які в подальшому використовуються при проектуванні нових видів ланцюгових передач, а також їх експлуатації. Для визначення характеру взаємодії поверхонь тертя їх контакт подано у вигляді елементарної системи.

Елементарна система пари тертя. Ланцюгова передача на найнижчому конструктивно-технологічному ієрархічному рівні, коли конструктивні елементи системи складають пару взаємодіючих поверхонь, що знаходяться у відносному русі, представляються елементарною системою (рис. 5). Така система є трибологічною моделлю [4].

Елементарна система Se задається її елементами Ee , їх властивостями Ve і відношеннями (зв'язками Ze) між елементами. Формально елементарна система описується множиною $Se = \{Ee, Ve, Ze\}$. Структура системи включає чотири елементи: $Ee = \{e1, ..., ei, ej, ..., e4\}$ "Albertus (WE)" 12; $e1, e2$ - тверде деформуюче тіло; $e3$ - мастильний матеріал, який знаходиться між контактуючими поверхнями; $e4$ - оточуюче середовище (повітря) в зоні контакту.

Властивості елементів $Ve = \{v(ei)\}$ характеризують систему і впливають на її поведінку. Детальний опис змін властивостей елементів дозволяє оцінювати стан системи в кожний момент часу. Труднощі в описі властивостей полягають в тому, що навіть на елементарному рівні система побудована на взаємодії трьох різнорідних фізичних тіл (тверде тіло, рідина, газ).

Властивості елементів $v(e1)$ і $v(e2)$ включають характеристики контактуючих поверхонь, фізику і хімію елементів, механічні параметри. Характеристика поверхонь - це їх топографія (форма, хвилястість, шорсткість, крива розподілу профілю, автокореляційна функція профілю та інші статистичні параметри поверхні) і склад поверхні (забруднення, фізично-адсорбовані шари, хімічно-адсорбовані шари, плівки окислів, механічно зміцнюючі шари). До хімічних параметрів відносяться хімічний склад і внутрішня структура матеріалу конструктивних елементів. Фізико-механічні властивості елементів $e1$ і $e2$ включають такі параметри твердих матеріалів: модуль пружності, твердість, густина, теплопровідність тощо.

Властивості мастила (елемент $e3$) включають вид мастила (рідинне, пластичне), його в'язкість в залежності від температури і тиску та хімічний склад, а також зміни, що відбуваються в мастилі в процесі експлуатації.

Властивості оточуючого середовища (елемент e_4), основою якого є повітря, включають його кількісний склад, фізико-хімічні параметри, а також окремих складових, таких як пари води, тверді частинки тощо.

Взаємодія між елементами системи характеризується відношеннями (зв'язками) $Z=\{z(e_i, e_j)\}$. Зв'язки між елементами включають взаємодії тіл різної фізичної природи і різноманітних фізичних процесів: тверде тіло - тверде тіло (Z^1_2, Z^2_1); тверде тіло - рідина ($Z^1_3, Z^3_1; Z^2_3, Z^3_2$); рідина - повітря (Z^3_4, Z^4_3); повітря - тверде тіло (Z^4_1, Z^4_2).

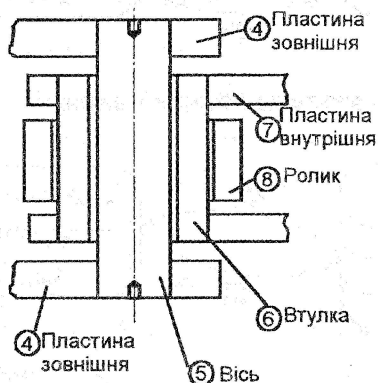
Основою системи є взаємодія трьох елементів (тверде тіло - мастило - тверде тіло), що визначає механіку контакту, мащення, тертя і зношення. Механіка контакту включає контактні сили (нормальні F_N і тангенціальні F_T), види деформацій (пружна, пластична, пружно-пластична) із врахуванням знаходження мастила в зоні контакту, номінальну і реальну площі контакту. Фізика і хімія контакту включають вандерваальсові сили, металевий зв'язок, вплив поверхневих плівок тощо. Розділення контакту приводить до проковзування на поверхні розділу, утворення пружних хвиль, пружне відновлення, перенесення матеріалу, що налипає на поверхні. Контакт здійснюється при відносному русі поверхонь. Результат взаємодії при русі супроводжується тертям, що приводить до змін поверхонь (як результат їх зношення) і мастила. Крім процесів тертя і зношування між елементами e_1 і e_2 в системі мають місце процеси дифузії (Z^4_3) і випаровування (Z^3_4) між елементами e_3 і e_4 та адсорбції між елементами e_4 і e_1, e_2 (Z^4_1, Z^4_2).

Характеристика режимів мащення рухомих контактуючих поверхонь. На всі процеси, що мають місце в елементарній моделі пар тертя, значний вплив має мастильний матеріал. Основне призначення мастила, як відомо [5,6,7] - це розділення рухомих контактуючих поверхонь елементів e_1 і e_2 одна від іншої плівкою матеріалу, який здатний піддаватись зсуву з малим опором без будь-яких пошкоджень цих поверхонь. Товщина плівки мастила (від 100 до 0,01 мкм) в залежності від розподілу висот мікронерівностей і ступеня геометричного прилягання поверхонь мащення визначає три режими мащення: еластогідродинамічне, змішане (напіврідинне) і граничне (рис.6). Отримання плівки заданої товщини визначається видом матеріалу мастила (в'язкістю η в залежності від температури) і режимом роботи рухомих поверхонь (швидкість U відносного переміщення пар тертя і нормального навантаження F_N).

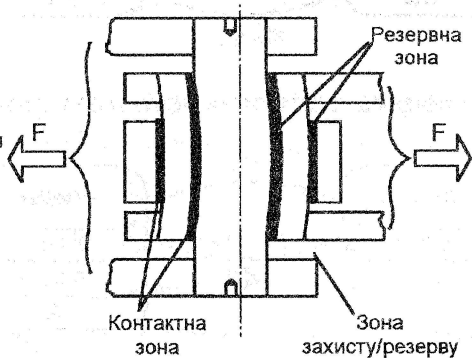
Теоретичний і експлуатаційний [2,3] аналізи роботи ланцюгових передач показує, що конструктивні елементи вузлів тертя працюють в режимах напіврідинного мащення (при достатній кількості мастила в зоні тертя і належному ущільненні) та граничного (для передач, які працюють в умовах механіко-хімічного активного середовища і недостатнього об'єму мастила на поверхнях тертя). Напіврідинний режим мащення характеризується частковим контактом мікронерівностей, а отже, величина тертя складається з опору зсуву плівки мастила і часткової взаємодії нерівностей твердих поверхонь. При такому режимі мащення можливі всі механізми зношування (поверхневе, абразивне, адгезійне і корозійно-механічне втомлення). Забезпечення еластогідродинамічного (ЕГД) режиму мащення контактуючих поверхонь обмежується як кінематичними параметрами роботи ланцюгової передачі, так і фізико-хімічним станом мастила. Хоча лінійна швидкість переміщення ланцюга є значною і досягає навіть 40...50 м/с, відносна швидкість U руху контактуючих поверхонь (зуб-ролик, втулка-вісь тощо) є не такою вагомою (~ 1 м/с) у створенні еластогідродинамічної плівки. Використання ж мастила високої в'язкості стримується конструктивним виконанням ланок ланцюга (ускладнений доступ мастила до поверхонь тертя).

Деформаційна картина ланок ланцюга

Ланка ланцюга
у вільному стані



Ланка ланцюга
в робочому навантаженні



Структурна модель ланки ланцюга

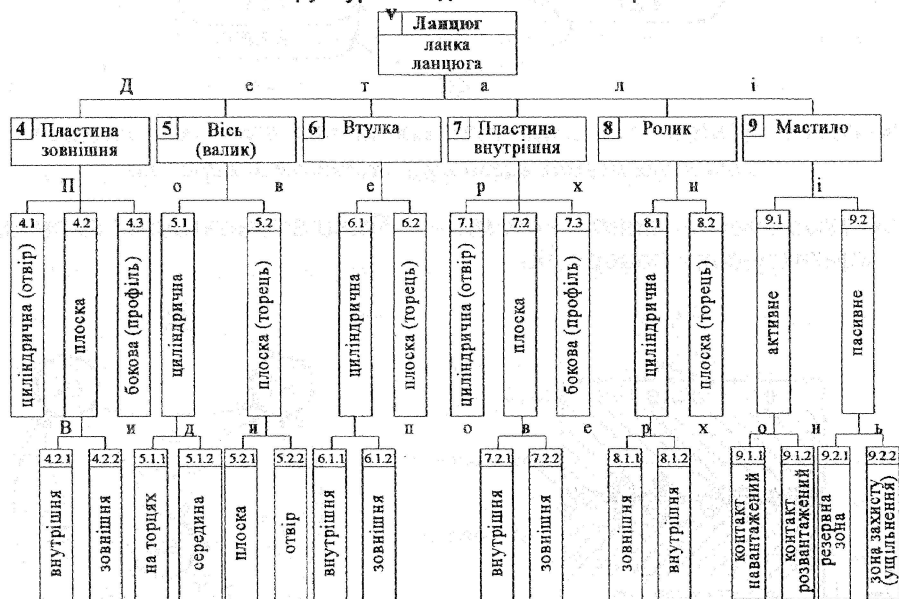
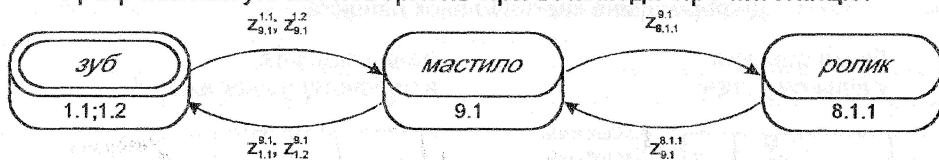


Рисунок 3 - Ланцюгова ланка: конструкція та структурна модель (фрагмент)

Граф контактуючих поверхонь при взаємодії зірочка-ланцюг



Граф контактуючих поверхонь при взаємодії ланок ланцюга

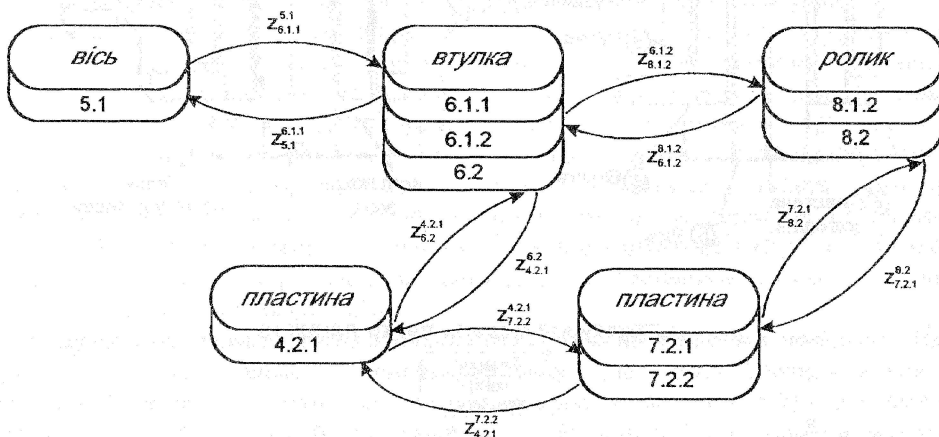
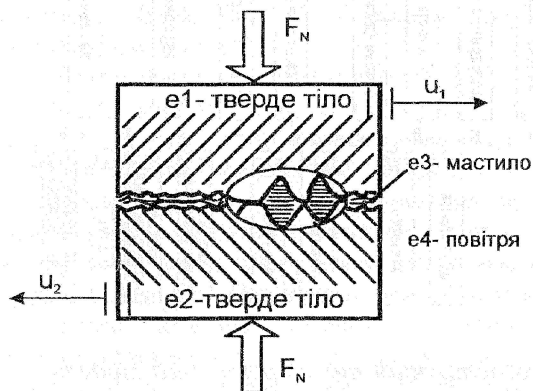
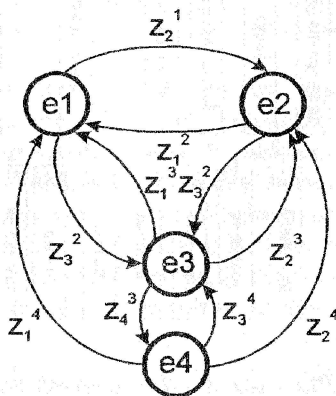


Рисунок 4 - Моделі взаємодії рухомих контактуючих поверхонь конструктивних елементів ланцюгової передачі

Структура елементарної системи контактуючих поверхонь



Граф елементарної системи



Опис елементарної системи

Структура

$$S_e = \{E_e, V_e, Z_e\}$$

Елементи

$$E_e = \{e_i\}; i = \overline{1,4}$$

Властивості

$$V_e = \{v(e_i)\}$$

Зв'язки

$$Z_e = \{z(e_i, e_j)\}$$

Матриця
суміжності

$$M_c = \begin{matrix} & \begin{matrix} e1 & e2 & e3 & e4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} e1 \\ e2 \\ e3 \\ e4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Рисунок 5 - Елементарна система контактуючих поверхонь: структура та опис

Витрати мастила. Забезпечення заданого режиму роботи (напіврідинне мащення) пар тертя ланцюгової передачі здійснюється об'ємом мастила, який забезпечує не тільки формування мастильної плівки в зоні контакту, яка розділяє елементи e_1 і e_2 , але й об'ємом мастила, який поповнює оточуючу поверхню зони тертя (резервної зони).

Необхідна величина об'єму мастила в зоні тертя визначається макро- і мікрогеометричними параметрами контактуючих поверхонь. Це та кількість мастила, що заповнює проміжки між мікронерівностями R_a поверхонь (рис.7). Відносна площа простору A_m , що заповнюється мастилом, подана через опорну криву профілю $tr(\epsilon)$, апроксимовану трьома складовими (рис.7). При заданій мікрогеометрії контактуючих поверхонь надійні умови роботи пар тертя ланок передачі настають за умови, коли об'єм мастильного шару більший або дорівнює об'єму, що заповнює мікронерівності.

В контакті поверхонь пар тертя відбуваються постійні зміни, викликані пружними деформаціями, що приводить до змін у верхній частині ділянки опорної поверхні (рис.7), а саме: зменшення відносної площі вільного простору між мікронерівностями. Тому визначений мінімальний об'єм мастила в зоні контакту можна вважати номінальним, тобто достатнім для забезпечення надійної роботи вузла тертя. Враховуючи, що в процесі роботи мають місце неперервні втрати мастила задані витрати реалізуються різноманітними пристосуваннями подачі мастила в зону тертя.

Мастильні пристосування. Різноманітні способи змащування ланцюгових передач [2,3,5,7] поділяються на періодичні і неперервні. Періодичне змащування не є ефективним (нерівномірність в змащуванні всіх ланок ланцюга, значні витрати мастила, значні затрати на обробку ланцюга в термічній масляній ванні тощо), а тому застосовується, як правило, у другорядних ланцюгових передачах і при незначних швидкостях ланцюга. Неперервне змащування (зануренням, крапельне, розбризкуванням, струменеве, аерозольне) реалізується відповідними пристосуваннями [5], які забезпечують поповнення мастила в зонах тертя. Труднощі полягають як в організації заданого об'єму мастила, так і в транспортуванні та нанесенні мастила на контактуючі поверхні. Найраціональнішими є мастильні пристосування, які реалізують аерозольний спосіб змащування (змащування масляним туманом). При цьому формуються дрібні частинки мастила, які знаходяться в підвішеному стані у повітрі і створюють масляний туман, здатний проникати у всі зазори ланок ланцюга та осідати на поверхні зубів зірочки.

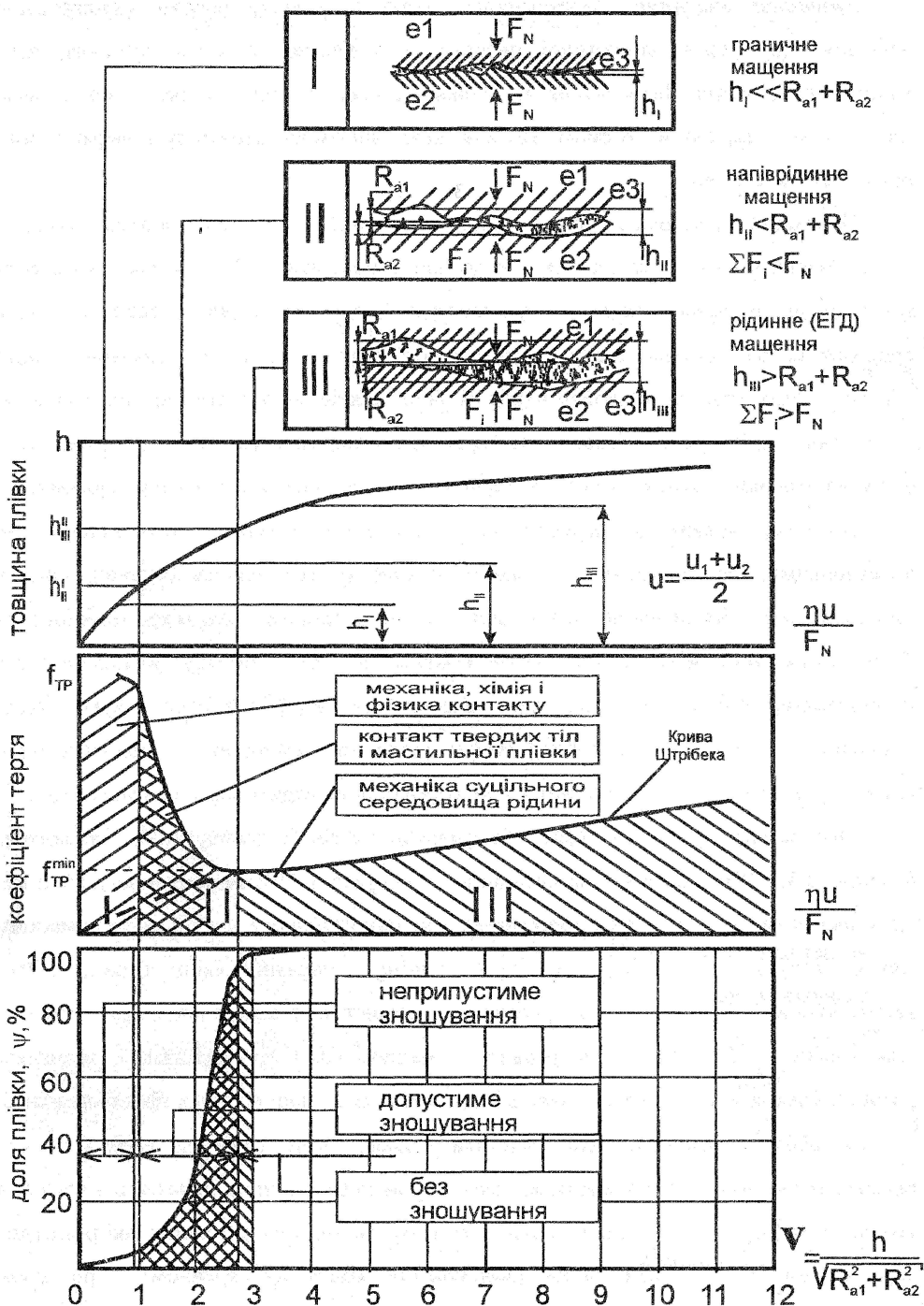


Рисунок 6 - Характеристика режимів мащення пар тертя

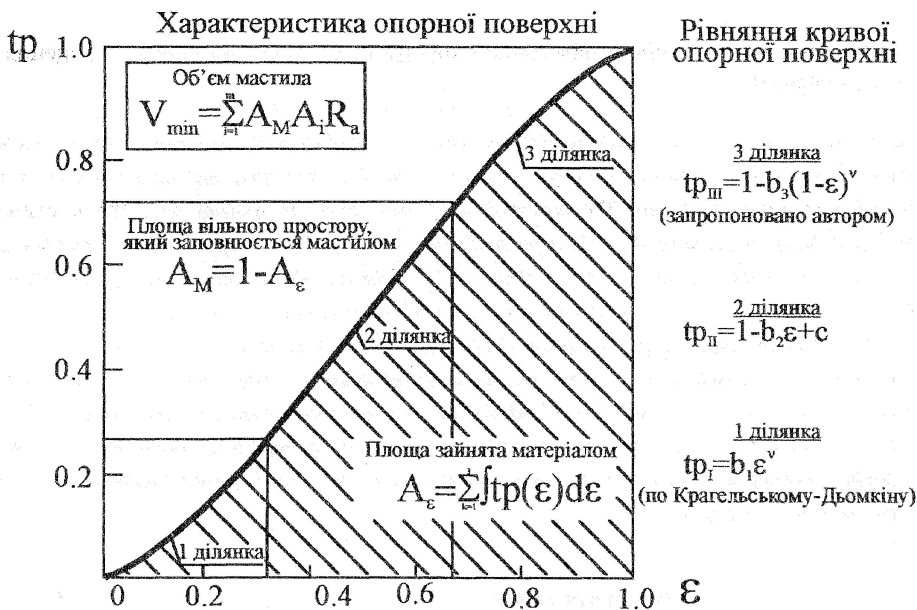


Рисунок 7 - Моделювання накопичення мастила на поверхнях зон тертя

Надійність нанесення мастильної плівки на контактуючі поверхні зуб (зірочка) - ролик (ланцюг) є досить високою, а її організація в контакті вісь - втулка є низькою. Тому виникає необхідність прийняття нових конструктивних рішень як в межах даного типу ланцюга (наприклад, створення додаткових вікон у втулці для покращення проникнення мастила в зону тертя), так і перехід до нових видів ланцюгів [8], які вирівнюють режим роботи всіх пар тертя ланцюгової передачі, як єдиної триботехнічної системи.

Висновки.

1. Подання ланцюгової передачі у вигляді системи, а її опис структурними моделями дозволяє встановити пари тертя і дати їм повну характеристику: розташування у просторі в кожний момент часу, геометричні, фізико-механічні і кінематичні параметри.

2. Ланцюгова передача на найнижчому конструкторно-технологічному рівні подана у вигляді елементарної системи пари тертя. Структура системи включає чотири елементи: дві контактуючі поверхні, мастило та оточуюче середовище. Взаємодія трьох елементів тверде тіло - мастило - тверде тіло є основою для опису процесу змащування контактуючих поверхонь і оцінки впливу на цей процес інших факторів.

3. Аналіз роботи конструктивних елементів ланцюгової передачі і режимів мащення рухомих контактуючих поверхонь дозволяє встановити, що пари тертя працюють в режимі напіввідинного мащення; це вказує на суттєвий вплив процесу змащування на ККД і довговічність ланцюгових передач.

4. Організація процесу змащування ланок ланцюгової передачі здійснюється різноманітними способами і реалізується відповідними мастильними пристосуваннями. Найраціональнішим є аерозольне змащування, але при цьому має місце забруднення оточуючого середовища масляним туманом, що вказує на необхідність використання відповідних засобів регенерації мастила.

5. Підвищення надійності процесу змащування можливе завдяки новим конструктивним рішенням як в межах відомих, так і в створенні нових ланцюгових

передач, при цьому необхідно забезпечити однаково раціональний режим мащення всіх пар тертя передач.

Summary. Normal working conditions of chain-drive, it's longevity and coefficient of effective action is considerably determined by the rational lubrication process organization of moving contacting surfaces of the transmission constructive elements. The presentation of chain-drive as systems on different constructive-technological levels and mathematical description of structural models give opportunity to depict lubrication and oil reserving zones (the zones of oil refilling) and to make it's whole characteristics. The definition of physical-mechanical, geometrical, kinematic parameters of the drive and it's constructive elements points to semifluid lubrication regime of friction pairs. Such regime needs deliberation in the choice of lubrication method because of considerable influence on the work reliability of chain-drive. It is proposed to use lubrication equipment which realize aerosol lubrication; it's denoted that environmental ecology should be kept. The rational lubrication process organization does not exclude the search for new technical decisions in the bounds of existing drives and design of new drives granting the regime of work alignment of all friction pairs as one tribological system.

Перелік посилань

1. Зубченко І.І., Дубиняк С.А., Рибак В.Є. Кінематика і динаміка ланцюгових передач. - Львів: ЛДУ, 1972. - 124 с.
2. Глушенко І.П., Петрик А.А. Цепные передачи. - К: Техніка, 1973. - 104 с.
3. Готовцев А.А., Котенок І.П. Проектирование цепных передач. - М.: Машгис, 1982. - 336 с.
4. Чихос Х. Системний аналіз в трибоніке. - М.: Мир, 1982. - 353 с.
5. Попов В.Л., Сидоров В.П., Кононов В.А. О возможностях автоматизации смазки шарниров тяговых цепей машин непрерывного транспорта/ В сб.: Цепные передачи и приводы.- Краснодар: КПИ, 1983.- С.66-71
6. Jerabek K. Tribologicke procesy v kloubech retezů//Strojirenstvi. - 1987. - V.37. - N6/7. - P.367-369
7. Роликовые передачи общемашиностроительного применения: Расчет нагрузочной способности.- Москва-Краснодар:ВНИИНИ, 1990.-51 с.
8. Патент України UA 10872 А F 16 G 13/02. Приводний відкритошарнірний ланцюг/ Кривий П.Д., Горлій Є.І., Рурак В.М., Хлопецький Я.Є.- № 94062565; Заявл. 24.06.94. Бюл. №4.-4с.

Стаття представлена професором Рибак Т.І.

УДК. 621. 914. 1

Г. Виговський

(Житомирський інженерно-технологічний інститут, м.Житомир)

СИЛИ РІЗАННЯ ПРИ ОБРОБЦІ ТОРЦЕВИМИ ФРЕЗАМИ КОСОКУТНОГО РІЗАННЯ

Анотація. Розглянуто питання розрахунку сил різання, що виникають при роботі торцевими фрезами косокутного різання.

Вища продуктивність чистового торцевого фрезерування обумовила створення великої кількості конструкцій торцевих фрез, оснащених надтвердими матеріалами (НТМ).

При створенні конструкцій торцевих фрез часто не враховуються особливості фінішної обробки - різання з малими товщинами зрізу, незадовільно вирішуються