

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОДІЛЛЯ  
(м. Хмельницький)

МАНЗЮК ЕДУАРД АНДРІЙОВИЧ

УДК 621.822

**ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЦИЛІНДРИЧНИХ  
КІНЕМАТИЧНИХ ПАР З РОЗРИВАМИ ПОВЕРХОНЬ  
У РОТАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ**

Спеціальність: 05. 02. 02 - Машинознавство

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Хмельницький – 2003

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Технологічному університеті Поділля (м. Хмельницький) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук,  
професор Костогриз Сергій Григорович,  
Технологічний університет Поділля,  
проректор з навчальної роботи.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
професор Ройзман Вілен Петрович,  
Технологічний університет Поділля,  
завідувач кафедри прикладної механіки;

кандидат технічних наук,  
доцент Дубинець Олександр Іванович  
Національний технічний університет  
“Київський політехнічний інститут”,  
завідувач кафедри технічної механіки.

Провідна установа: Національний університет „Львівська політехніка”  
Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

Захист відбудеться “12” грудня 2003 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 70.052.02 при Технологічному університеті Поділля за адресою: 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11, 3-й учбовий корпус.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Технологічного університету Поділля за адресою: м. Хмельницький, вул. Кам’янецька 110/1.

Автореферат розісланий “10” листопада 2003 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
доктор технічних наук, професор

Калда Г.С.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Експлуатація циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах виявляє незначну довговічність їх роботи у порівнянні з іншими конструктивними елементами. Такі кінематичні пари знайшли використання у механізмах загального призначення, об'ємних насосах та гідравлічних двигунах, роторних системах, спряженнях ряду машин та обладнання і зокрема в швейних машинах. Аналіз експлуатаційної надійності значної кількості кінематичних пар виявив, що у більшості випадків відмови обумовлені втратою їх працездатності за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості. З огляду на це, а також враховуючи те, що сфера практичного використання циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь досить широка, питання забезпечення працездатності кінематичних пар з розривами поверхонь за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості є актуальною проблемою. Застосування відомих методів підвищення працездатності таких кінематичних пар не завжди ефективне. Незважаючи на те, що цій проблемі приділяли увагу ряд дослідників, вона в повній мірі ще не вирішена.

У зв'язку з цим постає питання з забезпечення працездатності кінематичних пар з розривами поверхонь шляхом направленою впливу на механіку взаємодії їх елементів і механіку трибопроцесів при швидкісних режимах роботи та динамічних навантаженнях. Актуальність роботи в цьому напрямку визначається тим, що проблема забезпечення працездатності кінематичних пар з розривами поверхонь досліджена недостатньо і потребує нових підходів для її вирішення. За об'єкт дослідження необхідно вибрати типового представника кінематичних пар з розривами поверхонь їх елементів, що працюють при швидкісних режимах та динамічних навантаженнях. Результати досліджень повинні бути використані до усього загалу такого класу кінематичних пар.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Робота виконувалась згідно із затвердженою науковою програмою діяльності Технологічного університету Поділля (м. Хмельницький) "Розробка навчально-методичного комплексу для активізації навчально-пізнавальної діяльності студентів з курсу теорії машин та механізмів", № 0197U016019, 1997р., а також відповідає пріоритетному напрямку "Ресурсозберігаючі та енергоефективні технології машинобудування" вказаним в Постанові Кабінету Міністрів України № 1716 від 24.12.2001р. "Про затвердження переліку державних наукових і науково-технічних програм з пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки на 2002-2006 роки".

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає у розробці методів підвищення працездатності циліндричних кінематичних пар з

розривами поверхонь у ротаційних системах за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості шляхом направлено впливу на механіку взаємодії їх елементів і обґрунтування таких конструкційних та триботехнічних параметрів, які дозволяють зменшити віброударну активність та зношування елементів пар тертя.

Цій меті підпорядковані такі завдання:

- виявлення і систематизація основних причин втрати працездатності циліндричними кінематичними парами з розривами поверхонь у ротаційних системах та визначення основних напрямків її підвищення;
- визначення основних залежностей та співвідношень для механіки безударної взаємодії елементів кінематичних пар з розривами поверхонь;
- встановлення та обґрунтування умов, при яких було б неможливе перекриття поверхонь ковзання конструкційних елементів спряження;
- обґрунтування умов і визначення основних критеріїв та параметрів, які повинні бути покладені в основу направлено впливу на механіку взаємодії елементів кінематичних пар з розривами поверхонь для зменшення віброударної активності;
- розробка методу дибалансної синхронізації механічної взаємодії елементів циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь;
- проведення експериментальних досліджень механіки взаємодії елементів кінематичних пар та швидкісної характеристики коефіцієнта тертя і визначення її впливу на процеси тертя та зношування спряження;
- розробка методики оцінки ресурсу циліндричних кінематичних пар з врахуванням кінетики зміни контактних параметрів, деформаційних властивостей поверхневих шарів;
- розробка методик експериментальних досліджень та відповідного комплексу установок і обладнання;
- проведення експериментальних досліджень для підтвердження адекватності математичних моделей реальним процесам;
- розробка пакету прикладних програм для розрахунку параметрів зношування та ресурсу роботи циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь;
- удосконалення існуючих та розробка принципово нових конструкцій кінематичних пар з розривами поверхонь, які мають підвищену працездатність за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості.

*Предметом досліджень є працездатність циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості.*

*Об'єктом дослідження є кінематична пара - швейний гачок-шпулетримач ротаційного човникового комплекту швейної машини з горизонтальною всією обертання.*

*Методи дослідження.* Основними методами дослідження, які використовувались в роботі, є аналітичні методи, які ґрунтуються на класичних положеннях теоретичної механіки, машинознавства, теорії синхронізації динамічних систем, трибології, прикладної і обчислювальної математики, математичної статистики; експериментальні методи із застосуванням оригінального устаткування.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає в тому, що

- обґрунтований новий спосіб направленої впливу на механіку взаємодії елементів циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах, що полягає у дибалансній синхронізації роботи елементів спряження при швидкісних режимах роботи для зменшення віброударної активності елементів кінематичних пар;

- встановлено, що безударну взаємодію елементів спряження (на прикладі човникового комплексу) визначає розподіл мас у човниковому комплексі, як механічній системі, а також такі геометричні параметри човникового комплексу, як кути розриву, радіуси поверхонь спряження та відносне розташування установочного пальця;

- виявлені умови та встановлені аналітичні співвідношення, при яких відбувається безударна взаємодія елементів кінематичних пар;

- згідно з проведеними дослідженнями дибалансної синхронізації взаємодії елементів спряження з розривами поверхонь встановлено, що для уникнення ударних навантажень на границях розривів, центр мас обертового елемента повинен знаходитись у протифазі до точки удару при дорезонансних режимах роботи по відношенню до поперечних коливань вала, та синфазно у зарезонансних режимах;

- визначені швидкісні параметри трибохарактеристик робочих поверхонь, при яких зношування елементів кінематичної пари перебуває у допустимих межах, що відповідають основним режимам роботи спряження;

- встановлено, що найбільш суттєвий вплив на процеси зношування циліндричних кінематичних пар та ресурс роботи визначають умови початкового контактування елементів кінематичних пар та кінетична залежність коефіцієнта тертя елементів спряження від швидкості їх відносного проковзування;

- розроблений комплекс установок та обладнання для експериментального визначення швидкісних характеристик коефіцієнта тертя і дослідження дибалансної синхронізації взаємодії елементів циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь.

**Практичне значення одержаних результатів.**

Виявлені закономірності взаємодії циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах показали можливість направленої впливу на механіку їх взаємодії для підвищення працездатності. Встановлено, що застосування способу дибалансної синхронізації взаємодії елементів

кінематичних пар дозволяє уникнути особливо небажаного перекриття поверхонь тертя.

Здійснення направлено впливу на основні геометричні критерії та параметри, і, насамперед такі, як центральні кути розриву поверхонь та співвідношення між ними, величини конструкційних зазорів, радіуси поверхонь контакту, вплив на які, поряд із дибалансною синхронізацією елементів кінематичних пар, дозволяє забезпечити безударну взаємодію елементів спряження і на цій основі забезпечити умови, при яких зношування поверхонь пар тертя суттєво зменшується. Використання способу дибалансної синхронізації дозволяє (на прикладі човникового комплекту) зменшити віброударну активність у 5÷7 разів.

Розроблені рекомендації як для етапу проектування так і експлуатації щодо забезпечення безударної взаємодії елементів циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь, впровадження яких не вимагає значних витрат.

Розроблена методика розрахунку ресурсу елементів кінематичних пар. Отримані залежності та співвідношення взаємодії елементів спряження дозволяють прогнозувати їх зношування при різних швидкісних режимах роботи човникового комплекту. Направлений вплив на ресурс роботи спряження та величину лінійного зношування здійснюється шляхом встановлення таких параметрів, як радіальний зазор у спряженні, величина кутів розриву поверхонь, радіуси поверхонь контакту, триботехнічні характеристики матеріалів елементів кінематичної пари. Практичне використання розробленої методики дозволяє підвищити очікуваний ресурс роботи спряження у 2÷3 рази.

Розроблений комплекс прикладних програм для розрахунку ресурсу роботи спряження, який ґрунтується на модульному принципі програмування. Структура програмного забезпечення дозволяє практично використовувати програмний комплекс як в цілому, так і окремі модулі та модульні групи. Це дозволяє визначити ресурс роботи спряження; кут контакту, максимальний значення контактного тиску та його розподіл в межах кута контакту у будь-який момент часу; інтенсивність зношування кожного з елементів спряження; вплив деформаційних властивостей поверхневих шарів та умов початкового контактування на розподіл контактного тиску та інше.

Розроблена нова конструкція ротаційного човникового комплекту (патент України № 40108 А, бюл. № 6 від 16.07.2001 р.) з підвищеною працездатністю, яка досягається шляхом розташування шпулетримача на пружних елементах.

Розроблена нова конструкція ротаційного човникового комплекту (одержано позитивне рішення) з підвищеною працездатністю, у якій реалізований спосіб дибалансної синхронізації елементів кінематичної пари - швейний гачок-шпулетримач.

**Особистий внесок здобувача** полягає в обґрунтованні мети роботи та у вирішенні основних завдань роботи.

Автору належать основні ідеї в розробці методики досліджень, математичних моделей, встановлення залежностей та співвідношень, які характеризують процес та параметри зношування, а також механічної взаємодії елементів циліндричної кінематичної пари з розривами поверхонь; обґрунтування та розробка методики, оригінального устаткування для експериментальних досліджень; узагальнення та формулювання основних висновків по темі роботи.

В роботах, виконаних із співавторами, особистий внесок здобувача полягає у виконанні теоретичних та експериментальних досліджень, обробці результатів досліджень, науковому обґрунтуванні отриманих результатів і формулюванні висновків.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати роботи були представлені і отримали позитивну оцінку на:

- ювілейній міжнародній науково-практичній конференції "Сучасні технології та машини" присвяченій 85-ти річчю від дня народження заслуженого діяча науки і техніки України професора Піскорського Г.А. та 30-ти річчю заснування кафедри "Машини та апарати легкої та текстильної промисловості", 8-10 жовтня 1998 року, м. Хмельницький, ТУП;

- міжнародній науково-практичній конференції "Ресурсо- та енергозберігаючі технології в легкій промисловості та сервісі", 28-30 вересня 2000 року, м. Хмельницький, ТУП;

- науковій конференції молодих учених та студентів "Наукова діяльність молоді на переломі тисячоліть", 24 – 26 квітня 2002 року м. Київ, КНУТД.

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 7 робіт, з них 6 наукових статей у фахових журналах, одержано 1 деклараційний патент України.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Основна частина дисертації викладена на 141 сторінці машинописного тексту, містить 81 рисунок, 2 таблиці, список використаних джерел з 156 найменувань та 7 додатків. Повний обсяг дисертації становить 179 сторінок.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета та основні задачі дослідження, показані наукова новизна і практичне значення роботи.

В **першому розділі** подано загальну характеристику роботи циліндричних ротаційних кінематичних пар з розривами поверхонь як складної технічної системи, аналіз результатів відомих досліджень роботи та взаємодії її основних конструкційних елементів, існуючих методів та технічних рішень, що спрямовані на підвищення працездатності елементів конструкції, мета та

конкретні завдання роботи.

Показано, що ротаційні циліндричні кінематичні пари з розривами контактних поверхонь знайшли широке використання у різноманітних галузях машинобудування. Обґрунтовано проведення подальших досліджень роботи кінематичних пар на елементи яких накладені слабкі в'язі. Це обумовлено узагальненістю використання проведених досліджень до усього класу кінематичних пар з розривами поверхонь. Для подальших досліджень використовується човниковий комплект, на один з елементів якого (шпулетримач) накладені слабкі в'язі.

Встановлено основні фактори зниження працездатності циліндричних кінематичних пар. Показано, що незалежно від застосування конструкційних та технологічних рішень працездатність вузла визначається роботою кінематичної пари з розривами поверхонь.

На основі відомих аналітичних досліджень та експлуатаційних даних узагальнені сучасні уявлення про взаємодію елементів кінематичних пар та встановлено основні напрямки підвищення їх працездатності.

Це дозволило статистично обґрунтувати та виділити основний об'єкт, вихід з ладу якого у значній мірі визначає ймовірність відмови машини – циліндричну кінематичну пару з розривами поверхонь. Показано, що надійність роботи машин та механізмів в значній мірі визначається працездатністю кінематичної пари з розривами за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості.

Аналіз існуючих методів та технічних рішень по розробці методів підвищення працездатності елементів конструкції показує, що незважаючи на значну кількість запропонованих підходів працездатність спряження залишається недостатньою.

Все це обумовило необхідність подальшого пошуку резервів для підвищення працездатності кінематичних пар за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості її елементів, використання яких у загальному комплексі уже існуючих методів та технічних рішень дозволило б зменшити віброударну активність та зношування і тим самим підвищи їх працездатність. Ці резерви слід шукати у напрямку дослідження процесів взаємодії елементів кінематичної пари та їх зношування і визначення параметрів та критеріїв, які впливають на ці процеси з метою формування бажаних умов взаємодії та зношування. Показано необхідність системних досліджень взаємодії елементів спряжень, як нестандартних кінематичних пар.

На нові цього було обґрунтовано і сформульовані мета та основні завдання роботи.

**В другому розділі** виконані теоретичні дослідження механіки взаємодії елементів циліндричної кінематичної пари з розривами контактних поверхонь. Ці дослідження базуються на розробленій моделі механічної взаємодії елементів спряження, як динамічної системи із використанням ідей та підходів, які



лежать в основі теорії синхронізації. Також розроблена математична модель, яка дозволяє визначити основні співвідношення та критерії впливу геометричних параметрів спряження на взаємодію елементів кінематичної пари. На основі розроблених моделей встановлено умови та параметри направленного впливу на механіку, що дозволяє забезпечити безударну взаємодію елементів кінематичної пари при наявності розривів поверхонь. Здійснення направленного впливу на механіку взаємодії дозволяє значно зменшити діючі навантаження на кінематичну пару і, як наслідок, підвищити віброударну стійкість її елементів. Для обґрунтування моделі механічної взаємодії визначено граничну умову (рис. 1), яка розділяє характерні режими взаємодії елементів спряження швейний гачок-шпулетримач.

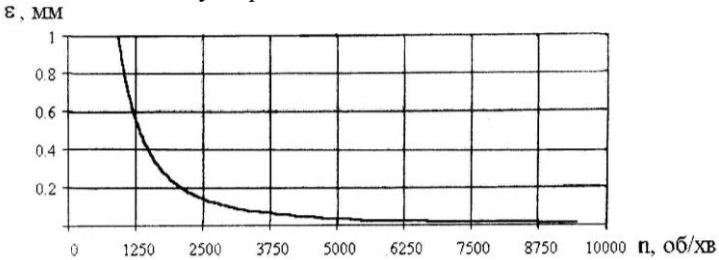


Рис. 1. Графік граничної умови забезпечення кругової траєкторії руху шпулетримача відносно швейного гачка

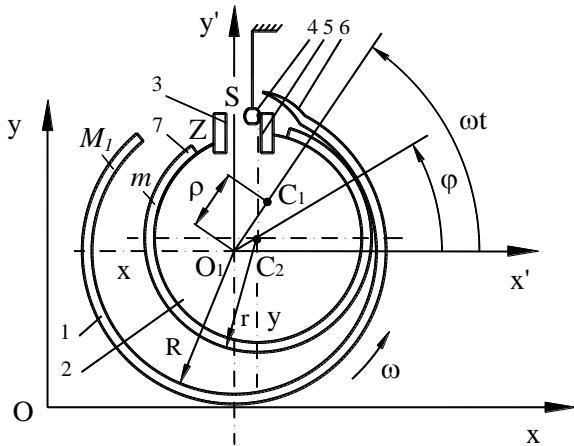


Рис. 2. Схема взаємодії елементів кінематичної пари з розривами поверхонь (швейний гачок – шпулетримач):

- 1 - швейний гачок; 2 - шпулетримач; 3 - ліва стінка паза шпулетримача;
- 4 - виступ установочного пальця; 5 - права стінка паза шпулетримача;
- 6 – носик швейного гачка; 7 - зуб обідки шпулетримача

Одним із основних критеріїв, забезпечення якого є необхідною умовою формування зазначеної моделі механічної взаємодії, є встановлення середнього значення відхилення кутової швидкості швейного гачка рівним нулю. Для визначення обґрунтованості цього припущення, на прикладі швейної машини, проведені теоретичні дослідження динаміки приводу човникового комплексу з циліндричною кінематичною парою, яка має розриви поверхонь.

Згідно цих досліджень при частоті обертання головного вала 3000 об/хв з врахуванням пружних властивостей приводу човникового комплексу відхилення кутової швидкості швейного гачка складає 0,42%.

Обґрунтовуючи математичну модель дибалансної синхронізації елементів кінематичної пари виходимо з таких припущень:

- в'язі накладені на шпулетримач є слабкими;
- центр мас шпулетримача співпадає з геометричним центром поверхні обідка;
- система рухається під дією сил неврівноваженого швейного гачка, шпулетримача, сил їх ваги а також сил тертя.

Механічна система, яка складається з неврівноваженого швейного гачка масою  $M_1$ , шпулетримача масою  $m$ . Центр мас швейного гачка, який віддалений від точки кріплення на величину  $O_1C_1 = \rho$  (рис. 2) визначає величину дибалансу системи.

Рух елементів кінематичної пари описується системою диференціальних рівнянь

$$\left. \begin{aligned} I\ddot{\varphi} + \beta_0(\dot{\varphi} - \omega) &= m\varepsilon(\ddot{x} \sin \varphi + \ddot{y} \cos \varphi + g \cos \varphi) + L(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \omega t) - R_0(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{x}, \ddot{y}); \\ M\ddot{x} + \beta \dot{x} + cx &= M\rho\omega^2 \cos \omega t + m\varepsilon(\ddot{\varphi} \sin \varphi + \dot{\varphi}^2 \cos \varphi); \\ M\ddot{y} + \beta \dot{y} + cy &= -M\rho\omega^2 \sin \omega t + m\varepsilon(\ddot{\varphi} \cos \varphi + \dot{\varphi}^2 \sin \varphi), \end{aligned} \right\} (1)$$

де  $L$  – зведені до вісі обертання обертові моменти, що спричиняють коливання;

$R_0$  - зведені до вісі обертання моменти сил опору;

$\rho$  - ексцентриситет;

$g$  - прискорення вільного падіння;

$I$  - момент інерції шпулетримача, зведений до його осі;

$$I = I_{III} + m\varepsilon^2; \quad (2)$$

$I_{III}$  - момент інерції шпулетримача відносно центра ваги;

$$M = M_1 + m; \quad (3)$$

$\beta_0$  і  $\beta$  - коефіцієнти в'язкого опору;

$c$  - жорсткість вала на згин по відношенню до сили, яка прикладена в точці  $O_1$ .

Задача дослідження зводиться до визначення фази  $\alpha_0$

вектора-ексцентриситету розташування шпулетримача відносно центра мас швейного гачка  $C_2$ . Досліджується встановлення необхідних і достатніх умов існування і стійкості синхронного руху системи у вигляді

$$\varphi = \omega t + \alpha_0 + \psi(\omega t); x = x(\omega t); y = y(\omega t), \quad (4)$$

де  $x(\omega t)$ ,  $y(\omega t)$ ,  $\psi(\omega t)$  - періодичні функції часу із періодом  $2\pi/\omega$ .

Розглянемо основний режим стаціонарного обертання, при якому середня кутова швидкість  $\dot{\varphi}_{cp}$  буде рівна за абсолютною величиною кутовій швидкості обертання вала  $\omega$ .

Для вирішення системи рівнянь (1) використаємо метод малого параметра  $\mu$ . Виразимо праву частину першого рівняння системи (1) через малий параметр

$$\mu\Phi(\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}, \ddot{x}, \ddot{y}, \omega t) = m\varepsilon(\ddot{x} \sin \varphi + \ddot{y} \cos \varphi + g \cos \varphi) + L(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \omega t) - R_0(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{x}, \ddot{y}).$$

Момент сил опору  $R_0(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{x}, \ddot{y})$  обумовлений силою тертя  $F_y$  між виступом установочного пальця і стінкою паза шпулетримача визначається за виразом

$$R_0 = F_y h_y, \quad (5)$$

де  $h_y = h_y(\varphi)$  - деяке плече сили  $F_y$ , причому  $h_y$  може залежати від кута повороту ексцентриситету  $\varepsilon$ .

Сила тертя

$$F_y = N_y f_y, \quad (6)$$

де  $N_y$  - сила тиску стінки паза шпулетримача на виступ установочного пальця;

$f_y$  - коефіцієнт тертя між стінкою паза шпулетримача і виступом установочного пальця.

Залежність сили тиску стінки паза шпулетримача на виступ установочного пальця від кута повороту швейного гачка виражається формулою

$$N_y = \frac{r}{s} \left( (m\omega^2 \varepsilon + mg \cos \varphi) f + f_y N_y |\sin(\varphi + \theta)| \right) + \frac{mg \sin \varphi}{2 \left| \cos \frac{\varphi}{2} \right|}, \quad (7)$$

де  $f$  - коефіцієнт тертя між поверхнями паза швейного гачка та обідком шпулетримача;

$\theta$  - кут контакту між швейним гачком та шпулетримачем.

Неявна форма рівняння (7) свідчить про автономний зв'язок сили тертя між виступом установочного пальця і стінкою паза шпулетримача та силою тертя між швейним гачком і шпулетримачем. Сила тертя  $F_y$  компенсується

відповідним збільшенням сили тертя  $F$ .

Так як зв'язок між силами тертя автономний, різниця моментів рівна нулю, тому

$$L(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \omega t) - R_0(\omega, \varphi, \dot{\varphi}, \ddot{x}, \ddot{y}) = 0. \quad (8)$$

Для визначення фази  $\alpha_0$  розташування вектор-ексцентриситета по відношенню до точки удару визначимо усереднену функцію  $\Phi$  за період  $2\pi/\omega$ , яку отримано з вихідної системи при значенні малого параметра  $\mu = 0$ .

Відповідно фазовий кут для стійкого синхронного руху системи

$$\alpha_0 = 0; \alpha_0 = \pi. \quad (9)$$

Для визначення умов стійкості рішень (4) визначено інтегральний критерій стійкості

$$\chi = \frac{\partial P(\alpha_0, \omega)}{\partial \alpha_0} < 0. \quad (10)$$

При виконанні протилежної умови відповідні рішення нестійкі. Отже, для формування умов синхронної взаємодії елементів кінематичної пари дибаланс (центр мас швейного гачка) у кінематичній парі слід розташовувати із забезпеченням фазового кута  $\alpha_0$  вектор-ексцентриситета по відношенню до точки співудару в залежності від співвідношень між власною частотою вільних коливань  $p$  вала, на якому розташована кінематична пара, та кутовою швидкістю вала  $\omega$ . Так за умовами роботи спряження  $\omega < p$  необхідно розташувати центр мас швейного гачка у відповідності до рис. 3, забезпечивши фазовий кут  $\alpha_0 = 0$ . За співвідношенням параметрів  $\omega > p$  центр мас розташовується згідно рис. 4, при цьому значення фазового кута становить  $\alpha_0 = \pi$ . Під час оббігання шпулетримача по поверхні паза швейного гачка помітні рухи шпулетримача проти напрямку обертання вала. Причиною таких рухів є наявність розривів поверхонь спряження. В той же час розриви є причиною ударів зуба обідка шпулетримача в поверхню паза швейного гачка (рис. 5). Під дією сили нормального тиску шпулетримач повертається навколо точки контакту шпулетримача та швейного гачка, що обумовлено наявністю розривів контуру контактних поверхонь. При цьому точка  $Z'$  зуба шпулетримача ударяється в поверхню паза швейного гачка. Це негативне явище можна уникнути, якщо реакцію удару будуть сприймати не поверхні спряження, а виступ установочного пальця і стінка паза шпулетримача.

Умова безударної роботи має вигляд

$$r\sqrt{2(1 - \cos t_2)} > h_K, \quad (11)$$

де  $t_2$  - центральний кут розриву поверхні ковзання обідка шпулетримача;

$$h_K = \overline{B'K} \text{ (див. рис. 5).}$$



Для умов роботи човникового комплексу  $t_2 = 60^\circ$ ,  $r = 14,08 \cdot 10^{-3}$  м,  $R = 14,58 \cdot 10^{-3}$  м,  $a_K = 3,2 \cdot 10^{-3}$  м,  $b_K = 1,6 \cdot 10^{-3}$  м, зазор  $\Delta$  не більше 62 мкм.

Схеми взаємодії (рис. 6, 7) є небажаними.

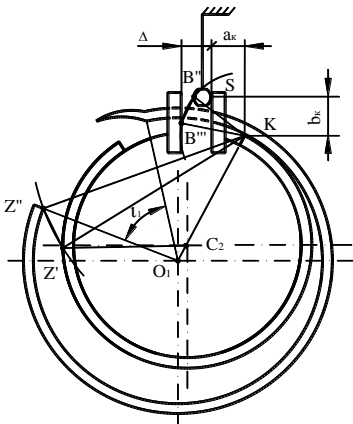


Рис. 6. Схема механічної взаємодії елементів кінематичної пари при умові  $\arcsin f < t_3 < t_1$

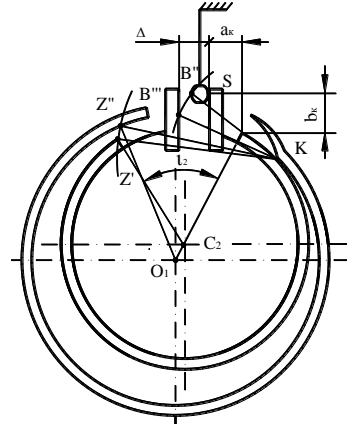


Рис. 7. Схема механічної взаємодії елементів кінематичної пари при умові  $t_2 < t_3 < \arcsin f$

Тому необхідно забезпечити значення кута  $t_3$ , що відповідає одній з умов

$$\begin{aligned} t_3 &< t_2 + \theta; \\ t_3 &> t_1 + \theta, \end{aligned} \quad (13)$$

де  $t_1$  - центральний кут розриву поверхні ковзання паза швейного гачка;

$t_3$  - кут між лінією  $O_1C_1$ , і правою стороною поверхонь, які утворюють кут розриву паза швейного гачка;

$\theta$  - половинний кут контакту елементів спряження.

В третьому розділі розроблена модель та методика розрахунку зношування та ресурсу роботи кінематичної пари, яка працює в умовах граничного тертя. Основою моделі є метод визначення контактної тиску в парі тертя, як визначального фактора фрикційного руйнування на основі поетапного вирішення інтегро-диференційного рівняння з врахуванням зміни геометрії контактних поверхонь та їх зношування в процесі експлуатації спряження. Метод ґрунтується на розробленій математичній моделі зношування у якій за базову часову параметричну змінну взято контактний тиск. При цьому спряження моделюється як змішана пара тертя, в якій враховується кінетика зміни контактних параметрів спряження в процесі його експлуатації і еволюція форми

робочих поверхонь в процесі їх зношування.

При дослідженні зношування кінематичної пари виходили з того, що вона являє собою спряження областей з круговими границями на початку експлуатації їх контактування здійснюється по дузі контакту, в межах якої розподіляється контактний тиск. В процесі експлуатації внаслідок зношування змінюється як геометрія контактуючих поверхонь, так і значення кута контакту. Зміна кута контакту призводить до зміни діючих контактних тисків, а отже і величини лінійної інтенсивності зношування.

Лінійне зношування спряження виражається залежністю

$$dh_{1-2} = I_{1-2}(p)dL_{1-2}(p), \quad (14)$$

де  $I_{1-2}$  - лінійна інтенсивність зношування кінематичної пари;

$L_{1-2}$  - шлях тертя кінематичної пари;

$p$  - контактний тиск у спряженні.

При вирішенні рівняння (14) чисельним методом використаємо пряму постановку задачі, яка записується у вигляді

$$h_{1-2}^n = h_{1-2}^{n-1} + f(p^{n-1})_{\Delta p}. \quad (15)$$

Тобто за попереднім значенням контактних тисків обраховуються шлях тертя і інтенсивність зношування спряження. На основі чисельного моделювання визначається величина лінійного зношування, яка відповідає зміні максимального значення контактного тиску на фіксований крок  $\Delta p$ . Величина інтенсивності зношування залежить від значення контактного тиску, який діє у розрахункові точці при переміщенні поверхні обідка шпунетримача. З врахуванням симетрії задачі поверхню контакту, обмежену кутом  $\theta_0$ , розділено на кінцеву кількість  $N$  рівновіддалених точок (рис. 8) і визначено у цих точках значення контактного тиску.

Тоді величина лінійного зношування набуде наступного вигляду

$$h_2 = \frac{2L_2}{N} \sum_{j=0}^N I_2(p_j), \quad (16)$$

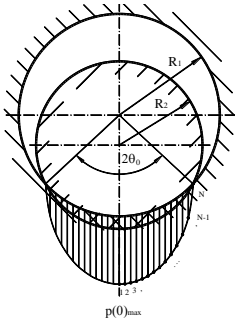
де  $N$  - кількість вузлів інтерполяції;

$p_i$  - значення контактного тиску в цих вузлах.

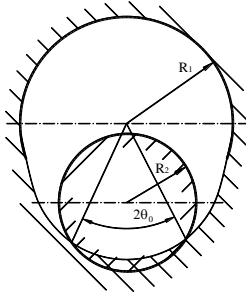
Внаслідок місцевого зношування поверхні паза швейного гачка границя його області за межами контакту буде відмінною від кругової (рис. 9).

Кут контакту в процесі зношування поверхонь з врахуванням кінетики контактних параметрів визначається на основі зміни геометрії контактних поверхонь елементів спряження, яка є наслідком їх зношування (рис. 10).

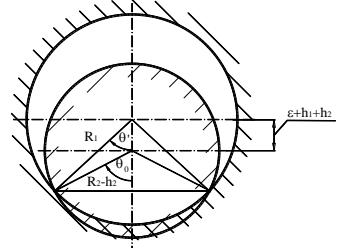
$$\theta_0 = \arcsin \left[ \frac{R_1}{R_2 - h_2} \sin \left( \arccos \left( \frac{R_1^2 + (h_1 + h_2 + \varepsilon)^2 + (R_2 - h_2)^2}{2(\varepsilon + h_1)R_1} \right) \right) \right]. \quad (17)$$



**Рис. 8.** Схема розподілу контактної тиску в межах кута контакту



**Рис. 9.** Форма контактних поверхонь, яка утворилася внаслідок їх зношування



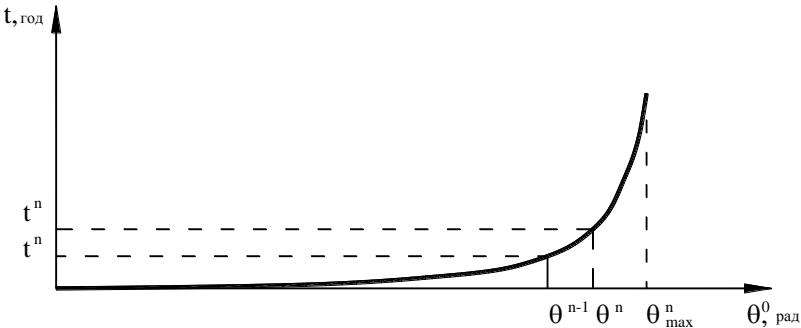
**Рис. 10.** Схема розподілення кута контакту поверхонь в процесі зношування спряження

Час експлуатації спряження, який відповідає величині лінійного зношування при вирішенні (16) обчислюється за виразом

$$t_h^n = t_h^{n-1} + (t^n(\theta^n) - t^n(\theta^{n-1})). \quad (18)$$

Визначається величина часового проміжку за який зношування елементів кінематичної пари призведе до зміни кута контакту, і, як наслідок, до перерозподілу контактної тиску, максимальне значення якого зміниться на фіксовану визначену нами величину.

Час росту кута контакту для фіксованого значення контактних тисків, які відповідають значенню лінійного зношування  $h_{1-2}^{n-1}$  подано на рис. 11.



**Рис. 11.** Графік визначення часу експлуатації за який кут контакту досягне максимального значення при фіксованому значенні контактних тисків

Контактний тиск визначається на основі вирішення інтегро-диференційного рівняння з врахуванням деформаційних властивостей поверхневих шарів контактуючих поверхонь.



$$\frac{m_1}{\pi} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} \operatorname{ctg} \frac{\theta - \vartheta}{2} p'(\vartheta) d\vartheta = m_2 p(\varphi) + \frac{m_3}{\pi} \frac{1}{2} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} p(\varphi) d\varphi + m_4 \frac{P_0}{2\pi R_1} \cos(\varphi) + \frac{\varepsilon}{R_1}; \quad (19)$$

$$-\theta_0 \leq \theta \leq \theta_0,$$

де  $\varepsilon = R_1 - R_2$ ;

$\chi_i = 3 - 4\mu_i$  ( $i = 1, 2$  відповідно матеріал швейного гачка і шпулетримача);

$\mu_i$  - коефіцієнт Пуассона;

$P_0 = P/l$ ;

$P$  - діюче радіальне навантаження на спряження;

$l$  - ширина поверхні обідка шпулетримача;

$$m_1 = \frac{1 + \chi_1}{8G_1} + \frac{1 + \chi_2}{8G_2}; \quad m_2 = \frac{1 - \chi_1}{4G_1} + \frac{1 - \chi_2}{4G_2}; \quad m_3 = \frac{1 + \chi_1}{4G_1}; \quad m_4 = \frac{\chi_1}{G_1} + \frac{1}{G_2};$$

$$G_i = \frac{E_i}{2(1 + \mu_i)};$$

$E_i$  - модуль Юнга.

Розв'язок рівняння (19) шукаємо методом колокації. Апроксимована функція контактної тиску має вигляд

$$p(\theta) = \left( k_0 + k_2 \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2} \right) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \frac{\theta_0}{2} - \operatorname{tg}^2 \frac{\theta}{2}}. \quad (20)$$

**В четвертому розділі** розглянуті питання техніки та методики експериментальних досліджень швидкісних процесів механічної взаємодії елементів спряження. Подано опис та характеристика спеціально розробленого устаткування для:

- експериментального дослідження та підтвердження дибалансної синхронізації кінематичної пари з розривами поверхонь;
- визначення швидкісної характеристики коефіцієнта тертя у спряженні;
- дослідження характеру зношування поверхонь елементів спряження.

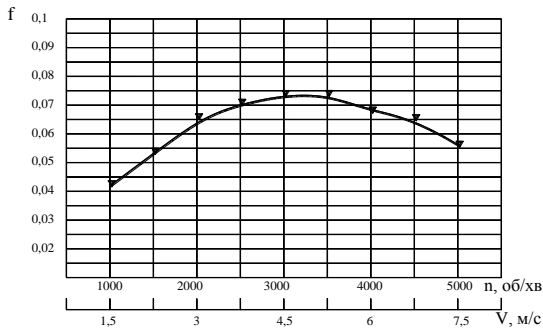
Проведені експериментальні дослідження підтверджують можливість практичного використання способу дибалансної синхронізації для забезпечення безударної взаємодії елементів кінематичної пари з розривами поверхонь.

Аналіз експериментальних даних, на прикладі човникового комплексу показує, що імпульсні навантаження виникають при частоті обертання швейного гачка 2760 об/хв і досягають значення 3,53 Н. Максимальне значення імпульсного навантаження складає 11,18 Н при частоті обертання швейного гачка 4500 об/хв. Збільшення імпульсних навантажень у кінематичній парі

починається з частоти обертання швейного гачка, при якій шпулетримача оббігає поверхню швейного гачка. З подальшим ростом частоти обертання, величина імпульсних навантажень зростає. Величина пікових значень діючих навантажень, при загальному характерному збільшенні, має певне розсіювання. Це можна пояснити різним положенням шпулетримача по відношенню до швейного гачка при радіальному перекритті поверхонь тертя. Подана методика експериментальних досліджень та обробка їх результатів.

Проведені експериментальні дослідження, які дозволили визначити швидкісну характеристику коефіцієнта тертя у спряженні, та встановити її екстремум (рис. 12).

Подана методика проведення експериментальних досліджень та обробка одержаних результатів.



**Рис. 12.** Залежність коефіцієнта тертя від частоти обертання кінематичної пари виготовленої їх сталей ШХ 15 - А12

**В п'ятому розділі** подані рекомендації та методика для практичного використання результатів проведених досліджень. Даються приклади практичного здійснення направлено впливу на процес зношування кінематичної пари та механіку взаємодії елементів циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь.

Розроблені рекомендації щодо практичного застосування способу дибалансної синхронізації при дорезонансних та зарезонансних режимах роботи ротатійної механічної системи для забезпечення безударної роботи.

За допомогою розробленої методики розрахунку ресурсу роботи кінематичних пар виявлено, що найбільш суттєвий вплив на процеси зношування та ресурсу роботи визначають умови початкового контактування елементів кінематичної пари.

Подані практичні рекомендації використання розробленого програмного забезпечення розрахунку ресурсу роботи кінематичних пар з розривами поверхонь.

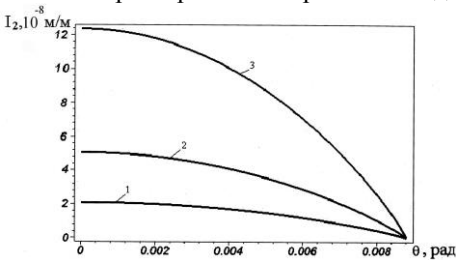
Запропонована методика дозволяє визначити такі основні параметри

контактної взаємодії, як кут контакту, розподіл контактної тиску, інтенсивність зношування поверхні швейного гачка та зміну її значення у розрахунковій точці обідка шпулетримача в межах кута контакту, величину лінійного зношування кожного з елементів кінематичної пари у будь-який момент часу.

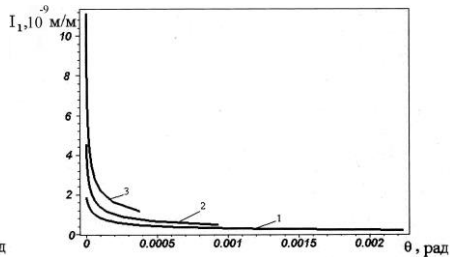
Основними факторами, які визначають кут контакту та контактний тиск на початкових умовах контактування, є величина радіального зазору у спряженні та фізико-механічні властивості матеріалів.

При інших рівних умовах зменшення радіального зазору з 50 мкм до 20 мкм збільшує ресурс роботи спряження з 208 до 369 годин тобто 43% за умови втрати працездатності спряження з радіальним зазором 0,11 мм.

На основі одержаної експериментальної шляхом (див. рис. 12) швидкісної характеристики коефіцієнта тертя визначимо основні триботехнічні параметри кінематичної пари. Коефіцієнти тертя, які відповідають швидкостям роботи човникового комплекту 4500, 5000, 5500 такі 0,067, 0,056, 0,047. Очікуваний ресурс роботи спряження при різних значеннях коефіцієнтів тертя відповідно 0,067 - 95 годин, 0,056 - 208 годин, 0,047 - 550 годин. Розраховані основні характеристики спряження подані на рис. 13-14.



**Рис. 13.** Інтенсивність зношування поверхні шпулетримача у межах кута контакту при значеннях коефіцієнта тертя 1 - 0,047; 2 - 0,056; 3 - 0,067



**Рис. 14.** Інтенсивність зношування поверхні паза швейного гачка в процесі експлуатації кінематичної пари при значеннях коефіцієнта тертя 1 - 0,047; 2 - 0,056; 3 - 0,067

## ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що циліндричні кінематичні пари з розривами контактних поверхонь у значній мірі обумовлюють працездатність ротаційних систем різного призначення.

2. Розроблена математична модель синхронізації механічної взаємодії елементів кінематичних пар з розривами поверхонь, на основі якої встановлені можливості направленої впливу на механіку взаємодії елементів кінематичних пар з метою зменшення динамічних навантажень на границях розривів. Визначено геометричні параметри кінематичної пари та встановлено граничні

критерії для забезпечення безударної взаємодії її елементів.

3. Обґрунтована можливість дибалансної синхронізації роботи циліндричних кінематичних пари з розривами поверхонь, внаслідок якої ліквідуються імпульсні навантаження на границях розривів.

4. Розроблений комплекс устаткування для дослідження дибалансної синхронізації взаємодії елементів кінематичних пар з розривами поверхонь та швидкісної характеристики коефіцієнта тертя. В результаті експериментальних досліджень отриманий фактичний матеріал відносно дибалансної синхронізації елементів кінематичних пар та швидкісної характеристики коефіцієнта тертя, який підтверджує основні положення розроблених моделей. Застосування дибалансної синхронізації дозволяє зменшити віброударну активність у 5÷7 разів.

5. Розроблена методика оцінки ресурсу роботи елементів кінематичних пар, яка враховує основні триботехнічні параметри спряження та їх еволюцію в процесі зношування. Показано, що на процеси тертя та зношування кінематичної пари суттєво впливають умови початкового контактування тіл тертя. Обґрунтовано можливість та принципи направленої впливу на ресурс роботи човникового комплекту. Направлений вплив на ресурс роботи спряження та величину лінійного зношування здійснюється шляхом встановлення таких параметрів, як радіальний зазор у спряженні, величина кутів розриву поверхонь, радіуси поверхонь контакту, триботехнічні характеристики матеріалів елементів кінематичної пари. Практичне використання розробленої методики дозволяє підвищити очікуваний ресурс роботи спряження у 2÷3 рази.

6. Розроблені алгоритми та комплекс програмного забезпечення розрахунку ресурсу роботи кінематичних пар з розривами поверхонь.

7. Рекомендації та методики для практичного використання результатів теоретичних та експериментальних досліджень можуть бути застосовні для усього класу ротаційних циліндричних кінематичних пар з розривами елементів.

8. Розроблені принципово нові конструкції човникового комплекту, які характеризуються підвищеною працездатністю при високих швидкостях роботи за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗДОБУВАЧЕМ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

1. Манзюк Е. А., Капустенський П. Г., Костоґриз С. Г. Вібрації та зношування човників швидкісних швейних машин. Повідомлення 1 // Вісник Технологічного університету Поділля. - Хмельницький: ТУП. - 1998. - №2. - С. 3-7.

2. Манзюк Е. А., Капустенський П. Г., Костоґриз С. Г. Вібрації та зношування

човників швидкісних швейних машин. Повідомлення 2 // Вісник Технологічного університету Поділля. - Хмельницький: ТУП. - 1998. - №4. Ч.2. С. 37-40.

3. Капустенський П. Г., Костогрив С. Г., Манзюк Е. А., Методика систематизації і прогнозування відмов устаткування на основі статистично-ймовірносних методів аналізу // Вісник Технологічного університету Поділля. — Хмельницький: ТУП. - 1998. - №4. Ч.2 - С. 83 - 85.

4. Манзюк Е. А., Капустенський П. Г. Особливості взаємодії елементів ротаційного човникового комплекту при формуванні петлі // Вісник Технологічного університету Поділля. - Хмельницький: ТУП. - 2000. - №1. - С.32 - 35.

5. Манзюк Е. А., Костогрив С. Г., Капустенський П. Г. Особливості механіки трибоспряжень ротаційного човникового комплекту // Вісник Технологічного університету Поділля. - Хмельницький: ТУП. - 2000. - №5. Ч.1. - С. 100 - 103.

6. Манзюк Е. А. Контактний тиск у парі тертя швейний гачок - шпулетримач з врахуванням деформаційних властивостей поверхневих шарів // Проблеми трибології. - Хмельницький: ТУП. - 2002. - №1. - С. 134 - 136.

7. Патент 40819 А Україна, МКВ D05B57/10. Човниковий пристрій / Е. А. Манзюк, С. Г. Костогрив, П. Г. Капустенський (Україна). - №2000063377; Заявл. 09.06.2000; Опубл. 15.08.2001; Бюл. №7.

Особистий внесок здобувача у друкованих працях написаних із співавторами.

У роботах [1, 2] здобувачеві належить встановлення залежностей та співвідношень проведених досліджень, обґрунтування та обробка результатів досліджень.

У роботі [3] – проведення статистичного обґрунтування розробки систематизації і прогнозування відмов устаткування, проведення досліджень та обробка їх результатів.

У роботі [4] – наукове обґрунтування проведених досліджень, розробка математичної моделі та формулюванні основних висновків.

У роботі [5] – виконання теоретичних досліджень, розробка математичних моделей, встановлені основних залежностей та співвідношень, які характеризують процес механічної взаємодії елементів кінематичної пари.

У роботі [6] – розробка математичних моделей, наукове обґрунтування отриманих результатів, формулювання висновків.

У роботі [7] – розробка основних ідей, які лягли в основу патенту, розробка патентного рішення, формулювання формули винаходу.

## АНОТАЦІЯ

**Манзюк Е. А. Підвищення працездатності циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах. - Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02 - машинознавство, Технологічний університет Поділля, Хмельницький, 2003.

Дисертацією є рукопис, який містить теоретичні розробки та експериментальні дослідження в області машинознавства циліндричних кінематичних пар, які мають розриви поверхонь з метою розробки методів підвищення їх працездатності. Розроблений та запропонований спосіб дибалансної синхронізації елементів кінематичних пар, для забезпечення їх безударної взаємодії. Розроблена методика розрахунку зношування, яка дозволяє прогнозувати ресурс роботи спряження та враховує основні триботехнічні параметри спряження і їх еволюцію в процесі зношування. Показано, що на процеси тертя та зношування кінематичної пари суттєво впливають умови початкового контактування тіл тертя. Обґрунтовано можливість та принципи направленої впливу на механіку взаємодії елементів кінематичної пари з розривами поверхонь та їх зношуванням у напрямку підвищення її працездатності за критеріями віброударної стійкості та зносостійкості.

**Ключові слова:** кінематична пара, розриви поверхонь, ротаційні системи, дибалансна синхронізація, механічна взаємодія.

## SUMMARY

**Manzyuk E. A. Increase of working capability of cinematic pairs with surfaces ruptures in rotary systems. – Manuscript.**

Thesis for obtaining the technical sciences scientific degree in specialty 05.02.02 – machinery science, Technological university of Podillya, Khmelnytsky, 2003.

The thesis is a manuscript which contains theoretical elaboration and experimental researches in the machinery science field of cylindrical cinematic pairs that have surfaces ruptures aiming the elaboration of their working capability methods increase. The mode of dibalanced synchronization of the cinematic pairs elements for providing their bumpless interaction is elaborated and suggested. The methods of wear calculation, which allow to forecast the work junction resource and consider main tribotechnic junction parameters and their evolution in the wear process, are worked out. It is demonstrated that the conditions of starting contact of bodies friction have considerable impact on the friction processes and cinematic pairs wear. The possibility and principles of directed influence on the mechanics of cinematic pairs elements interaction with surfaces ruptures and their wear in the direction of their working capability under the criteria of vibroimpulsive resistance and wearability are substantiated.

**Key words:** cinematic pairs, surfaces ruptures, rotary systems, dibalanced synchronization, mechanic interaction.

## АННОТАЦИЯ

**Манзюк Э. А. Повышение работоспособности цилиндрических кинематических пар с разрывами поверхностей в ротационных системах. - Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.02.02 - машиноведение, Технологический университет Подолья, Хмельницкий, 2003.

Диссертацией есть рукопись, которая содержит теоретические разработки и экспериментальные исследования в области машиноведения цилиндрических кинематических пар, которые имеют разрывы поверхностей с целью разработки методов повышения их работоспособности.

Обоснована цель и основные задачи исследований в направлении повышения работоспособности цилиндрических кинематических пар с разрывами поверхностей в ротационных системах. Показано, что исследования следует проводить на кинематических парах на элементы которых наложены слабые вязи. Это обусловлено возможностью применения проведенных исследований на весь класс кинематических пар с разрывами поверхностей.

На основе известных аналитических исследований и эксплуатационных данных обобщены современные представления о взаимодействии элементов кинематических пар и установлены основные направления повышения их работоспособности. Для обоснования актуальности поставленной проблемы проведены статистические исследования, которые подтвердили основные положения поставленных задач.

Разработана математическая модель взаимодействия элементов кинематических пар с разрывами контактных поверхностей, на основе которой обоснован новый способ направленного влияния на механику взаимодействия элементов цилиндрических кинематических пар с разрывами поверхностей в ротационных системах на основе дибалансной синхронизации работы элементов сопряжения при скоростных режимах работы. Способ дибалансной синхронизации реализуется путем обеспечения фазы расположения радиуса-вектора центра масс вращающегося элемента по отношению к точке удара элементов механической системы. Установлено, что безударное взаимодействие элементов сопряжения определяет распределение масс в механической системе, а также такие геометрические параметры кинематической пары как углы разрывов, радиусы поверхностей сопряжения и относительное расположение элементов пары.

Исследованы характерные режимы взаимодействия элементов кинематической пары, на элементы которой наложены слабые вязи. Элементы механической системы со слабыми связями в зависимости от частоты вращения ротационной системы находятся в режиме маятниковых колебаний или в режиме обкатки. Именно в режиме обкатки и необходимо использовать способ дибалансной синхронизации.

Проведены исследования использования способа дибалансной синхронизации в случае работы ротационной системы под действием полегармоничной нагрузки.

Выявлены условия и установленные аналитические соотношения при которых происходит безударное взаимодействие элементов кинематических пар. Проведенные исследования могут быть применимы на весь класс кинематических пар с разрывами

поверхностей в ротационных системах. Реализация способа дибалансной синхронизации позволяет в значительной степени повысить виброударную стойкость механической системы.

Разработанная методика расчета на изнашивание, которая позволяет прогнозировать ресурс работы сопряжения. Предложенная методика учитывает основные триботехнические параметры сопряжения и их эволюцию в процессе изнашивания. Показано что на процессы трения и изнашивания кинематических пар существенно влияют условия начального контактирования тел трения.

Разработанный комплекс прикладных программ для определения ресурса работы и основных триботехнических параметров сопряжения. Структура программного обеспечения позволяет практически использовать программный комплекс, как в целом, так и отдельные модули и модульные группы. Это позволяет определить ресурс работы сопряжения; угол контакта, максимальное значение контактного давления и его распределение в границах угла контакта в любой момент времени; интенсивность изнашивания любого из элементов сопряжения; влияние деформационных свойств поверхностных слоев и условий начального контактирования на распределение контактного давления и прочее.

Определены скоростные параметры трибохарактеристик рабочих поверхностей, при которых изнашивание элементов кинематических пар находится в допустимых границах, отвечающим основным режимам работы сопряжения.

Установлено, что наиболее существенное влияние на процессы изнашивания цилиндрических кинематических пар и ресурс работы определяют условия начального контактирования элементов кинематических пар и кинетическая зависимость коэффициента трения элементов сопряжения от скорости их относительного проскальзывания.

Обоснована возможность и принципы направленного влияния на механику взаимодействия элементов кинематических пар с разрывами поверхностей и их изнашивание в направлении повышения их работоспособности за критериями виброударной стойкости и износостойкости. Проведенные экспериментальные исследования подтверждают основные положения разработанных моделей. Представленная методика проведения экспериментальных исследований и обработки результатов проведенных исследований.

Разработанный комплекс установок и оснащения для экспериментального определения скоростных характеристик коэффициента трение и исследований дибалансной синхронизации взаимодействия элементов цилиндрических кинематических пар с разрывами поверхностей. Представленные рекомендации и методики для практического применения проведенных исследований, которые могут быть применимы для всего класса цилиндрических кинематических пар в ротационных системах.

**Ключевые слова:** кинематическая пара, разрывы поверхностей, ротационные системы, дибалансная синхронизация, механическое взаимодействие.



Підписано до друку 22.10.2003 р. Формат 60x80/16.  
Ум. друк. арк. – 1,0. Обл.-вид. арк. – 1,4.  
Наклад. 100 прим. Зам. №472, 2003р.

---

Редакційно-видавничий центр ТУП.  
28016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1.