

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

Максименко Валерій Анатолійович

УДК 621.855.001.24:678.7

**ДИНАМІКА ПУСКУ ТА УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ
РОБОТИ ЛАНЦЮГОВОГО ПРИВОДА,
ОСНАЩЕНОГО ПОЛІМЕРНИМИ ДЕТАЛЯМИ**

Спеціальність 05.02.02. - Машинознавство

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2002

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Чернігівському державному технологічному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Чернігів.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Пилипенко Олег Іванович,
Чернігівський державний технологічний університет, завідувач кафедри
основ конструювання машин

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сердюк Леонід Іванович
Полтавський національний технічний університет ім. Ю.Кондратюка,
завідувач кафедри теоретичної механіки

кандидат технічних наук, доцент

Гайдамака Анатолій Володимирович
Національний технічний університет “Харківський політехнічний ін-
ститут”, доцент кафедри деталей машин та прикладної механіки

Провідна установа: Національний технічний університет України “Київський політехніч-
ний інститут” Міністерства освіти і науки України, м. Київ

Захист відбудеться “05” березня 2003 року о 14³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ра-
ди Д 64.050.10 у Національному технічному університеті “Харківський політехнічний інститут” за
адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Національного технічного університету “Хар-
ківський політехнічний інститут”

Автореферат розісланий ”03” лютого 2003 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Бортовой В.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При проектуванні машини, що містить ланцюгову передачу, найважливішою задачею є забезпечення її експлуатаційної надійності. Під цим мається на увазі властивість ланцюгової передачі зберігати свою працездатність протягом заданого періоду часу за певних умов експлуатації. Питання, пов'язані з забезпеченням експлуатаційної надійності ланцюгової передачі, можуть бути вирішені лише на основі дослідження динамічних процесів, що відбуваються в ній на робочих режимах.

Поряд з цим, успішне вирішення сформульованої вище задачі багато в чому визначається застосуванням нових конструкційних матеріалів, зокрема, полімерних композитів для виготовлення деталей ланцюгової передачі.

Оскільки приводні металеві ланцюги працюють, за рідкісним винятком, при натягу, що складає 10...20% від розривного зусилля, то напрошується висновок про доцільність застосування ланцюгів з полімерних композитів, звичайно ж не порівняних по розривному зусиллю з металевими ланцюгами, але цілком здатних передавати малі потужності, наприклад, у таких машинах, як харчо-переробні, поліграфічні і текстильні. У забезпеченні повноцінної заміни металевих деталей ланцюгових передач на полімерні без зниження їхньої працездатності визначальне значення належить динамічному розрахунку коливальних систем з ланцюговою передачею, оскільки зміна пружних, інерційних і демпфуючих параметрів у результаті застосування полімерних деталей приводить до неузгодженості коливальної системи ланцюгової передачі і зсуву резонансних частот обертання.

Таким чином, незважаючи на накопичений досвід у теорії і практиці дослідження динамічних характеристик ланцюгових передач, відкритим залишається ряд питань в області дослідження ланцюгових передач з полімерних композитів і коректної схематизації даних передач, що пов'язано з задачею одержання експериментальних даних для співставлення з теоретичними розрахунками і створення на цій основі простого в застосуванні алгоритму одержання достовірних характеристик для розрахунку і прогнозування поведінки передачі при заданих режимах експлуатації. Вирішення цієї задачі є актуальною проблемою для машинобудування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась за координуваними Міністерством освіти і науки України на 1996-1999 рр. та 1999-2001 рр. дежбюджетними темами “Ресурсозберігаючі методи підвищення працездатності приводів машин застосуванням полімерних композитів”, номер державної реєстрації 0196U003327 та “Створення та дослідження ланцюгових передач з полімерних композитів для машинобудування”, номер державної реєстрації 0199U003858, відповідно з пріоритетним напрямком “Екологічно чиста енергетика і ресурсозберігаючі технології”, код 4. Автор безпосередньо брав участь у виконанні науково-дослідних робіт як виконавець.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є створення теоретично обґрунтованої та практично підтвердженої методики проектування ланцюгового привода з деталями із полімерного композита для експлуатації в реальних умовах. Головна задача цього дослідження – виявлення найбільш важливих властивостей динаміки ланцюгової передачі, виготовленої з полімерного матеріалу методом литва під тиском, у порівнянні з металевією ланцюговою передачею.

Об'єкт дослідження – привод з ланцюговою передачею.

Предмет дослідження – власні та вимушені коливання в ланцюговій передачі, викликані періодичними зовнішніми силами.

Методи дослідження. При теоретичних дослідженнях використовувався аналітичний метод вирішення диференціальних рівнянь руху ланцюгової передачі. При експериментальних дослідженнях – метод тензометрії, який дозволяє отримати дані про зміну зусилля за допомогою датчиків омічного опору.

Наукова новизна одержаних результатів. Вдосконалена математична модель ланцюгової передачі за рахунок врахування демпфірування і перехідних процесів під час пуску, що дозволяє проводити дослідження привода в цілому.

Досліджені режими роботи ланцюгової передачі, яка містить деталі з полімерних композитів. Вперше розроблені рекомендації для розрахунку демпфірування та жорсткості привода з полімерними деталями ланцюгової передачі.

Розроблено вдосконалений проектний розрахунок ланцюгового привода, що вперше враховує динамічне навантаження під час пускового та усталеного режимів роботи привода; на відміну від традиційного методу багатоітераційного проектного розрахунку побудований одноітераційний алгоритм, який дозволяє отримати передачу з коефіцієнтом запасу міцності в границях загальноприйнятих в машинобудуванні.

Практичне значення одержаних результатів. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження дозволяють рекомендувати полімерні деталі ланцюгової передачі до використання в приводах машин завдяки зменшенню ними динамічного навантаження.

Розроблене програмне забезпечення для динамічного розрахунку привода з ланцюговою передачею із полімерного композиту в системі програмування MathCAD, а також програма і пристрій для експериментального одержання осцилограм динамічного навантаження на ПЕОМ дозволяють проводити проектний розрахунок та досліджувати динамічні характеристики ланцюгового привода на сучасному рівні.

Наукові розробки і практичні результати застосовано на ВАТ “ЧеЗаРа” (м. Чернігів) при модернізації кінематичної схеми механізму видалення продуктів шліфування круглошліфувального верстата 3М227ВФ2. Вони впроваджені в навчальний процес у вигляді методичних вказівок до виконання циклу лабораторних робіт з основ конструювання машин та курсового проекту з деталей

машин для студентів механіко-технологічного факультету.

Особистий внесок здобувача.

Запропоновано вдосконалену математичну модель привода з полімерною ланцюговою передачею, яка враховує динамічне навантаження при пуску двигуна та демпфірування енергії коливань матеріалом ланцюга. Показано доцільність дослідження привода з полімерною ланцюговою передачею і відмінність її динамічних характеристик від характеристик привода з металевим ланцюгом. Проведений математичний опис запропонованої моделі та отримані рішення рівнянь руху, для чого були розроблені програми для системи MathCAD. Експериментально визначені жорсткість та коефіцієнт демпфірування полімерного ланцюга.

Сконструйовано пристрій для реєстрації динамічного навантаження ланки ланцюга за допомогою ПЕОМ. Розроблено спеціалізовану програму на мові програмування C++ для його обслуговування. Отримані осцилограми зусилля в ланці за період проходження нею ланцюгового контуру. На підставі отриманих результатів розраховані експериментальні амплітудно-частотні характеристики зусилля в ведучій ланці ланцюга. Отримані осцилограми динамічного навантаження під час пуску привода а також під час проходження ланкою ланцюга по ведучій зірочці.

Запропоновано числове значення розрахункового критерію та побудовано послідовність проектного розрахунку ланцюгового привода з полімерною ланцюговою передачею. Здійснено його реалізацію в системі програмування MathCAD.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи розглядалися на міжнародних науково-технічних конференціях: “Високоєфективні технології в машинобудуванні”, м. Харків, 1998 р., СЛАВПОЛІКОМ-98, Київ (м. Славско), 1998 р.; СЛАВПОЛІКОМ-99, м. Київ, 1999 р.; “Сучасні матеріали, технології, устаткування й інструменти в машинобудуванні”, м. Київ, 1999 р.; “Сучасні проблеми машинознавства”, м. Гомель, 2000 р.; СЛАВПОЛІКОМ-2000, Київ (м. Ялта), 2000 р.; а також на щорічних науково-технічних конференціях ЧДТУ, м. Чернігів, 1997-2002 р., де була відзначена актуальність виконаної роботи і схвалений напрямок наукових розробок. Дисертаційна робота в повному обсязі розглядалася на кафедрі “Основи конструювання машин” ЧДТУ.

Публікації. За результатами проведених у дисертаційній роботі досліджень автором опубліковано 13 друкованих праць, серед яких 6 статей у фахових виданнях ВАК України; 7 тез надрукованих у трудах міжнародних науково-технічних конференцій:

Структура і обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків і додатків. Повний обсяг дисертації – 138 сторінок, 41 рисунок по тексту, 8 рисунків на 4 сторінках, 8 таблиць по тексту, 8 додатків на 27 сторінках, 114 найменувань використаних літературних джерел на 9 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** надано короткий огляд роботи, у якому акцентується увага на актуальності розробленої теми. Ґрунтуючись на стислій характеристиці досліджень з динаміки привода з ланцюговою передачею, виявлені нерозкриті задачі в даній області; коротко наведені мета, задачі та етапи їх вирішення. Обґрунтовується об'єкт дослідження і наукова новизна роботи. Наведено опис особистих розробок і зазначена апробація отриманих результатів.

У **першому розділі** на підставі розгорнутого огляду вітчизняних і закордонних досліджень динамічних процесів, що відбуваються в ланцюговому приводі, сформульовані невивчені сторони методів його розрахунку і експериментального дослідження: немає узагальненої математичної моделі ланцюгового привода в загальному вигляді – з урахуванням розсіювання енергії під час руху і перехідних пускових характеристиках двигуна, що, незважаючи на зручність розрахункових залежностей, не дозволяє одержати точної картини процесів, що протікають при роботі привода; потребують вдосконалення методи одержання експериментальних даних з динаміки ланцюгової передачі і методики їхньої обробки й аналізу, що вимагає комплексного експерименту для всебічного їхнього зіставлення з метою оцінки придатності і вірогідності; практично недослідженим залишається такий напрямок, як динаміка ланцюгової передачі з полімерних композитів, що в контексті інтенсивної розробки конструкційних полімерів має потребу в подальшому вивченні. На підставі сформульованих проблем проводиться постановка задач і методів дослідження.

Рис. 1. Схема двохмасової ланцюгової передачі

У **другому розділі** проводиться математичне моделювання руху привода з ланцюговою передачею. Ланцюгова передача (рис.1) представлена як дві гнучких нитки, з жорсткістю c і коефіцієнтом демпфірування η з їхніми кінцями, закріпленими на двох зірочках радіусами R_1 і R_2 , які мають моменти

інерції J_1 і J_2 . На зірочки діють момент опору M_C (завжди постійний по величині) і рушійний момент M_∂ (у процесі пуску задається рівнянням в залежності від типу двигуна з врахуванням його характеристики; в усталеному режимі дорівнює по величині і протилежний по напрямку моменту опору). Рух описаного привода з ланцюговою передачею визначається наступною системою диференціальних рівнянь (1). З метою отримання деформації ведучої вітки ланцюга система була приведена до поступальної (2).

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + \eta(\dot{\varphi}_1 R_1 - \dot{\varphi}_2 R_2) R_1 + c(\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2) R_1 &= c(S_{X_1} - S_{X_2}) R_1 + M_\partial ; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - \eta(\dot{\varphi}_1 R_1 - \dot{\varphi}_2 R_2) R_2 - c(\varphi_1 R_1 - \varphi_2 R_2) R_2 &= -c(S_{X_1} - S_{X_2}) R_2 - M_c , \end{aligned} \quad (1)$$

де φ_i – миттєві кути повороту зірочок; $S_{X_i}(\tau)$ – функція збурення від полігонального ефекту.

$$\begin{aligned} \ddot{x}_1 + P_1 \cdot \dot{x}_1 - p_1 \cdot \dot{x}_2 + q_1 \cdot x_1 - q_1 \cdot x_2 &= q_1 \cdot A \cdot FSIN(\tau) - q_1 \cdot B \cdot FCOS(\tau) + \frac{F_\partial}{m_1} ; \\ \ddot{x}_2 - p_2 \cdot \dot{x}_1 + p_2 \cdot \dot{x}_2 - q_2 \cdot x_1 + q_2 \cdot x_2 &= -q_1 \cdot A \cdot FSIN(\tau) + q_2 \cdot B \cdot FCOS(\tau) + \frac{F_c}{m_2} , \end{aligned} \quad (2)$$

де $x_1(\tau), x_2(\tau)$ – миттєві переміщення кінцевих точок пружної ланки механізму (кінцевих шарнірів ведучої вітки ланцюга), м; m_1, m_2 – зведені ведуча і ведена маси, кг;

$$p_i = \frac{\eta}{m_i}, \quad i = 1 \dots 2 \text{ – фактор загасання; } q_i = \frac{c}{m_i}, \quad i = 1 \dots 2 \text{ – пружний фактор;}$$

$$P_1 = p_1 - \frac{F_c - F_\partial}{m_1 \cdot \omega \cdot R_1} \text{ – фактор загасання з урахуванням силових параметрів; } \omega \text{ – колова}$$

частота усталеного руху привода; $A, B, FSIN(\tau), FCOS(\tau)$ – коефіцієнти розкладання в ряд Фур'є функцій збурення від полігонального ефекту зірочок:

$$FSIN(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \sin(k \cdot \omega_Z \cdot \tau), \quad FCOS(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \cos(k \cdot \omega_Z \cdot \tau).$$

У результаті розв'язку цієї системи методом зведення до системи з чотирьох диференціальних рівнянь першого порядку одержимо залежність деформації пружної ланки механізму від часу $x(\tau) = x_1(\tau) - x_2(\tau)$ у вигляді:

$$x(\tau) = (A_i - B_i) \cdot e^{r_i \cdot \tau} + (V_1 - W_1) \cdot FCOS(\tau) + (V_2 - W_2) \cdot FSIN(\tau) + (V_3 - W_3) \quad (3)$$

де r_i – власні числа системи рівнянь (2), отримані без врахування правих частин; їх найважливіша властивість полягає в тому, що вони визначають власну частоту коливань системи, яку

$$\text{також можна записати формулою } \omega_c = \sqrt{c \cdot \frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2}};$$

$A_i, B_i, i = 1 \dots 4$ та $V_j, W_j, j = 1 \dots 3$ – довільні константи, що визначаються з початкових умов вирішення задачі.

На підставі (2) проведено математичний аналіз пуску привода з ланцюговою передачею з врахуванням різних характеристик двигуна (рис. 2).

Порівняльні розрахунки для механізму з металевим і полімерним приводними роликівими ланцюгами, зроблені по отриманих залежностях, показали, що максимальне зусилля під час пуску привода з використанням ланцюгової передачі з полімерного композита менше, ніж у випадку ви-

користання металевій ланцюговій передачі. Отримано підтвердження доцільності врахування характеристики двигуна в рівнянні руху: максимальне миттєве значення динамічного навантаження на пружну ланку механізму під час розгону в 1,5 рази перевищує це значення без врахування цієї характеристики, що дуже важливо для розрахунку ланок механізму з малим запасом міцності, наприклад, для ланцюга з полімерного композита.

Рис. 2. Теоретичні діаграми пуску привода з ланцюговою передачею з металу (F1) і полімерного композита (F2) без попередньої деформації ланцюга (ліворуч) і з її деформацією (праворуч)

З метою аналізу усталеного руху в результаті перетворення системи (1), отримана залежність, що описує пружні переміщення:

$$x(\tau) = x_A \sin(\omega_Z \tau - \delta + \varepsilon); \quad (4)$$

$$x_A = \frac{\omega_C^2 \cdot A}{\cos(\delta) \sqrt{(\omega_C^2 - \omega_Z^2)^2 + \left(\frac{\eta}{m} \omega_Z\right)^2}}, \quad (5)$$

де x_A – амплітуда деформації при усталеному русі; δ – кут між векторами збуджуючих сил; ε – різниця фаз між результуючою частотою вимушених коливань і власною частотою коливань системи; ω_Z – частота збуджуючих факторів.

Залежність (5) дозволила з'ясувати, що рівність частоти вимушених коливань власній частоті коливань системи (резонанс) для привода з полімерним ланцюгом відбувається при меншій частоті, ніж у випадку застосування металевий ланцюга (рис. 3), амплітуда коливань у 3 рази менше; отримані розрахункові залежності дозволяють будувати замкнуті амплітудно-частотні характеристики, що було неможливо у випадку аналізу моделей без врахування розсіювання енергії. Проведений аналіз чотирьох випадків поєднання металевих і полімерних деталей ланцюгових передач показав, що з погляду динаміки між випадком “полімерний ланцюг на металевих зірочках” і “полімерний ланцюг на полімерних зірочках” розходження несуттєве, оскільки різниця власних частот коливань представляє малу величину – близько 0,6%, надалі в окремому вивченні третього і четвертого випадків немає потреби. Крім того, оскільки другий випадок (металевий ланцюг на полімерних зірочках) розглянутий у роботах попередників, обрані об'єкти для експериментальних досліджень і порівняння один з одним і теоретичними розрахунками: полімерний ланцюг на металевих зірочках і металевий ланцюг на металевих зірочках.

Рис.3. Амплітудно-частотні характеристики привода з металевим і полімерним ланцюгами з урахуванням жорсткості зубців зірочок (1-металевий ланцюг на металевих зірочках, 2-металевий

ланцюг на полімерних зірочках, 3-полімерний ланцюг на металевих зірочках, 4-полімерний ланцюг на полімерних зірочках)

У **третьому розділі** приводиться опис експериментальних досліджень з динаміки привода з ланцюговою передачею. Схема установки, на якій проводився експеримент, наведена на рис. 4. Вона характеризується реалізацією підключення ЕОМ для реєстрації осцилограм. Досліджувана ланцюгова передача, що складається з ведучої зірочки 2, веденої 6 з числами зубів z_1 і z_2 , і ланцюга 3 з числом ланок $L_t=96$ і кроком $t=19,05$ мм, приводилася в рух машиною постійного струму 1 МПТ-52. З веденим валом з'єднане електромагнітне порошкове гальмо 8 марки ПТ-16М, призначене для створення необхідного моменту опору при випробуванні передачі, який регулюється блоком живлення 10 постійної електричної напруги 0-24 В, що з'єднується з гальмом через роз'єм Х2. На ланцюгу 3 встановлена вимірювальна ланка, що несе схему з тензорезисторів 5, сигнал з яких через ртутний струмомірач 4 і роз'єм Х1 підводиться до вимірювальної апаратури. Після підсилювача 12 сигнал надходить через перетворюючий пристрій 9 на вхід Game-порту комп'ютера 13 для наступної математичної обробки.

Рис. 4. Схема експериментальної установки

У результаті досліджень на вищеописаній установці були отримані осцилограми зміни динамічного навантаження в металевому (рис. 5) і полімерному (рис. 6) ланцюзі. При частоті реєстрації даних 1000 значень у секунду і вимірі на протязі 15 секунд (однаково для всіх частот) досліджувані величини характеризувалися 15000-ми значень. Для обробки цієї інформації використовувалися електронні таблиці Excel for Microsoft Office 97. Результати експерименту дозволяють робити з високою точністю аналіз зміни навантаження в ланці ланцюга в період його перебування в холостій вітці (ділянка 1-2), на веденій зірочці (2-3), у ведучій вітці (3-4), і на ведучій зірочці (4-1). Видно, що внаслідок нерівномірного руху зірочок, а також пружних властивостей вітки ланцюга і деякого провисання ефект динамічного впливу на ланцюг виявляється нерівномірно по довжині вітки ланцюга. Виражається це в тім, що коливання в металевому ланцюзі носять безладний характер, що негативно впливає на загальну динаміку коливального процесу. Оскільки більше значення динамічного зусилля здійснює більший руйнуючий вплив як на ланки ланцюга і зірочки передачі, так і на весь механізм у цілому, полімерний ланцюг має перевагу в порівнянні з металевим ланцюгом.

Рис. 5. Осцилограма зміни навантаження в металевому ланцюзі за період оберту ланцюгового контуру

Рис. 6. Осцилограма зміни навантаження в полімерному ланцюзі за період оберту ланцюгового контуру

Рис. 7. Осцилограми навантаження металевого (ліворуч) і полімерного (праворуч) ланцюга у ведучій вітці ланцюгової передачі

Проведений порівняльний аналіз динамічного зусилля в ланці металевого і полімерного ланцюга під час проходження різних ділянок ланцюгового контуру дав наступні результати. Насамперед видно, що максимум динамічного навантаження в металевому ланцюзі з'являється в довільному місці ведучої вітки, у той час як у полімерному ланцюзі він збігається за часом із заходом ланки на ведучу зірочку. Пояснити це можна тим, що в зв'язку з великою жорсткістю, вітка металевого ланцюга при роботі знаходиться в недостатньо натягнутому стані. Це і викликає “блукання” максимуму динамічного навантаження. Ведуча вітка ланцюга (збільшено показана на рис.7) характеризується значно більшою амплітудою коливань динамічного навантаження металевого ланцюга – від 100Н до 650Н (рис.7а) у порівнянні з полімерним ланцюгом – від 300Н до 400Н (рис.7б) при однаковому корисному навантаженні. З осцилограм добре видно, що динаміка проходження ведучої вітки ланкою металевого ланцюга характеризується яскраво вираженими стрибками зусилля, що відбуваються в моменти перескакування ланки по зубцях зірочки; кількість стрибків дорівнює кількості ланок у ведучій вітці ланцюга. У випадку полімерного ланцюга ці стрибки зусилля малі внаслідок великого демпфірування коливань ланцюгом. Отже, коливання навантаження у ведучій вітці у випадку полімерного ланцюга носять більш рівномірний характер, ніж у випадку металевого ланцюга, що виражається в менших розривах кінематичного ланцюжка механізму в цілому і є вагомим доводом на користь ланцюга з полімерного композита.

Результати проведеного статистичного аналізу отриманих даних для ділянок ведучої вітки наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Металевий ланцюг на металевих зірочках								
Частота обертання n_1 , хв^{-1}	50	100	150	200	250	300	350	400
Середнє значення, Н	230,14	233,91	242,06	245,25	301,83	318,17	379,34	318,17
Середн.квадр. відх., Н	57,40	93,60	87,81	114,70	143,61	172,51	202,46	154,10
Полімерний ланцюг на полімерних зірочках								
Частота обертання n_1 , хв^{-1}	50	100	150	200	250	300	350	400
Середнє значення, Н	290,16	294,80	344,52	333,39	338,44	322,05	338,44	333,39
Середн.квадр. відх., Н	25,29	44,25	36,13	38,27	31,75	29,92	31,75	29,67

На підставі даної таблиці були отримані амплітудно-частотні характеристики зусилля в ланці ланцюга в залежності від частоти обертання ведучої зірочки привода (рис. 8). Отримані результати

є експериментальним підтвердженням зроблених раніше теоретичних припущень про зсув резонансної частоти обертання в приводі з ланцюговою передачею при зміні металевго ланцюга на полімерний в бік менших частот коливань, а також зменшенні резонансної амплітуди коливання.

Рис. 8. Експериментальна залежність амплітуди навантаження привода з полімерним (1) і металевим (2) ланцюгом від частоти роботи привода

Застосування обчислювальної техніки надало можливість кількісного аналізу залежності зміни зусилля в ланці ланцюга від часу при проходженні його по зубцях зірочки, збільшено показаних на рис.9 (ліворуч – металева ланка на металевій зірочці, праворуч – полімерна ланка на полімерній зірочці).

Рис. 9. Осцилограми навантаження металевго (ліворуч) і полімерного (праворуч) ланцюга на ведучій зірочці ланцюгової передачі

Набігання ланки на ведучу зірочку характеризується піковим значенням навантаження, менш вираженим для металевго ланки. Видно, що у випадку металевго ланцюга спад зусилля у ланці при переході на ведену вітку відбувається за менший інтервал часу перебування ланки на зірочці, ніж у випадку полімерного ланцюга, і характеризується стрибкоподібними перепадами під час зачеплень ланки з зубцями. У полімерній ланці величина зусилля зберігається в межах $1/3$ від зусилля, що передається, за весь час проходження зони охоплення ланцюгом зірочки. Таким чином, осцилограми підтверджують більш сприятливі динамічні умови роботи механізму з полімерною ланцюговою передачею. Під час дослідження перехідних процесів пуску привода з ланцюговою передачею були записані осцилограми, приведені на рис.10 (ліворуч – пуск привода з металевим ланцюгом, праворуч – з полімерним ланцюгом).

Рис. 10. Експериментальні осцилограми пуску привода з металевим (ліворуч) і полімерним (праворуч) ланцюгом

Кратність пікового навантаження перехідного режиму відносно усталеного значення корисного навантаження (2,5 для привода з металевим ланцюгом і 1,5 для привода з полімерним ланцюгом), а також час загасання вимушених коливань (0,15 – 0,2 с) у межах інженерної точності відповідають теоретичним розрахункам. Якісно підтверджується зменшення частоти й амплітуди коливань зусилля при перехідному процесі з застосуванням полімерної ланцюгової передачі в порівнянні з металевгою. Таким чином, оскільки експериментальні результати якісно і кількісно (не більше 15%) узгоджуються з теоретичними викладками, то підтверджується допустимість припу-

щень, прийнятих для моделі ланцюгової передачі, і викладену математичну модель можна рекомендувати для прикладних розрахунків.

У четвертому розділі приводиться опис методики проектування ланцюгових передач, що дозволяє провести повноцінний розрахунок ланцюгового привода з ланцюгом з полімерних матеріалів і композитів на їх основі, чого не існувало раніше. Основні розбіжності запропонованого методу розрахунку в порівнянні з традиційним наступні: проектування побудоване в один етап, що дозволяє позбутися багатоітераційної послідовності визначення параметрів ланцюгової передачі; у розрахунок введені динамічні характеристики системи з врахуванням реальних пускових характеристик і властивостей застосовуваного матеріалу, що робить отриманий результат максимально наближеним до дійсності; запропонована методика реалізована в системі програмування MathCad, що дає можливість непідготовленому користувачеві швидко одержати кінцевий результат; алгоритм розрахунку реалізований в інтуїтивно зрозумілій формі і дозволяє швидко й ефективно одержувати проміжний результат, а також піддається простій модифікації – досить просто з клавіатури комп'ютера ввести потрібну формулу (у випадку написання програми на будь-якій мові програмування потрібна повна переробка програми); дана методика універсальна, тобто при незначних змінах нею можна скористатися для проектування металевих ланцюгових передач, що дозволить полегшити рутинну роботу підбору ланцюгової передачі.

ВИСНОВКИ

1. В результаті виконання дисертаційної роботи подальший розвиток одержала методика розрахунку ланцюгової передачі в напрямку врахування динамічних процесів, що відбуваються на різних режимах експлуатації, а також введенням у розрахункові рівняння складових, що враховують дисипативні процеси і пускові характеристики двигуна.

2. Створено узагальнену математичну модель привода з полімерною ланцюговою передачею, що дозволяє проводити теоретичний розрахунок динамічних характеристик ланцюгової передачі (пускових, резонансних) для правильного підбору параметрів роботи передачі (довжини вітки, швидкості) з метою запобігання критичних режимів роботи. На основі моделювання на ЕОМ усталеного процесу роботи даного привода отримані теоретичні значення зміни зусилля в вітці ланцюга при проходженні її в контурі, а також отримані експериментальні значення, що відрізняються від теоретичних не більш, ніж на 15%.

3. Експериментальні дослідження конструкцій привода з ланцюговою передачею з полімерного композита показали, що амплітуда коливань зусилля в ланці ланцюга в усталеному режимі знизилась у 3 рази в порівнянні з металевим ланцюгом. Перехідний процес в приводі з полімерним ланцюгом більш плавний, ніж у приводі з металевим ланцюгом, що обумовлює сприятливі умови експлуатації всього привода в цілому.

4. Удосконалено стенд для випробувань ланцюгової передачі, що дозволяє одержати динамічні характеристики її руху за допомогою сучасних вимірювально-обчислювальних засобів.

5. Запропоновано методику проектного розрахунку ланцюгової передачі з ланцюгом з полімерних матеріалів і композитів на їх основі, що враховує динамічні характеристики роботи.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пилипенко О.І., Максименко В.А., Козар І.Ф. Дослідження резонансу в ланцюговій передачі при поперечних коливаннях // Вісник Чернігівського технологічного інституту. - Чернігів: ЧТІ. - 1997. - №4. - С.117-124.

Здобувачем отримані експериментальні дані та проведено порівняльний аналіз динамічного зусилля при роботі ланцюгової передачі, виготовленої з полімерного композиту з передачею, виготовленою з металу.

2. Пилипенко О.І., Максименко В.А., Козар І.Ф. Дослідження динамічних характеристик ланцюгової передачі за допомогою мікропроцесорної обчислювальної техніки // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - Чернігів: ЧДТУ. - 1999. - №9. - С.47-52.

Дисертантом сконструйовано та виготовлено перетворювач для реєстрації осцилограм динамічного зусилля за допомогою ПЕОМ. За його допомогою отримані амплітудно-частотні характеристики зусилля в ланці полімерного та металевих ланцюгів та проведений їх порівняльний аналіз.

3. Пилипенко О.І., Максименко В.А., Козар І.Ф. Дослідження динаміки перехідного та усталеного режиму роботи привода, оснащеного металевими і полімерними ланцюгами // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - Чернігів: ЧДТУ. - 2000. - №10. - С.61-69.

Здобувач отримує рівняння, що описують математичну модель ланцюгової передачі з врахуванням коефіцієнта демпфірування і дістає результати рішення цих рівнянь.

4. Пилипенко О.І., Максименко В.А. Динаміка руху привода, оснащеного ланцюговою передачею з врахуванням характеристик двигуна // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. - Чернігів: ЧДТУ. - 2001. - №12. - С.25-29.

Здобувачу належить формулювання математичних залежностей для дослідження динаміки привода з полімерною ланцюговою передачею та розрахунок за їхньою допомогою порівняльних теоретичних діаграм для різних умов пуску.

5. Пилипенко О.І., Максименко В.А. Цепные приводы машин из полимерных композитов // Високі технології в машинобудуванні. - Харків:НТУ ХПІ.- 2001. - С.209-213.

Здобувачем отримані осцилограми зусилля в металевому та полімерному ланцюгах.

6. Пилипенко О.І., Максименко В.А. Ланцюгові приводи з полімерних композитів для харчопереробного обладнання // Наукові праці Українського державного університету харчових технологій. – Київ:УДУХТ. - 2001. - С.71-72.

Здобувач виконує порівняння динаміки пуску приводу з полімерним і металевим ланцюгами.

7. Пилипенко О.І., Козар І.Ф., Максименко В.А. Автоматизированное проектирование многомассовых цепных передач // Материалы конференции "Высокоэффективные технологии в машиностроении". - Киев: АТМ України. – 1998. - С.112.

Здобувач робить аналіз існуючої методики автоматизованого проектування ланцюгового приво-ду.

8. Пилипенко О.І., Максименко В.А., Козар І.Ф. Экспериментальная оснастка для ли-

тъя под давлением полимерных деталей цепных передач // Материалы международной конференции "Композиционные материалы в промышленности СЛАВПОЛИКОМ 98". - Часть II. - Киев: АТМ Украины. - 1998. - С. 83-86.

Здобувачем виконано конструювання оснастки для литва під тиском полімерної ланки ланцюга.

9. Пилипенко О.И., Максименко В.А., Козар И.Ф. Высокоэффективные технологии производства деталей цепных передач // Тезисы докладов Международного семинара-выставки "Современные материалы, технологии, оборудование и инструменты в машиностроении". – Киев: АТМ Украины. - 1999. - С.103-104.

Здобувачу належить аналіз динаміки роботи привода з полімерною ланцюговою передачею.

10. Пилипенко О.И., Максименко В.А., Козар И.Ф. Использование полимерных композиционных материалов для производства деталей цепных передач // Тезисы докладов Международной конференции "Композиционные материалы в промышленности" (Славполиком99). - Киев: АТМ Украины. - 1999. - С. 136-137.

Здобувачем виконано дослідження статичного та динамічного навантаження на деталі ланцюгового привода.

11. Пилипенко О.И., Максименко В.А., Козар И.Ф. Динамика переходных процессов цепного привода, оснащенного металлическими и полимерными цепями // Материалы международной научно-технической конференции "Современные проблемы машиноведения". - Т.1. - Гомель. - 2000. - С.134-137.

Здобувач отримав математичні залежності руху ланцюгового привода з полімерним ланцюгом.

12. Пилипенко О.И., Максименко В.А., Козар И.Ф. Применение полимерных композитов при проектировании многомассовых цепных передач // Материалы 20-й международной конференции "Композиционные материалы в промышленности (СЛАВПОЛИКОМ-2000)". - Киев: АТМ Украины. – 2000. - С.95-96

Здобувачем викладено критерії та методику проектного розрахунку ланцюгового привода з полімерним ланцюгом.

13. Пилипенко О.И., Максименко В.А. Математическое моделирование и проектирование цепных передач из полимерных композитов // Материалы двадцать первой международной конференции "Композиционные материалы в промышленности" (СЛАВПОЛИКОМ). - Киев: АТМ Украины. - 2001. - С.101-102.

Здобувачем розроблено алгоритм і виконано програмну реалізацію проектного розрахунку ланцюгового привода з полімерним ланцюгом.

АНОТАЦІЇ

Максименко В.А. Динаміка пуску та усталеного режиму роботи ланцюгового привода, оснащеного полімерними деталями. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.02. – машинознавство. Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”, Харків, 2002.

У дисертації розглянуто питання дослідження динамічних явищ, що виникають при переходному і усталеному режимі роботи двомасового ланцюгового привода, що включає ланцюг з полімерного матеріалу. Основна задача даного дослідження – з’ясування найбільш важливих особливостей ланцюгової передачі, виготовленої з полімерного матеріалу литтям під тиском, у порівнянні з металевією ланцюговою передачею, з метою створення теоретично обґрунтованої і практично підтвердженої методики вибору режимів роботи при експлуатації даного нового типу ланцюгових передач у реальних умовах. У роботі проведена схематизація ланцюгової передачі, складено математичну модель її руху з урахуванням пускових характеристик і демпфірування. На підставі рішення даної моделі отримані аналітичні залежності, що дозволяють визначити значення зусилля при заданій частоті руху в довільний момент часу. Проведено експериментальні дослідження, що підтверджують теоретичні положення. Розроблено послідовність проектного розрахунку ланцюгової передачі з полімерного матеріалу, що враховує особливості пуску привода і динамічного навантаження при усталеному русі.

Ключові слова: динамічний аналіз, вимір деформацій, розрахунок, проектування деталей, вплив матеріалу.

Максименко В.А. Динамика пуска и установившегося режима работы цепного привода, оснащенного полимерными деталями. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 – машиноведение. – Национальный технический университет “Харьковский политехнический институт”, Харьков, 2002.

В диссертации рассмотрены вопросы исследования динамических явлений, возникающих при переходном и установившемся режиме работы двухмассовой цепной передачи, включающей цепь из полимерного материала. Основная задача данного исследования – выяснение наиболее важных особенностей цепной передачи, изготовленной из полимерного материала литьем под давлением, по сравнению с металлической цепной передачей, с целью создания теоретически обоснованной и практически подтвержденной методики выбора режимов работы при эксплуатации данного нового типа цепных передач в реальных условиях.

На основании обзора литературных источников сформулированы неизученные вопросы динамики цепной передачи, которая имеет в современном машиностроении исключительно важное значение, так как от динамических явлений зависит не только общий уровень вибрации и точность работы машины, но также их ресурс, надежность, а во многих случаях и производительность.

В результате проведенного всестороннего теоретического исследования рабочих процессов в приводе с цепной передачей из полимерного композита и металла создана обобщенная математическая модель привода системы с учетом факторов рассеяния энергии и переходных процессов двигателя. Сравнительные расчеты для механизма с металлической и полимерной приводными роликовыми цепями, произведенные по полученным зависимостям с целью сопоставления их динамических характеристик, дали следующие результаты. Максимальное усилие при пуске привода с использованием цепной передачи из полимерного композита меньше, чем в случае использования металлической цепной передачи. После завершения переходных процессов колебания переходят в установившийся режим, причем амплитуда и частота колебаний в приводе с полимерной цепью меньше, чем с металлической; совпадение частоты вынужденных колебаний с собственной частотой колебаний системы (резонанс) для привода с полимерной цепью происходит при меньшей частоте, чем в случае с металлической цепью, амплитуда колебаний в 3 раза меньше и, что самое главное, полученные расчетные зависимости позволяют строить замкнутые амплитудно-частотные характеристики, что было невозможно в случае анализа моделей без учета рассеяния энергии; получено подтверждение целесообразности учета характеристики двигателя в уравнении движения: максимальное мгновенное значение динамической нагрузки на упругое звено механизма во время разгона в 1,5 раза превышает это значение без учета данной характеристики, что очень важно для расчета звеньев механизма с малым запасом прочности, например, для цепи из полимерного композита.

Методика проектирования цепных передач, получившая свое дальнейшее развитие в данной работе, позволяет провести полноценный расчет цепного привода с цепью из полимерных материалов и композитов на их основе, чего не существовало ранее. Основные отличительные черты предлагаемого метода расчета следующие: проектирование построено в один этап, что позволяет уйти от итерационной последовательности определения параметров цепной передачи; в расчет введены динамические характеристики системы с учетом реальных пусковых характеристик и свойств применяемого материала, что делает полученный результат максимально приближенным к действительности; предлагаемая методика реализована в системе программирования MathCad, что дает возможность неподготовленному пользователю быстро получить конечный результат; данная методика универсальна, т.е. при незначительных изменениях ею можно воспользоваться для проектирования металлических цепных передач, что позволит облегчить рутинную работу подбора цепной передачи.

Ключевые слова: динамический анализ, измерение деформаций, расчет, проектирование деталей, влияние материала.

Maksimenko V.A. Dynamic of starting and steady-stated operation chain drive, equipped with polymeric details. - Manuscript.

The thesis on competition for a scientific degree of the candidate of technical science on speciality 05.02.02 - Machinery. – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2002.

In a thesis the problems of examination of dynamic appearances originating at transition and steady-stated operation of a two-mass chain drive, transition and a steady-stated operation a polymeric material surveyed. A primal problem of sectional examination - clearing up of the most important singularities of chain drive manufactured of a polymeric material by a casting under pressure, as contrasted to by metal chain drive, with the purpose of making theoretically justified and practically to affirmed procedure of a choice of operational modes at maintenance of a sectional new type of chain drives in actual requirements. In operation the schematization of chain drive, compiling of mathematical model of its driving is carried out in view of control characteristics and damping. On a foundation of a solution of sectional model the analytical associations permitting to define a value of gain at given frequency of driving in an arbitrary instant are obtained. The experimental examinations are carried out which confirm theoretical positions. The sequence of design calculation of chain transmission from a polymeric material which is taking into account a singularities of starting of a drive and a dynamic load at steady-stated driving designed.

Key words: The dynamic analysis, measurement of strains, calculation, projection of details, influence of a material.

Максименко Валерій Анатолійович

ДИНАМІКА ПУСКУ ТА УСТАЛЕНОГО РЕЖИМУ
РОБОТИ ЛАНЦЮГОВОГО ПРИВОДА,
ОСНАЩЕНОГО ПОЛІМЕРНИМИ ДЕТАЛЯМИ

Автореферат

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку "14" січня 2003 р. Формат 60x90/16. Папір офсетний.

Друк офсетний. Обсяг 0,7 авт. аркуша

Тираж 100 примірників. Замовлення № 149.

Видавництво та друк: Редакційно-видавничий відділ

Чернігівського державного технологічного університету

14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.