

PROCEDEE CONSTRUCTIV-TEHNOLOGICE DE REDUCERE A NIVELULUI DE ZGOMOT ȘI VIBRAȚII ÎN TRANSMISIILE PLANETARE PRECESIONALE

Stanislav SLOBODEANIUC

Bazele proiectării mașinilor, 242.01. Teoria mașinilor, mecatronică, FIMIT, UTM, or. Chișinău, Republica Moldova

Coordonator științific: **Dulgheru Valeriu** dr. hab., prof. univ.

Rezumat. Optimizarea transmisiilor mecanice și, îndeosebi celor planetare precesionale, este una din preocupările ingineresti primordiale atât la etapa proiectării angrenajelor cât la etapa exploataării. În lucrare sunt abordate aspectele generale privind reducerea nivelului de zgomot și vibrații în transmisiile cu angrenare. Prezentate avantajele transmisiilor planetare precesionale față de celelalte tipuri de transmisii mecanice și domeniile de utilizare a acestora. Punctul forte al lucrării este elaborarea procedurii de reducere a nivelului de zgomot și vibrații în transmisiile planetare precesionale prin executarea blocului satelit cu un anumit grad de flotabilitate în timpul funcționării. Această metodă constructivă permite compensarea erorilor de execuție și asamblare, ceea ce, în final duce la micșorarea impactului vibro-acustic al transmisiei. În final pe lângă efectul pozitiv asupra apariției zgomotului și vibrațiilor oferă o construcție simplă și o majorare a fiabilității reductorului prin reducerea sarcinii dinamice. Doar prin studiul continuu în domeniul transmisiilor planetare precesionale va fi obținută o transmisie performantă cu o fiabilitate și emisii fonice minimale.

Cuvinte cheie: transmisie planetară precesională, vibrație, zgomot, microdeplasări.

Introducere

Reducerea nivelului de zgomot și vibrații în transmisii cu angrenare este un subiect important în ingineria mecanică. Pentru a obține performanțe superioare în transmisiile cu angrenare, trebuie respectate o serie de aspecte cruciale:

- **Proiectarea geometriei angrenajului:** Dimensiunile și formele dinților angrenajului au un impact semnificativ asupra nivelului de zgomot și vibrații. Factori precum înălțimea dintelui, jocul la piciorul danturii și geometria generală a angrenajului trebuie să fie optimizați pentru a minimiza zgomotul;
- **Calitatea suprafețelor de contact:** Suprafețele dintelui trebuie să fie prelucrate cu precizie pentru a minimiza asperitățile și a reduce frecarea. O finisare adecvată a suprafețelor contribuie la reducerea zgomotului și a vibrațiilor;
- **Lubrifierea corespunzătoare:** Utilizarea unui lubrifiant adecvat și a unei cantități corecte de lubrifiant poate reduce frecarea și, implicit, zgomotul în transmisii;
- **Izolarea vibrațiilor:** Montarea transmisiilor pe suporturi elastice sau utilizarea amortizoarelor de vibrații poate reduce transferul de vibrații către structura generală;
- **Controlul turației:** Turația de funcționare a angrenajului poate afecta nivelul de zgomot. Uneori, ajustarea turației poate ajuta la minimizarea zgomotului;

Respectarea tuturor aspectelor la etapa proiectării, o prelucrare precisă și o selecție adecvată a materialelor sunt esențiale pentru a reduce nivelul de zgomot și vibrații în transmisii cu angrenare [1].

Soluții constructiv-tehnologice care conduc la minimizarea factorului vibro-acustic în transmisiile mecanice:

- **Utilizarea danturilor elicoidale:** Danturile elicoidale au o suprafață de contact mai mare și o distribuție uniformă a forțelor, ceea ce reduce zgomotul și vibrațiile;

- **Utilizarea materialelor cu proprietăți de amortizare a vibrațiilor:** Materialele cu capacitate de absorbție a șocurilor, cum ar fi oțelul cu conținut ridicat de carbon sau polimerii, pot reduce transmiterea vibrațiilor;
- **Proiectarea carcasei și a sistemului de etanșare:** O carcasă bine proiectată și un sistem de etanșare eficient pot minimiza zgomotul produs de transmisie.

Transmișiile planetare precesionale sunt o clasă de transmisii mecanice utilizate pentru a transmite puterea și cuplul între diferiți arbori. TPP, sunt elaborate de academicianul Ion Bostan și reprezintă o inovație în domeniul transmisiilor mecanice. Sunt denumite astfel datorită principiului unic de transformare și transmitere a mișcării și sarcinii.

Avantajele transmisiilor planetare precesionale în comparație cu cele clasice:

- **Multiplicitatea angrenării până la 100%:** În TPP, toți dinții sunt angrenați, spre deosebire de transmisiile clasice, unde doar 3-7% din dinți sunt angrenați. Aceasta asigură capacitate portantă sporită și precizie cinematică înaltă;
- **Gabarite și masă reduse:** TPP utilizează mișcarea sfero-spațială a satelitului și profilul convex-concav variabil. Această inovație permite construirea de transmisii compacte și ușoare, ideale pentru aplicații cu restricții de spațiu și greutate;
- **Diapazon cinematic extins:** TPP oferă un diapazon cinematic larg, de la ± 10 până la ± 3599 , comparativ cu transmisiile armonice, care au un diapazon de 79-300. Aceasta permite adaptarea la diverse cerințe de mișcare și viteză;
- **Implementări în diverse domenii:** TPP au fost utilizate în diverse aplicații, inclusiv în aparate cosmice de zbor, complexe robotizate submersibile pentru extracția concrețiunilor fero-manganice de pe fundul Oceanului Planetar, sistemele de reglare a presiunii în gazoducte, industria auto, mecanisme pentru transmiterea mișcării prin perete și multe altele [2].

Transmișiile planetare precesionale au o serie de domenii de utilizare, datorită caracteristicilor lor inovatoare. Acestea fiind:

- **Industria spațială:** TPP sunt utilizate în aparatele cosmice de zbor, unde fiabilitatea și eficiența sunt esențiale. Aceste transmisii asigură transmiterea mișcării și a sarcinilor în condiții extreme de temperatură și vid cosmic;
- **Robotică submersibilă:** TPP sunt folosite în complexe robotizate submersibile pentru extracția concrețiunilor fero-manganice de pe fundul Oceanului Planetar. Capacitatea portantă și pierderile minime sunt avantaje importante în această aplicație;
- **Industria gazelor:** TPP sunt utilizate în sistemele de reglare a presiunii în gazoducte. Acestea oferă o combinație de capacitate portantă ridicată și dimensiuni compacte, fiind ideale pentru astfel de aplicație [3].

Importanța optimizării transmisiilor planetare precesionale poate fi definită de majorarea eficienței, stabilității înalte la sarcini variabile, îmbunătățirea fiabilității și minimizarea factorului vibro-acustic care și este până la urmă semnalizatorul apariției defecțiunilor.

2. Elaborarea procedeeleor constructiv-tehnologice de reducere a nivelului de zgomot și vibrații în transmisiile planetare precesionale

Transmișiile planetare precesionale au în componența lor un nod cu un anumit grad de dezechilibrare, fapt ce conduce la apariția sarcinilor dinamice, care generează creșterea nivelului de zgomot și vibrații. În scopul reducerii dezechilibrării blocului satelit în soluția tehnică [4] blocul satelit cu două coroane danturate cu role conice, aflate în angrenare cu roțile dințate centrale mobilă și imobilă, este echilibrat prin execuția unor găuri radiale, împlute în proporție de $\frac{3}{4}$ cu lichid și instalat pe sectorul înclinat al arborelui-manivelă echilibrat dinamic prin execuția unei găuri axiale, împlute, de asemenea, în proporție de $\frac{3}{4}$ cu lichid. Această soluție permite echilibrarea dinamică relativă a ambelor elemente dezechilibrate - blocul satelit și arborele manivelă, dar este complicată sub aspect tehnologic.

O altă soluție tehnică este transmisia planetară precesională de tipul 2K-H [5], centrul de precesie al căreia este suprapus cu punctul de intersecție a axelor și generatoarelor roților conice, dinților roților dințate centrale, a axei arborelui-manivelă și a axei sectorului înclinat, echilibrat sub aspect dinamic, fapt ce conduce la o reducere parțială a sarcinilor dinamice. Însă existența inevitabilă a erorilor de execuție și asamblare a blocului satelit pe sectorul înclinat al arborelui-manivelă conduce la apariția sarcinilor dinamice generate de abaterile punctului de intersecție a generatoarelor dinților de punctul de intersecție al axelor arborelui conducător și sectorului înclinat.

Pentru funcționarea corectă a transmisiei planetare precesionale și reducerea sarcinilor dinamice în angrenaj este necesară respectarea condiției de bază la fabricarea componentelor principale (a arborelui manivelă, blocului satelit și a roții centrale mobile) și asamblarea transmisiei – asigurarea coincidenței punctelor de intersecție ale axei drepte și înclinate a arborelui-manivelă cu punctul de intersecție a generatoarelor dinților coroanelor danturate ale blocului satelit și roților centrale fixă și conducătoare (centrul de precesie). Apariția unei necoincidențe între aceste puncte duce la generarea unor sarcini dinamice, care conduc la creșterea nivelului de zgomot și vibrații.

3. Procedeu de reducere a nivelului de zgomot și vibrații în transmisiile planetare precesionale cinematice și de putere

Una din soluțiile constructiv-tehnologice a problemei reducerii nivelului de zgomot și vibrații în transmisiile planetare precesionale ar fi executarea blocului satelit cu un anumit grad de flotabilitate în direcție axială în timpul funcționării. În Fig. 1 este prezentată o transmisie precesională cinematică cu bloc satelit instalat fix, nu este flotant în direcție axială, fapt ce nu permite compensarea erorilor de execuție și asamblare. În soluția tehnică [6] blocul satelit este executat cu posibilitatea realizării unor microdeplasări axiale în procesul de funcționare, care va conduce la compensarea acțiunii unor erori posibile (de execuție sau montare). Transmisia precesională conform fig.2,a,b,c include carcasa (1), în care sunt amplasate blocul satelit (2) cu coroanele danturate (3) și (4), roțile dințate centrale fixă (5), legată rigid cu capacul transmisiei (6), și mobilă (7), legată rigid cu arborele condus (8). Blocul satelit (2) este instalat pe bucșa înclinată (9), legată prin intermediul știftului (10) cu arborele conducător (11).

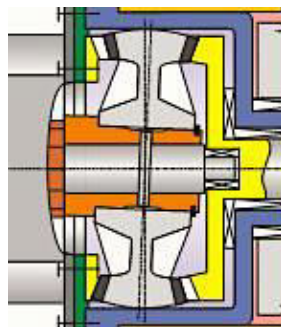
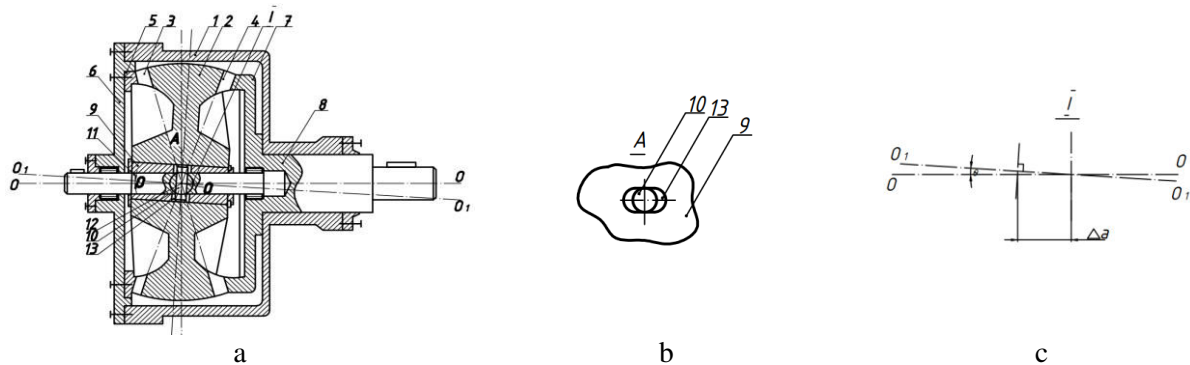


Figura 1. Transmisie precesională cu bloc satelit fixat în direcție axială

Centrul de precesie O (12) este punctul de intersecție a axelor generatoarelor coroanelor danturate (3) și (4) cu axa suprafeței exterioare a bucșei înclinate (9) și axa arborelui conducător (11). Știftul (10) este amplasat în canelul (13) (Fig. 2,b), executat în bucșa înclinată (9), asigurând microdeplasări axiale longitudinale nodului bucșei înclinate (9) cu blocul satelit (2).

Totodată bucșa înclinată (9) este executată din material cu autolubrifiere. Transmisia precesională (Fig. 2) funcționează în modul următor. La rotirea arborelui conducător (11) cu viteza unghiulară de intrare ω_I , blocul satelit (2), instalat pe bucșa înclinată (9), efectuează mișcare de precesie regulată în jurul centrului de precesie O (12) (punctul de intersecție a axelor generatoarelor dinților coroanelor danturate (3) și (4) ale blocului satelit (2) și dinții roților centrale conducătoare (5) și condusă (6). Datorită faptului că bucșa înclinată (9) este executată din material

cu coeficient de frecare redus nu mai este nevoie de utilizat lagăre de alunecare sau rulmenți, ceea ce simplifică construcția.



**Figura 2. a. Transmisie precesională cu satelit flotant în direcție axială;
b. vederea I din fig. a; c, schema necoincidenței axelor Δa .**

În procesul de fabricare și montare a blocului satelit (2) pe bușa înclinată (9) și arborele conducător (11) este inevitabilă apariția unor erori de execuție și montare, care conduc la apariția unei necoincidențe Δa (fig. 2,c) între punctul de intersecție a axelor bușei înclinate (9) și arborelui conducător (11) și punctul de intersecție a generatoarelor dinților coroanelor danturate (3) și (4) ale blocului satelit (2) și dinților roților centrale (5) și (6). Amplasarea știftului de legătură a arborelui conducător (11) și bușei înclinate (9) în canalul longitudinal (13) permite nodului „bucșă înclinată (9) – bloc satelit (2)” să efectueze microdeplasări axiale longitudinale, fapt ce asigură compensarea acestei posibile erori Δa . În transmisia precesională conform Fig. 3 blocul satelit (2) este executat din două coroane cu role conice (14) și (15), legate între ele rigid și instalate pe bușa înclinată (9) prin intermediul rulmenților axial-radiali (16), totodată bușa înclinată are executat pe partea din stânga un umăr de sprijin pentru inelul interior al rulmentului radial-axial (16), iar pe capătul din partea dreaptă este executat filet, pe care se montează piulița (17) de reglare a jocului în rulmenții (16).

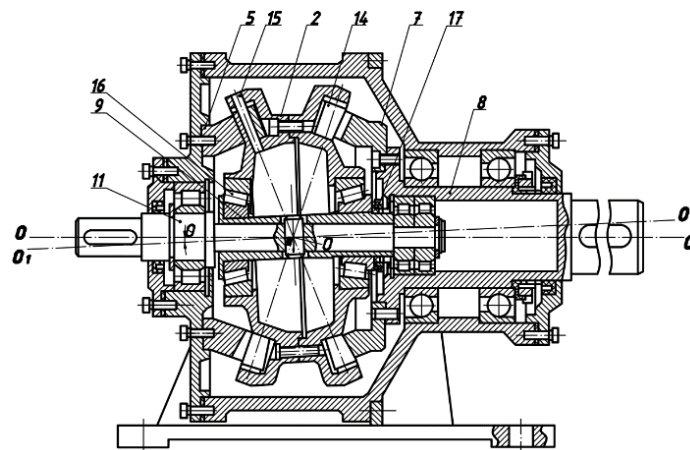


Figura 3. Transmisie precesională cu angrenaj cu role conice cu bloc satelit flotant

În reductorul precesional (fig. 3) de putere blocul satelit este instalat pe rulmenți radiali axiali (16) pe bușa înclinată (9) executată din oțel. Execuția umărului de sprijin pe capătul din stânga al bușei înclinate (9) asigură sprijinul în el a inelului interior al rulmentului radial-axial (16), iar reglarea jocului în rulmenții radial axiali (16) se efectuează cu ajutorul piuliței de reglare (17).

Concluzii:

Soluția tehnică propusă asigură construcție relativ simplă (în special în transmisiile precesionale de putere mică (fig. 2)), majorarea fiabilității reductorului prin reducerea sarcinii dinamice și reducerea nivelului de zgomot și vibrații. Instalarea blocului satelit flotant în direcție axială asigură compensarea relativă a erorilor de execuție și asamblare, fapt ce reduce sarcinile dinamice în transmisiile precesionale de putere și, implicit, nivelul de zgomot și vibrații.

Bibliografie

- [1] Dicusară I., Malcoci Iul., Cercetarea nivelului de zgomot al transmisiilor precesionale cinematice. Disponibil:
http://repository.utm.md/bitstream/handle/5014/1729/Conf_UTM_2012_II_pg374-377.pdf?sequence=1;
- [2] Bostan I., Dulgheru V., Sochireanu A., Transmisii planetare precesionale: aspecte teoretice și aplicații practice. Disponibil:
https://utm.md/meridian/2012/MI_3_2012/12_Art_Bostan_I.pdf;
- [3] Bodnariuc I. Contribuții la elaborarea și cercetarea transmisiilor planetare precesionale cinematice. Disponibil: Contribuții la elaborarea și cercetarea transmisiilor planetare precesionale cinematice / martie / 2010 / Teze / CNAA;
- [4] Bostan I., Dulgheru V., Sochirean A. Transmisie planetară precesională. BI nr. MD 2821. BOPI nr. 7/2005;
- [5] Bostan I., Dulgheru V., Malcoci Iu. Transmisie planetară precesională. BI nr. MD 1536 Z. BOPI nr. 5/2021;
- [6] Dulgheru V., Slobodeaniuc St. Transmisie precesională. Hotărâre de acordare a brevetului de invenție nr. 10391 din 06.02.2024. Nr. depozit s 2023 0042. Dată depozit 13.05.2023.