

## Причини за появата на шум в планетните предавки и мероприятия за намаляването му

Георги Георгиев, Антоанета Добрева, Васко добрев

*The contemporary standards of the European Economic Community require that the mechanic planetary gears should be constructed and designed in such a way that the risk from the noise they give out is reduced to the lowest level. The noise in the mechanic planetary gears is a specific problem and therefore it is particularly important to choose the proper means when designing them in order to reduce the sound pressure for insuring healthy and safe labour conditions.*

**Key words:** Planetary gears, noise

### ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните норми на Европейската Икономическа Общност изискват механичните предавки да бъдат конструирани и проектирани, така че опасностите от излъчвания от тях шум да се намали до най-ниско ниво.

Шумът представлява непостоянно, статистически случайно акустично трептение. Той може да бъде определен още и като неприятен, нежелан звук или друго акустично трептение (смущение) със случаен характер и затова усилията трябва да са насочени в посока намиране на икономически изгодни технически решения, осигуряващи добри акустични показатели, т.е. поддържане на звуковото налягане в рамките на допустимите нива.

Шумът в механичните предавки е специфичен проблем и затова важен момент при проектирането на предавките е избора на правилни мероприятия за намаляване на звуковото налягане с цел осигуряване на здравословни и безопасни условия на труд.

Според една от класификациите на зъбните предавки тези с подвижни оси извършващи движение подобно на планетите се наричат планетни. Наред с предимствата си обуславящо тяхното широко приложение в техниката, планетните предавки имат незадоволителни акустични свойства - някои от тях работят с повишен шум.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Шумът в планетните предавки е вследствие на динамичното взаимодействие на елементите на предавката, което поражда колебателна енергия, разпространяваща се вътре в предавката и излъчваща се в околната среда във вид на шум. Тази енергия е вредна поради появата на шум и др. нежелани явления и в условията на подобряване факторите на работната среда трябва да бъде сведена до минимум.

Планетните предавки са сложна механична система и имат някои специфични проблеми. Един от тях е неравномерното разпределение на натоварването между сателитите, респективно изравняването му. Неравномерното разпределение на натоварването, води до неравномерно натоварване на елементите на отделните мощностни клонове и всички произтичащи от това обстоятелства, включително и работата на предавката с повишен шум.

Причините за неравномерното разпределение на натоварването са неизбежните неточности в изработване на елементите на предавката и техния монтаж.

Неточностите в планетните предавки се проявяват по различен начин. Известни са някои модели на неточности [1]. В един такъв модел при една и съща планетна предавка (еднакъв брой зъби на колелата  $Z_i$ , неточности  $f_i$  и фазово положение на

монтажа  $\Psi_i$ ), само промяната на мястото на лагеруване на вала на централното колело, води до различни проявявания на неточностите. От това следва, че измененията на разпределението на натоварването между сателитите по време и големина няма да са еднакви. И двата случая, еднократните неточности (технологични), водят до недонатоварване или претоварване на даден сателит. Мероприятията за компенсиране на неточностите, съответно намаляване на неравномерността на разпределение на натоварването, респективно намаляване на шума могат да бъдат разделени на:

- конструктивни;
- технологични.

Конструктивните мероприятия се свеждат до:

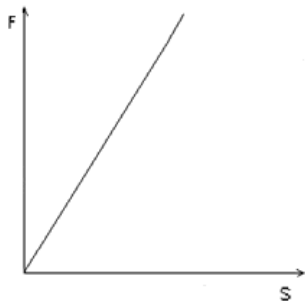
- кинематична подвижност на елементите на предавката;
- деформационната подвижност на същите елементи.

Ефектът от използването на кинематичната и деформационна подвижност е представен на фиг. 1 а) и б) [1]. Тези графики показват изменение на функцията  $F=f(S)$ , където:

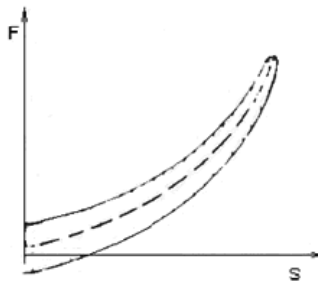
- $F$  - сила от разпределение на натоварването;
- $S$  - преместването (деформацията).

На фиг. 1. а) осите на които са монтирани сателитите, са свързани и имат възможност да се движат в канали, при което движението на единия сателит определя движението на останалите. На фиг. 1. б) имаме наличие на еластичен елемент.

От разгледаните две мероприятия, вследствие на кинематичната подвижност на неподатливите елементи на предавката, въпреки намаляване на неравномерното разпределение на натоварването, ще има и ударно натоварване. Това ще доведе до повишаване на шума в планетната предавка.



а) Кинематична подвижност



б) Деформационна подвижност

Фиг. 1

Тъй като неравномерното разпределение на натоварването е един динамичен процес, то конструктивните мероприятия, трябва да са насочени към:

- избор на едно или повече плаващи звена на предавката;
- подходящ начин за осъществяване на подвижността на плаващите звена.

Това от друга страна е свързано с:

1. Масата  $m$  на плаващото звено;

2. Действието на активните сили  $F_{ак.}$  върху подвижната маса  $m$  за намаляване на неравномерното разпределение на натоварването, респективно на шума;
3. Пътят  $S$ , който трябва да измине плаващата маса  $m$

Деформационната подвижност въпреки хистерезисните загуби от използването на еластичен елемент от акустична гледна точка са по благоприятни, тъй като податливостта на еластичния елемент е свързана с по-плавно изравняване на неравномерното разпределение на натоварването и по-ниско ниво на шума.

Технологичните мероприятия зависят от точност на изработката, точност на монтажа, и евентуално сработване на елементите на предавката след монтажа:

Точността на изработка сависи от:

- използването на съвременни машини;
- правилен избор на инструменти и режим на обработка;
- закрепване в машината на детайла и инструмента.

Точността на монтажа влияе положително, ако всички елементи на предавката се сглобяват според изискванията за сглобяване.

Някои производители на предавки [4], [5] препоръчват сработването, като начин за повишаване на точността (намаляване на неравномерното натоварване, респективно шума). Сработването е свързано със задвижване на предавката и работата и на празен ход или с част от номиналното и натоварване за сравнително кратък период от време (от 30 мин. до 36 часа). През този период част от микрограпавините и минимални отклонения от формата на повърхнините се отстраняват и се счита, че нормалната експлоатация на предавката може да започне. Но това не е достатъчно.

От изложеното до тук следва, че проблемът с неравномерното разпределение на натоварването е твърде сложен. Налице са взаимосвързани фактори, влияещи върху неравномерното разпределение на натоварването между сателитите. Трудно може да се определи еднозначно кой от тези фактори е определящ и влияе съществено върху неравномерното разпределение на натоварването, за да му се обърне внимание при проектирането и изработването на предавката.

Конструктивните мероприятия могат да бъдат отнесени към целенасочена податливост  $\alpha_{пр}$  на елементите на предавката (осите на сателитите, вала на слънчевото колело, всички лагери и на зацепванията на сателитите с централното колело и зъбния венец), както и кинематична подвижност на предавката – чувствителността на изравнителния механизъм (ако е предвиден такъв).

Аналитично чувствителността на изравнителния механизъм може да бъде представена чрез следната зависимост [1]

$$\zeta = 1 - \frac{F_{мп.}}{F_{ак.}} \quad (1)$$

където:

-  $F_{мп.}$  - сила на триене между плаващите звена в предавката и другите и елементи;

-  $F_{ак.}$  - активна сила действаща върху плаващите звена и спомагаща за намаляване на неравномерното разпределение на натоварването.

От зависимостта се вижда, че чувствителността на предавката зависи основно от силата на триене действаща в изравнителния механизъм. Тя може да бъде намалена чрез намаляване на коефициента на триене чрез технологични мероприятия (точна изработка и монтаж на плаващите звена).

Освен от триенето кинематиката на изравнителния механизъм зависи, от типа на предавката, от натрупаната грешка при изработка и монтаж.

Аналитично целенасочена податливост  $\alpha_w$  на елементите на предавката може да бъде представена, след диференциране на функцията  $F=f(S)$ , а именно: [1]

а) при наличие на плаващо звено

$$\frac{\partial F}{\partial S} = 1 - \frac{1}{\alpha_w} = const. \quad (2)$$

б) при наличие на еластичен елемент

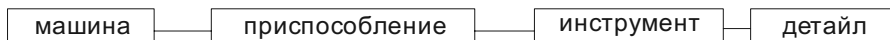
$$\frac{\partial F}{\partial S} = 1 - \frac{1}{\alpha_w} \neq const. \quad (3)$$

В първия случай намаляването на неравномерното разпределение на натоварването, ще става по линеен закон, а във втория случай по закон описващ деформацията на еластичния елемент.

Тези две зависимости потвърждават и представените на фиг. 1 а) и б) графики.

При използването на еластичен елемент също от значение е и вида на предавката кинематична или силова, т.к. правилния избор на еластичен елемент с подходяща големина, място на поставяне и подходящ модул на еластичност  $E$  е свързан с натоварването  $F_i$  на отделните елементи.

Представените по-горе фактори от, които зависи точността на изработка на елементите на планетната предавка, образуват технологичната система:



Стабилността на технологичната система, т.е. нейната неподатливост на сили възникващи по време на изработка има същесвено значение за точността на елементите на планетната предавка. Елементи изработени с по-малко поле на разсейване, т.е. изработени с по-голяма точност, ще направят монтажа на планетната предавка по-лесен разбира се при спазване на инструкцията за сглобяване.

От възможността да се въздейства по-лесно върху технологичните мероприятия, следва да се обърне по-голямо внимание на точността на изработка и монтаж на елементите на предавката, като фактор за намаляване на неравномерното разпределение на натоварването.

### ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ:

От гореизложеното смятаме че:

1. При комбинация от деформационна подвижност (избор на място за поставяне на еластичен елемент с подходящ модул на еластичност) и технологични мероприятия (точност на изработка и монтаж), акустиката на планетната предавка би се подобрила значително.

2. Разработването на математични и динамични модели, задължително трябва да бъдат подкрепени с експериментално изследване, на което да се направи анализ.

3. За тази цел е необходимо:

- да се построи математичен модел на планетна предавка с отчитане на неточностите в изработката на отделните елементи на предавката (централно колело, зъбен венец, сателити, водило и корпусни елементи);

- да се направи оценка на степента на влияние на неточностите в изработката на отделните елементи на предавката, доколкото това е възможно;
- да се направи анализ на нивото на звуковото налягане от неравномерното разпределение на натоварването.

В заключение може да се каже, че независимо от извършените до момента изобретателски, конструкторски, теоретични и експериментални дейности има още редица въпроси, чакащи своето изясняване и решаване.

Без съмнение това е един проблем с изключително важно значение за практиката, чието решение е наложително.

#### ЛИТЕРАТУРА:

[1] Арнаудов К., Бинев А., Ценов П. Разпределение на натоварването в многосателитните планетни зъбни предавки – специфичен и кардинален техен проблем: “ПЛАНЕТНИ ПРЕДАВКИ’ 87”, Перник, 1987 г.

[2] Кожевников С. Н., Есипенко Я. У., Раскин Я. М. Механизмы: Машиностроение, 1976.

[3] Патарински П. Технология на машиностроенето Техника, С. 1973 г.

[4] Под ред. Кудрявцев В. Н., Кирдяшев Ю. Н. И др. Планетарные передачи: Справочник, Машиностроение, Ленинград, 1977.

[5] Георгиев Г., Добрева А., Добрев В. „Проблеми в планетните предавки и начин на отстраняването им“, Научна конференция на РУ „А. Кънчев“-2009, Русе, 2009.

[6] SEW EURODRIVE – каталог 3/81, 1988 г

[7] FLENDER –Himmel, 1987 г.

[8] [www.engineeringtalk.com](http://www.engineeringtalk.com)

[9] [www.mecheng.osu.edu/vibrations](http://www.mecheng.osu.edu/vibrations)

[10] [www.learn-acoustic](http://www.learn-acoustic)

#### За контакти:

Инж. Георги Георгиев, Катедра ММЕИГ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 492, e-mail: [gdgeorgiev@ru.acad.bg](mailto:gdgeorgiev@ru.acad.bg) ;

Доц. д-р инж. Антоанета Добрева, Катедра ММЕИГ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 348, e-mail: [adobreva@ru.acad.bg](mailto:adobreva@ru.acad.bg);

Доц. д-р инж. Васко Добрев, Катедра ММЕИГ, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 492, e-mail: [vdobrev@ru.acad.bg](mailto:vdobrev@ru.acad.bg)

Изследванията са подкрепени по договор BG051PO001-3.3.04/28 “Подкрепа за развитие на научните кадри в областта на инженерните научни изследвания и иновациите”. Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на оперативна програма „Развитие на човешките ресурси” 2007-2013, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз.

**Докладът е рецензиран.**