

**МОДЕЛИРАНЕ НА РЕДУКТОР С ПРОФИЛНО /ВЕРИЖНО/ -
ЕПИЦИКЛОИДНО ЗАЦЕПВАНЕ**

доц. д-р Радостин Симеонов Долчинков
Ясен Христов Ончев
Мариана Атанасова Колева

**MODELING OF REDUCTION GEAR WITH A PROFILE /CHAIN/ -
EPICYCLOID MESHING**

Assoc. Prof. Radostin Dolchinkov, PhD
Yasen Hristov Onchev
Mariana Atanasova Koleva

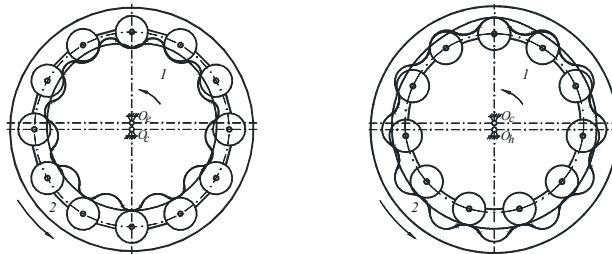
***Abstract:** In this paper one of the ways to model a gearbox with adjusted cyclo – gears is considered. A complete technical documentation in 2D and accurate three-dimensional copies of gearbox components with profile-epicycloid and chain-epicycloid gearing are made with the software package NX UNIGRAPHIX.*

***Key words:** epicycloid wheel, profiling wheel, modeling, chain wheel, simulation.*

Компютърните технологии позволиха инженерния труд да придобие нов облик. Сега инженерът е не само проектант, а и дизайнер на изделието (моделиер). CAD/CAM/CAE системите дадоха нови възможности за изготвяне на пълна техническа документация.[7] Това улеснява ежедневните проектни задачи чрез функции и възможности, които увеличават скоростта и точността при работа и пестят време.

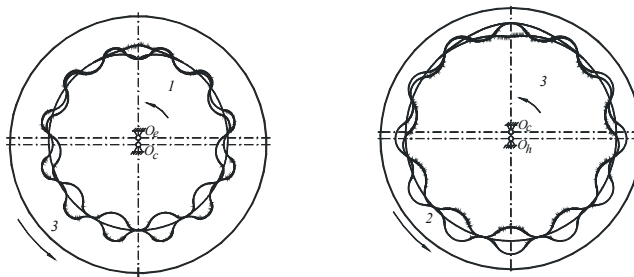
Внасянето на изменения в изделието моментално се отразява в технологичния процес или технологичната карта, което позволява значително съкращаване на времето, необходимо за въвеждане на изменението в производството.

В статията се разглежда един от начините на моделиране детайли и възли на редуктор с коригирани цикло-предавки. В техническата литература [8,9] под коригирани цикло-предавки се разбират предавки с вътрешно цевно-епициклоидно – фиг. 1.а, цевно-хипоциклоидно – фиг.1.б, профилно-епициклоидно – фиг. 2.а. и профилно-хипоциклоидно зацепване – фиг. 2.б., с разлика в броя на зъбите на двете колела единица.



а) б)

Фиг. 1. Кorigирани а) – цевно-епициклоидна и б) – цевно-хипоциклоидна зъбни предавки



а) б)

Фиг. 2. Кorigирани а) – профилно-епициклоидна и б) – профилно-хипоциклоидна зъбни предавки

Цевно-епициклоидната и цевно-хипоциклоидната зъбни предавки – фиг.1, са добре познати. Първата се състои от епициклоидно зъбно колело с външни зъби и цевно колело с вътрешни „зъби“, а втората се състои от хипоциклоидно зъбно колело с вътрешни зъби и цевно колело с външни „зъби“. Цевните колела от тези зъбни предавки имат съставна конструкция. Систематиката на епициклоидните и хипоциклоидните предавки с вътрешно зацепване се допълва с групата зъбни предавки, получени на базата на цевните. При тези предавки профилът на зъба на епициклоидното, респ. на хипоциклоидното зъбно колело, се запазва, а цевното колело се замества с монолитно. Профилът на зъба на това колело се получава като външна или вътрешна обвиваща крива на последователните положения на профила на зъба на епициклоидното, респ. на хипоциклоидното зъбно колело, в равнината на цевното при отгъркаването на центроидите на относително движение от изходните цевни предавки.

С помощта на програмния продукт NX UNIGRAPHIX [10] е изготвена пълна техническа документация в 2D и точни тримерни копия на детайлите на редуктор с

профилно-еписциклоидно зацепване. Siemens NX е софтуерно решение за дизайн, проектиране, конструиране, инженеринг, техническа подготовка и производство на продукти, който помага на производствени компании да разработват, произвеждат и поддържат по-добри продукти, на по-ниска себестойност, по-бързо и по-ефективно. NX осигурява бързо, ефективно и гъвкаво 3D моделиране и създаване на документация за производство, мулти-дисциплинарна симулация, кинематика, мулти-физични приложения, цялостни решения за производството и CAM за механична обработка върху CNC машини.

NX предлага пълна оперативна съвместимост със Solid Edge ST. Създават се гъвкави решения с CAD лицензи на Solid Edge, осигурява се подход към 3D дизайн за ускоряване на работата на конструктора до 100 пъти в сравнение с традиционните техники. [10]

Приоритет на NX Nastran е ефективното решаване на големи симулационни модели. Използването на цифрови симулации помага на развойните екипи да намалят много от текущите си разходи и произтичащия риск от представянето на нови продукти. Цифровите симулации CAE (Computer Aided Engineering), позволяват оценката на повече варианти на конструкциите, което намалява директните разходи свързани със скъпо струващи физически опитни образци и позволява по-бързи и по-добре обосновани дизайнерски решения.

В няколко последователни статии ще се разгледат моделиране и симулация и на други видове изделия, като редуктор с цевно-циклоидно зацепване, фрикционни механични предавки, пространствени сферични предавки и др. В тези разработки ще се опитаме да намерим най-надеждния, точен и преди всичко бърз начин за конструиране на детайли и взли и решаване на технически проблеми без да се изисква експертни знания и подготовка.

Основа на разглежданото неконвенционално зацепване е цевно-еписциклоидното зацепване. [6]

На фиг. 3. е показан детайл – ексцентричен вал, служещ за монтиране и позициониране на двете еписциклоидни зъбни колела на 180° едно спрямо друго. Валът се явява входящ за редуктора.



Фиг. 3. Ексцентричен вал

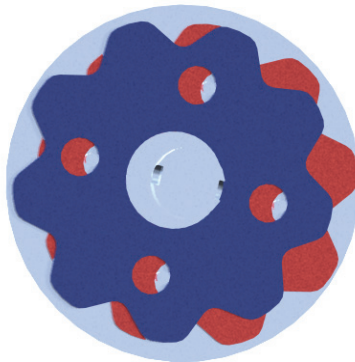
Центровата крива на цевките на цевното колело 2 в равнината на еписциклоидното колело 1 от цевно-еписциклоидната предавка представлява скъсена еписциклоида (фиг.2.а) с параметрични уравнения:

$$\begin{aligned}\xi_{1c}^e(\varphi) &= \frac{m}{2} \left((z_1^e + 1) \sin \varphi - (1-x) \sin((z_1^e + 1)\varphi) \right), \\ \eta_{1c}^e(\varphi) &= \frac{m}{2} \left((z_1^e + 1) \cos \varphi - (1-x) \cos((z_1^e + 1)\varphi) \right),\end{aligned}\quad (1)$$

където m , z_1^e и x са съответно модул, брой на зъбите и коефициент на корекция на епициклоидното колело, а параметърът φ се изменя в интервала $[0, \pi/z_1^e]$. Профилът на зъба на епициклоидното колело явяващ се еквилистантна крива на скъсената епициклоида, се описва с уравненията [5]:

$$\begin{aligned}\xi_1^e(\varphi) &= \xi_{1c}^e + r_c \frac{(1-x) \sin((z_1^e + 1)\varphi) - \sin \varphi}{\sqrt{1 - 2(1-x) \cos(z_1^e \varphi) + (1-x)^2}}, \\ \eta_1^e(\varphi) &= \eta_{1c}^e + r_c \frac{(1-x) \cos((z_1^e + 1)\varphi) - \cos \varphi}{\sqrt{1 - 2(1-x) \cos(z_1^e \varphi) + (1-x)^2}},\end{aligned}\quad (2)$$

където $r_c = m r_c^*$ е радиус на формообразуващата окръжност (равен на радиуса на цевката), а r_c^* се нарича *коефициент на радиуса на формообразуващата окръжност*.



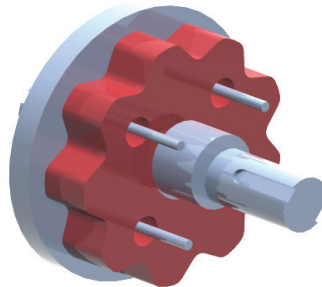
Фиг. 4. Епициклоидно зъбно колело

NX поддържа целия процес на разработка на инструменти – от конструирането на детайла до разположението му в асемблираните инструменти и приспособления, през конструирането на инструментите и приспособленията до тяхното валидиране.

Модулт за асемблиране в NX поддържа асемблиране на модели по методите “top-down” (отгоре-надолу) и “bottom-up” (отдолу-нагоре). Той осигурява инструменти за бърза навигация в моделната йерархия, позволяващи директен достъп до всеки възел и детайл в контекста на асемблирания модел. Инструментите за управление на взаимоотношенията между компонентите позволяват създаването на параметрични асемблирани модели, които следват и запазват проектния замисъл независимо от настъпващите промени.

С използването на навигатора на структурата и интелигентните средства за търсене в модела, прехода между отделните възли и компоненти става бързо и с директна визуална обратна връзка. Асемблирането на модели в NX поддържа и включването на стандартни параметрични компоненти от различни типове и с различни размери.

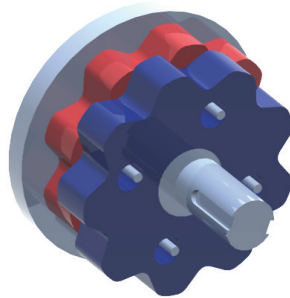
На фиг. 5. е представен монтаж на вече детайлираните и моделирани епициклоидно колело и ексцентричен вал. Възможностите за коригиране и асоциативността между детайлите и сборките са важен фактор за бързото и многовариантно конструиране.



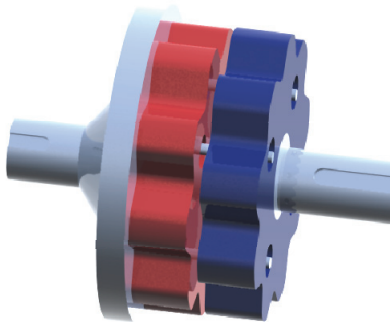
Фиг. 5. Монтаж на епициклоидното колело към ексцентричния вал

На фиг. 6 е представен възела съставен от две епициклоидни зъбни колела монтирани върху ексцентричния вал (между ексцентричния вал и епициклоидните колела се монтират лагери). Колелата са позиционирани на 180° .

Гъвкавото проектиране в отворената CAD среда се реализира чрез уникална High Definition 3D (HD3D) технология, допълвана от мощните инструменти на Subdivision Surfaces за моделиране на свободни форми. Синхронната технология ускорява процеса на проектиране и намалява разходите при вземането на по-добри конструктивни решения и позволява интелигентно редактиране на външни CAD модели и възли, внесени от други системи – SolidWorks, Pro/ E и CATIA. Така могат лесно да се правят промени в собствени или внесени от вън файлове, без да е необходимо да се знаят как те са били построени.[10]



Фиг. 6. Монтаж и позициониране на двете епициклоидни зъбни колела



Фиг. 7. Входящ и изходящ вал на редукторната кутия

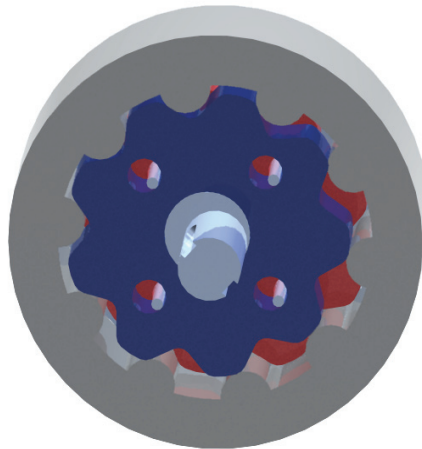
На фиг. 7. е изобразен левият поток на сглобяване. В него попадат ексцентричният вал, двете епициклоидни зъбни колела, ляв корпус и изходящ вал. Десният поток обхваща детайлите: среден корпус-профилно зъбно колело с вътрешни зъби, десен корпус и капачка.

Профилът на зъба на монолитно колело с вътрешни зъби, се получава като *външна* обвиваща крива на профила на зъба на епициклоидното колело в равнината на цевното колело, при отъркаване на центроидите на относително движение на изходната цевно-епициклоидна предавка.[8] Тази предавка в сравнение с цевно-епициклоидната се характеризира с по-голяма технологичност, надеждност и носеща способност.

Детайлът профилно зъбно колело на редуктора е показано на фиг.8.



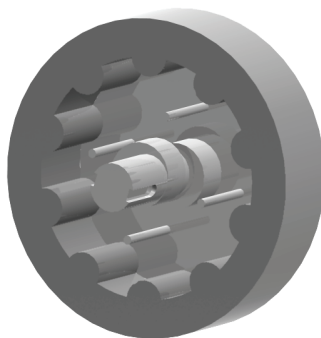
Фиг. 8. Профилно зъбно колело



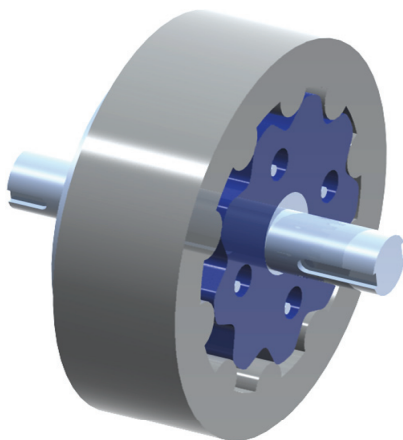
Фиг. 9. Зацепване на епициклоидно и профилно колела

На фиг. 9. ясно се вижда, че в контакт се намират всички зъби на предавката, а 50% от тях участват в предаване на движението, което води до повишаване на якостните качества на предавката.

Движението от епициклоидните колела към изходящия вал се предава посредством палци, които са неподвижно установени към изходящия вал – фиг. 10.



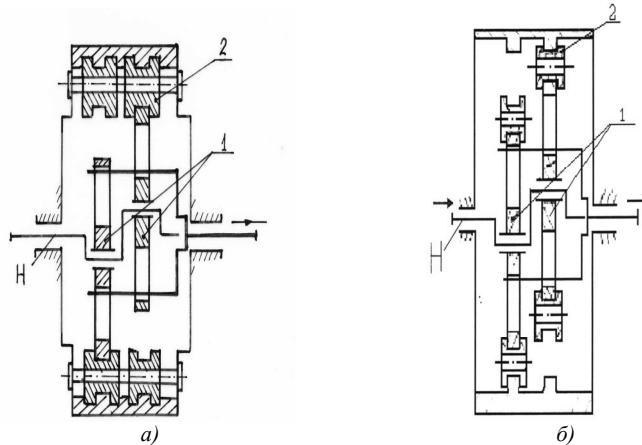
Фиг. 10. Изходящ вал



Фиг. 11. Сглобка между основните елементи на редуктора

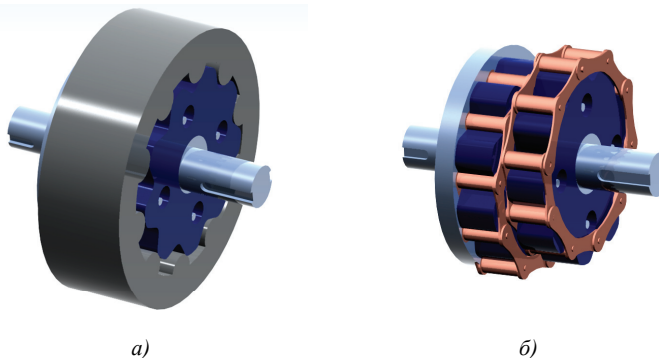
Фиг. 11. изобразява основните елементи на редуктора в сглобено положение (ексцентричен вал, лагери, епициклоидни колела, профилно колело, палци и изходящ вал).

Недостатък на предавките от фиг.1 е съставното цевно колело. За изработването му се изисква точна координатна обработка на отворите, прецизно изработване на цевите и трудно сглобяване на отделните елементи. За получаването му е необходимо и различно машинно оборудване. Посочените недостатъци могат да се избегнат с друг вид циклоидни предавки – верижно-епициклоидна и верижно-хипоциклоидна – фиг.12.[1]



Фиг. 12. Кинематични схеми на а) - верижно-епициклоидна и б) - верижно-хипоциклоидни зъбни предавки

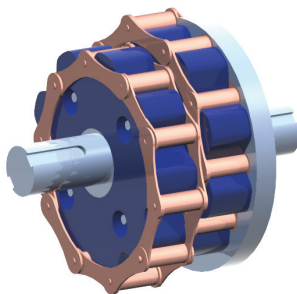
Предавката от фиг.12.а/ се състои от две намиращи се на водилото Н епициклоидни козела 1 с външни зъби, ексцентрично изместени на 180° и зъбно колело с вътрешни зъби 2, представляващо ролкова верига. Разликата между вътрешните и външните зъби на двете козела от предавката е единица, а това определя и голямото предавателно отношение на предавката. Действителният профил на епициклоидното колело с външни зъби е еквилидистантна крива на скъсена епициклоида, а диаметърът на „цевката“ е равен на диаметъра на ролката на веригата $d_{ц} = d_p / -$ фиг. 13.б. [2,3]



Фиг. 13. Цикло редуктори с а) – профилно-епициклоидно и б) – верижно-епициклоидно зацепване

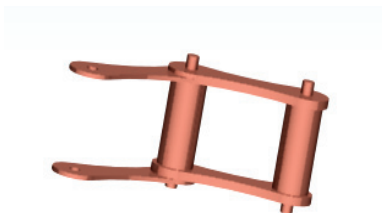
От фиг.13. се вижда, че габаритите на редуктора не се променят. Промените които се правят са в средния корпус. Профилното колело се заменя с верига. Възможностите на продукта позволяват създаването на варианти за закрепването на веригата.

Зъбите на колелата и ролките на веригата се намират в непрекъснато зацепване, поради което „изскачане” на веригата не е възможно – фиг. 14.



Фиг. 14. Верижно-епициклоидно зацепване

Веригното колело заменя цевното колело с готова стандартна верига. Според големината на допустимата двигателна сила, предавана от веригата, изпълнението ѝ се реализира като едноредна – фиг.15., двуредна и триредна. [4]



Фиг. 15. Едноредна верига

Големите възможности за идеализиране на геометрията позволяват бързото създаване на сложни математически модели, които позволяват дизайнерските решения да се вземат на базата на реална представа за производителността и качествата на изделията.

Разработени са симулационни модели на редукторите с профилно-епициклоидно и верижно-епициклоидно зацепване на които се наблюдава работата на отделните елементи, възли и самото зацепване, отчитат се кинематични и динамични характеристики и се сравняват с техническите изисквания на изделията. С помощта на

NX Motion Simulation се анализират скорости, ускорения, въртящи моменти, траектории и др.

ИЗВОДИ:

1. Конструирането и моделирането на редуктори с помощта на NX UNIGRAPHIX дава възможност за съставяне на пълна техническа документация в 2D, онагледяване на елементите на редуктора с помощта на твърдоделното пространствено моделиране, което води до отстраняване на конструктивни недостатъци.

2. Изготвянето на електронни работни потоци, помага на инженерите без опит в областта на МКЕ да извършват цифрови симулации. Това гарантира, че потребителите ще получат реалистични резултати в началото на развойния процес, без да имат нужда от специализирани познания или помощ.

3. Интегрираните мулти физичните FEA симулации пълно в процеса на разработката, повишават драстично CAE производителността чрез интегриране на водещите инструменти за геометрично моделиране с мощна нова технология за FEM моделиране, симулация, автоматизация на анализите и обвързаност с тестови резултати при реални условия.[10]

Литература:

- [1].Долчинков Р., Геометрични пресмятания на верижно-епициклоидна предавка, Механика на машините, №84, 2009.
- [2].Долчинков Р., Верижно-циклоидни предавки, БСУ, Научна конференция, секция „Техника и технология”, 2013.
- [3].Долчинков Р., Алгоритъм за пресмятане на верижно-циклоидни предавки, РУ, Научна конференция, 2013.
- [4].БДС 6211-82 Вериги предавателни ролкови и втулки, Официално издание, София, 1983.
- [5].Гълъбов В., Р. Долчинков и др., Систематика и синтез и на епициклоидни и хипоциклоидни зъбни предавки, XXXII Национален семинар по Динамика на механичните системи, Варна,2005.
- [6].Долчинков Р., Проектиране и моделиране на мотор-редуктор с профилно-епициклоидно зацепване, Сп. Механика на машините- изд.ТУ-Варна, 2005.
- [7].Долчинков Р., Моделиране на мотор-редуктор с профилно-епициклоидно зацепване, Годишник БСУ – том XIX, 2008.
- [8].Долчинков Р., Дисертация, Бургас, 2001.
- [9].Шанников В., Планетарные редукторы с внецентроидным зацеплением, Машгиз, 1972.
- [10].www.cadpointbg.com