

УДК 621.825.5

Г.Нагорняк

Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя

СТРУКТУРНО-СХЕМНИЙ СИНТЕЗ ПЛАНЕТАРНИХ ДВОХСАТЕЛІТНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ З БАГАТОРЯДНИМ РОЗМІЩЕННЯМ ДЕБАЛАНСІВ

У статті розглядається багатоваріантна структура планетарних відцентрових муфт, в яких за рахунок багаторядного розміщення дебалансів суттєво спрощується конструкція і зменшується кількість сателітів, їх валів і опорних підшипників кочення. Наведено залежності для визначення граничних значень обертового моменту, які необхідні для розрахунку конструктивних і силових параметрів. Подано рекомендації щодо вибору раціональних схем муфт нової групи.

Одним із важливих питань сучасного машинобудування є створення запобіжно-пускових муфт для високошвидкісних приводів, в яких вплив коефіцієнту тертя між контактуючими поверхнями півмуфт на роботу муфти має бути зведений до мінімуму.

Відомі конструкції відцентрових муфт [1,2] не забезпечують виконання функцій захисту приводу від перевантажень і поломок. Такі функції можуть виконувати планетарні відцентрові муфти, оснащені дебалансами і механізмами відбору позитивних імпульсів обертового моменту, який формується на центральному веденому колесі [3]. Конструкції планетарних інерційних імпульсних механізмів, які являються свого роду планетарними відцентровими муфтами, описано в [4,5].

При цьому знакопостійний обертовий момент на центральному веденому колесі формується внаслідок використання муфт вільного ходу (рис. 1,а). При обертанні водила 1 з кутовою швидкістю Ω_b на одній половині оберта сателіта 2 (точки $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$) муфта вільного ходу 3 працює в режимі “заклинювання”, чим забезпечується передача обертового моменту на центральне ведене колесо 4 (момент створюється відцентровою силою інерції F_{n01} , яка діє на дебаланс з центром маси C_1). На другій половині оберта сателіта 2 (точки $A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_1$) передача обертового моменту припиняється (внаслідок роботи муфти вільного ходу в режимі “розклинювання”), оскільки при цьому відцентрова сила інерції не чинить опору вільному переключуванню сателіта 2 по центральному веденому колесі 4. Однак, як показала практика, використання муфт вільного ходу в планетарних інерційних імпульсних механізмах не є раціональним рішенням, внаслідок їх низької довговічності при високих кутових швидкостях обертання водила планетарної передачі в результаті частих процесів “заклинювання” і “розклинювання” між елементами півмуфт. Одним із шляхів підвищення надійності роботи планетарних дабалансних інерційних імпульсних механізмів саме для формування знакопостійного обертового моменту є заміна муфт вільного ходу на поводкові муфти [6] (рис. 1,б), торцеві виступи-поводки 5 яких взаємодіють з дебалансами з центрами мас C_1 . Як і в попередньому випадку, на першій половині оберта сателіта від $\varphi_c = 0^\circ$ до $\varphi_c = 180^\circ$ (точки $A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow A_3$) відцентрова сила інерції F_{n01} чинить опір вільному переключуванню сателіта 2 по центральному веденому колесі 4 і на даному колесі формується обертовий момент T_m , який змінюється за півсинусоїдальним законом (рис. 1,в), а на другій половині оберта сателіта 2 (точки $A_3 \rightarrow A_4 \rightarrow A_1$) опір зі сторони відцентрової сили інерції F_{n01} припиняється і торцевий виступ-поводок 5 (який знаходиться на периферії ведучого диска, жорстко встановленого на валу з сателітом) вільно повертається в коловому напрямку (кут вільного повороту сателіта 2 від $\varphi_c = 180^\circ$ до $\varphi_c = 360^\circ$).

Закон зміни обертового моменту на центральному веденому колесі 4 в залежності від кута φ_c повороту сателіта 2 від початкового положення (точки A_1 , яка співпадає з віссю O_1Y) описується так [7].

$$T_M = T_{M.max} \cdot \frac{\sin\varphi_C + |\sin\varphi_C|}{2} \quad (1)$$

а значення $T_{M.max}$ для випадку рівності кількості сателітів з кількістю дебалансів, що має місце при однорядному розміщенні останніх, визначається як:

$$T_{M.max} = n \cdot m_0 \cdot \omega_0^2 \cdot R_0 \cdot r_C \cdot \frac{Z_K}{Z_C}, \quad (2)$$

де n -кількість сателітів; m_0 -маса дебалансу; ω_0 -кутова швидкість обертання водила 1; R_0 -радіус розміщення осей сателітів 2; r_C -радіус розміщення центра маси C_1 дебалансу; Z_K - кількість зубців центрального веденого колеса 4; Z_C - кількість зубців сателіта 2.

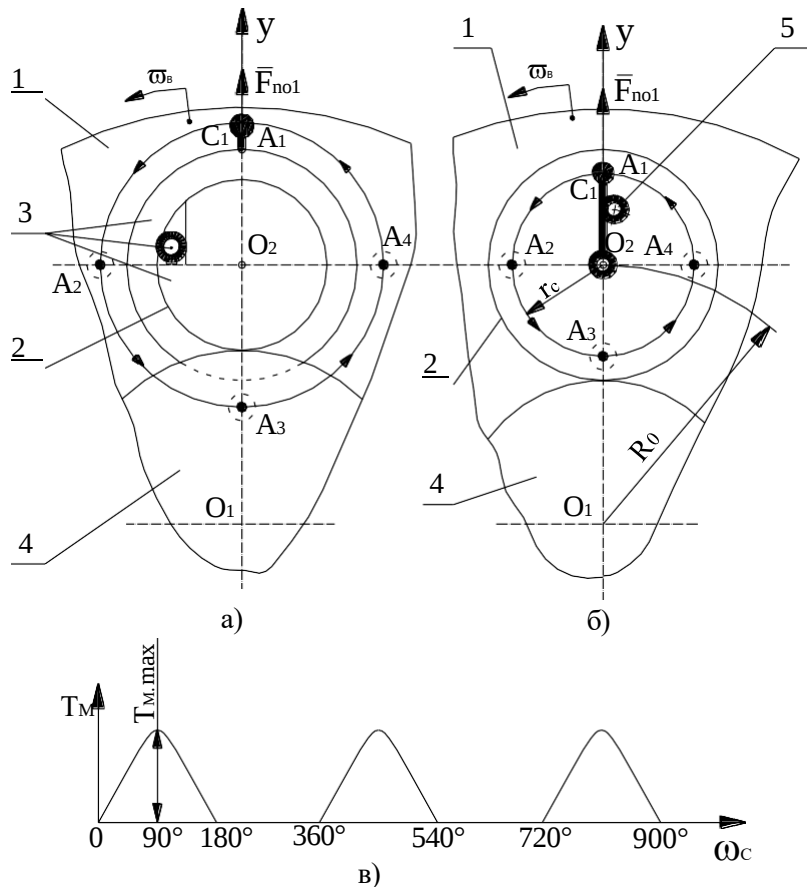


Рис.1. Варіанти формування знакопостійного обертового моменту T_M на центральному веденому колесі:
а) з допомогою муфти вільного ходу; б) з допомогою поводкової муфти;
в) закон зміни обертового моменту T_M від кута φ_C повороту сателіта.

Оскільки в даній статті поставлена задача конкретної розробки планетарних відцентрових запобіжно-пускових муфт як частини загальної методології створення інерційних імпульсних механізмів, то основна увага приділяється розв'язанню технічного протиріччя, яке покладене в основу структурно-схемного синтезу планетарних двохсателітних відцентрових муфт.

Технічне протиріччя, яке виникає при розробці нових конструкцій планетарних відцентрових муфт, полягає в наступному. При намаганні збільшити величину обертового моменту $T_{M.max}$ на центральному веденому колесі плоскої планетарної передачі (при повній збалансованості муфти під час її роботи) необхідно збільшити кількість сателітів. Однак при цьому зростає кількість “ $n_{нК}$ ” підшипників кочення, яка при розміщенні на кожному валу з сателітом по одному дебалансу рівна:

$$n_{нК} = 2 \cdot n + 2 \quad (3)$$

(кожен вал із сателітом встановлений в двох підшипниках кочення і ще в двох підшипниках кочення встановлений вал з центральним веденим колесом). При зростанні кількості сателітів і кількості підшипників кочення, в яких встановлені вали з сателітами, збільшуються затрати на виготовлення планетарної відцентрової муфти, тобто зростає її собівартість.

При мінімальній кількості сателітів $n=6$ (при розміщенні на валу із сателітом по одному дебалансу) забезпечується повна збалансованість муфти. При цьому для $n=6$ загальна кількість підшипників кочення в муфті у відповідності з формулою (3) складає $n_{пк}=14$.

Одним із шляхів вирішення даного технічного протиріччя є зменшення кількості сателітів при одночасному збільшенні кількості дебалансів, які встановлені на кожному валі з сателітом.

Оскільки мінімальна кількість сателітів у планетарній відцентровій муфті може бути рівна двом (при багаторядному розміщенні дебалансів), то при цьому загальна кількість підшипників в конструкції муфти рівна 6, що на 8 підшипників менше у порівнянні зі збалансованою шести сателітною планетарною відцентровою муфтою при рівності в ній кількості дебалансів кількості сателітів.

На рис. 2 показані для одних із миттєвих положень дебалансів дії на них відцентрових сил інерції F_{n01} в планетарній двохсателітній відцентровій муфті з трьохрядним (а) і чотирьохрядним (б) розміщенням дебалансів (розташовані вздовж вала дебаланси на рис. умовно показані в одній площині).

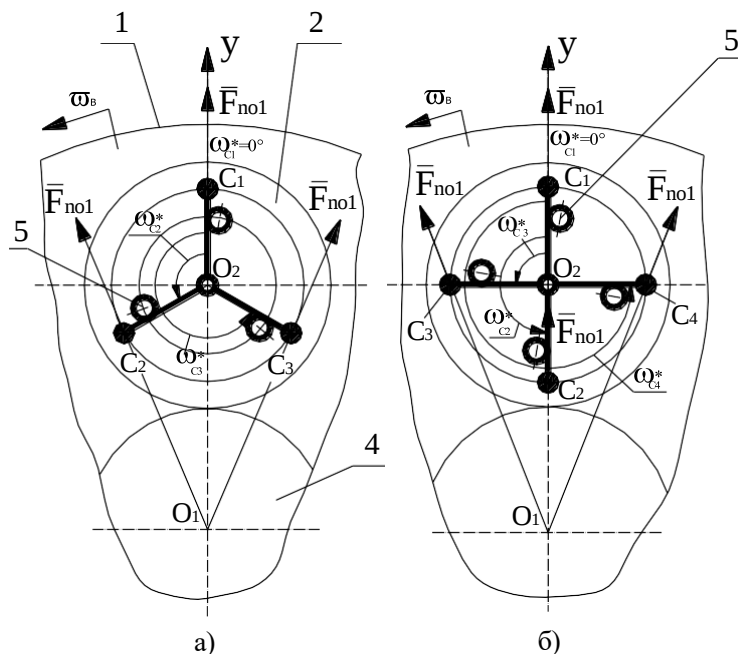


Рис.2. Схеми дії відцентрових сил інерції F_{n01} на дебаланси в трьохрядній (а) і чотирьохрядній (б) планетарній двохсателітній відцентровій муфті

При структурно-схемному синтезі планетарних двохсателітних відцентрових муфт можливе двох, трьох і чотирьохрядне розміщення дебалансів, які можуть займати різне відносне положення один по відношенню до іншого.

При двохрядному розміщенні дебалансів на центральному веденому колесі обертовий момент змінюється за півсинусоїдальним або пульсуючим законом, мінімальне значення якого $T_{M.min}=0$, а його максимальне значення визначається за залежністю (2).

При рівномірному розміщенні по колу торцевих виступів-поводків 5 центри мас дебалансів C_1, C_2 і C_3 в планетарній відцентровій муфті з трьохрядним розміщенням дебалансів (рис. 2,а) при початковому миттєвому співпаданні центра мас C_1 з радіальною віссю O_1Y кут $\varphi_{C1}^*=0^\circ$, центр мас C_2 наступного другого дебалансу

зміщений в коловому напрямку на кут $\varphi_{C2}^* = 120^\circ$, а центр маси C_3 третього дебалансу зміщений в коловому напрямку відносного початкового миттєвого положення центра маси C_1 першого дебалансу на кут $\varphi_{C3}^* = 240^\circ$. При такому положенні торцевих виступів-поводків 5 вздовж вісі вала з сателітом 2 відцентрова сила інерції F_{n01} , яка діє на перший дебаланс з центром мас C_1 , обертового моменту не створює, оскільки плече її дії відносно вісі обертання сателіта (точки O_2) рівне нулю. В положенні наступного поводка 5 (центр маси C_2 другого дебалансу) вільному перекочуванню сателіта 2 по центральному веденому колесі 4 протидіє відцентрова сила інерції F_{n01} , якою створюється обертовий момент, величина якого рівна добутку величини сили F_{n01} в даному положенні центра маси C_2 дебалансу на відстань від вісі обертання сателіта 2 (точки O_2) до вектора дії сили F_{n01} . В наступному положенні центра мас C_3 третього дебалансу відцентрова сила інерції F_{n01} намагається відірвати дебаланс від торцевого виступу-поводка і вона не чинить опору вільному перекочуванню сателіта 2 по центральному веденому колесі 4. Обертовий момент T_M , який виникає від дії сили F_{n01} в даному положенні центра мас C_3 третього дебалансу, рівний нулю.

При подальшому обертанні сателіта 2 від показаного початкового положення упродовж кута повороту сателіта $\varphi_C < 60^\circ$ обертовий момент, який формується на центральному веденому колесі 4, рівний сумі обертових моментів, які виникають від дії відцентрових сил інерції F_{n01} на два дебаланси з центрами мас C_1 і C_2 .

При співпаданні центра маси C_2 другого дебалансу з радіальною віссю O_1Y обертовий момент від дії відцентрової сили інерції F_{n01} в такому положенні центра маси C_2 буде рівний нулю, а обертовий момент, який передається зі сторони сателіта 2 на центральне ведене колесо 4, формується від дії відцентрової сили інерції F_{n01} на перший дебаланс з центром маси C_1 , яка повернулася від свого миттєвого початкового положення на кут $\varphi_C = 60^\circ$.

При такому розміщенні торцевих виступів-поводків 5 вздовж вісі вала з сателітом 2 при послідовному розміщенні на валу трьох дебалансів на центральному веденому колесі 4 формується знакопостійний момент, мінімальне і максимальне значення якого рівні:

$$T_{M \min} = 1,74T_{M1 \max}; T_{M \max} = 2T_{M1 \max}, \quad (4)$$

де $T_{M1 \max}$ визначається з формули (2) при $n = 1$.

Аналогічна картина формування обертового моменту має місце для планетарної двохсателітної муфти з чотирьохрядним розміщенням дебалансів вздовж вала з сателітом 2 (рис. 2,б).

В даному випадку торцеві виступи-поводки 5 зміщені в коловому напрямку на кут 90° . При миттєвому співпаданні центра мас C_1 першого дебалансу з віссю O_1Y кут $\varphi_{C1}^* = 0^\circ$, а кути відносного зміщення центрів мас дебалансів $\varphi_{C3}^*, \varphi_{C2}^*$ і φ_{C4}^* рівні відповідно $90^\circ, 180^\circ$ і 270° . Центри мас C_1 і C_2 першого і другого дебалансів, як і центри мас C_3 і C_4 відповідно третього і четвертого дебалансів, розташовані діаметрально-протилежно для зменшення впливу відцентрових сил інерції F_{n01} , які діють на торцеві виступи-поводки 5 на формування необхідного значення обертового моменту.

Для розглянутої схеми чотирьохрядного розташування центрів мас C_1, C_2, C_3 і C_4 дебалансів мінімальне і максимальне значення обертового моменту, який формується на центральному веденому колесі, відповідно рівні:

$$T_{M \min} = 2T_{M1 \max}; T_{M \max} = 2,8T_{M1 \max} \quad (5)$$

В таблиці поданий структурно-схемний синтез планетарних двохсателітних відцентрових муфт з багаторядним розміщенням дебалансів.

Структурно-схемний синтез планетарних двохсателітних відцентрових муфт з багаторядним розміщенням дебалансів

№ поз	А	Б	В
1			
2			
3			

В позиціях 1А, 1Б, 1В показані варіанти двохсателітних відцентрових муфт з двохранним розташуванням дебалансів. Кінці валів 3 встановлені в підшипниках кочення, розміщених в ступінчастих отворах водила 1 і його кришки 5.

В поз. 1А показана муфта з двома жорстко встановленими на валу 3 ведучими дисками 6 і 7, по периферії яких розміщені односторонні торцеві виступи-поводки, поздовжні вісі яких співпадають і розташовані паралельно до вісі обертання водила 1. Дані торцеві виступи-поводки призначені для взаємодії з вільно встановленими на

кожному валі 3 дебалансами з центрами мас C_1 і C_2 , які розташовані по одну сторону від виступів-поводків. В цьому випадку мінімальне і максимальне значення обертового моменту, який формується на центральному веденому колесі 4, рівні:

$$T_{M2(A)min} = 0; \quad T_{M2(A)max} = 4T_{M1max} \quad (6)$$

В позиції 1Б торцеві виступи-поводки на ведучих дисках 6 і 7 виконані односторонніми і розміщені діаметрально-протилежно, а дебаланси з центрами мас C_1 і C_2 розташовані по один бік щодо до торцевих виступів-поводків. В цьому випадку на центральному веденому колесі 4 формується пульсуючий момент, мінімальне і максимальне значення якого рівні:

$$T_{M2(B)min} = 0; \quad T_{M2(B)max} = 2T_{M1max} \quad (7)$$

В позиції 1В ведучі диски 6 і 7 об'єднані в один ведучий диск 8 з двохстороннім розміщенням торцевих виступів-поводків, причому торцеві виступи-поводки розташовані діаметрально-протилежно. В цьому випадку мінімальне і максимальне значення обертового моменту відповідають попереднім значенням.

Збільшимо кількість рядів дебалансів до трьох і розглянемо планетарні відцентрові муфти для позицій 2А, 2Б і 2В.

В позиції 2А за аналогією з позицією 1А. по периферії трьох ведучих дисків 6, 7 і 9 виконані односторонні виступи-поводки для взаємодії з дебалансами з центрами мас C_1 , C_2 і C_3 і поздовжні вісі торцевих виступів-поводків співпадають.

Мінімальне і максимальне значення обертового моменту для такого варіанту рівні:

$$T_{M3(A)min} = 0; \quad T_{M3(A)max} = 6T_{M1max} \quad (8)$$

В даному випадку як і для поз. 1А, обертовий момент змінюється за півсинусоїдальним законом.

В позиції 2Б показана муфта, вздовж вала 3 якої жорстко встановлені три ведучі диски 6, 7 і 9 з одностороннім розміщенням виступів-поводків.

При цьому дебаланси з центрами мас C_1 , C_2 і C_3 розташовані по один бік від торцевих виступів-поводків і послідовно зміщені в коловому напрямку на кут 120° (як показано на рис. 2,а).

При цьому мінімальне і максимальне значення обертового моменту визначаються за залежностями (4).

Для зменшення кількості ведучих дисків з трьох до двох замість двох ведучих дисків 7 і 9 (поз. 2Б) в поз. 2В представлений варіант муфти з ведучим диском 10, в якому торцеві виступи-поводки виконані з обох сторін, причому торцевий виступ-поводок, який контактує з дебалансом з центром маси C_2 зміщений в коловому напрямку на кут 120° відносно торцевого виступу-поводка, який контактує з дебалансом з центром маси C_1 .

При цьому торцевий виступ-поводок на диску 6 розташований аналогічно до показаного в позиції 2Б, тобто він зміщений в коловому напрямку відносно торцевого виступу-поводка, який контактує з дебалансом з центром маси C_1 на кут 240° .

Для розглянутої схеми муфти мінімальне і максимальне значення обертового моменту аналогічні до значень, які характерні для схеми муфти, приведеної в позиції 2Б.

Збільшимо кількість рядів дебалансів до чотирьох (дебаланси з центрами мас C_1 , C_2 , C_3 і C_4).

В позиції 3А показана муфта з чотирьохрядним розміщенням дебалансів з чотирма ведучими дисками 6, 7, 9 і 11 з одностороннім розміщенням торцевих виступів-поводків, поздовжні вісі яких співпадають.

В цьому випадку, як і для муфт в поз. 1А і поз. 2Б, мінімальне значення обертового моменту рівне нулю, а обертовий момент змінюється за півсинусоїдальним законом.

Максимальне значення обертового моменту рівне:

$$T_{M4(A)max} = 8 \cdot T_{M1.max} \quad (9)$$

Змінимо відносно колове розміщення дебалансів з центрами мас C_1, C_2, C_3 і C_4 при односторонньому розміщенні торцевих виступів-поводків на ведучих дисках 6, 7, 8 і 11 (позиція 3Б). При цьому як одинарні торцеві виступи-поводки на ведучих дисках 11 і 8, так і одинарні торцеві виступи-поводки на ведучих дисках 7 і 6 розташовані діаметрально-протилежно і перша пара діаметрально-протилежно розміщених одинарних торцевих виступів-поводків зміщена в коловому напрямку відносно другої пари діаметрально-протилежно розміщених одинарних торцевих виступів-поводків на кут 90° (див. схему дії відцентрових сил інерції при чотирьохрядному розміщенні дебалансів на рис. 2,б).

Для поданої в поз. 3Б планетарної відцентрової муфти мінімальне і максимальне значення обертового моменту визначаються за залежностями (5).

З метою зменшення кількості ведучих дисків в два рази необхідно торцеві виступи-поводки розташовувати з обох сторін ведучих дисків.

В позиції 3В показана синтезована планетарна відцентрова муфта з чотирьохрядним розміщенням дебалансів і двома ведучими дисками 10 і 12 на кожному з двох діаметрально-протилежно розміщених валів 3. По периферії кожного з дисків 10 і 12 з їх обох торців виконані одинарні торцеві виступи-поводки для взаємодії з дебалансами, центри мас яких C_1, C_2, C_3 і C_4 . На кожному з дисків 12 і 10 торцеві виступи-поводки розміщені діаметрально-протилежно і, як в позиції 3Б, одна пара торцевих виступів-поводків зміщена в коловому напрямку відносно другої пари на кут 90° .

Мінімальне і максимальне значення обертового моменту, який формується на центральному веденому колесі 4, визначається як і для попереднього варіанту муфти (поз. 3Б) за залежностями (5).

Таким чином в результаті розробленого структурно-схемного синтезу планетарних відцентрових муфт з багаторядним розміщенням дебалансів отримані нові структури муфт даної групи і на основі проведеного аналізу синтезованих конструкцій можна зробити наступні висновки:

1. Використання в планетарних відцентрових муфтах принципу багаторядного розміщення дебалансів дозволяє спростити конструкцію муфти за рахунок зменшення кількості сателітів з валами і відповідно зменшити кількість опорних підшипників кочення.
2. Розміщення одинарних торцевих виступів-поводків на обох торцях ведучих дисків дозволяє зменшити кількість ведучих дисків на кожному валу з сателітом на один диск для трьохрядного розміщення дебалансів і на два диски при чотирьохрядному розміщенні дебалансів.
3. Найменше співвідношення між максимальним і мінімальним значенням обертового моменту, який формується на центральному веденому колесі муфти, має місце при трьохрядному розміщенні дебалансів (позиції 2Б і 2В) і воно складає 1,05.
4. Мінімальне нульове значення обертового моменту характерно для всіх трьох варіантів муфт з двоохрядним розміщенням дебалансів і для трьохрядного і чотирирядного розташування дебалансів для випадків співпадання поздовжніх осей всіх торцевих виступів-поводків (позиції 2А і 3А).
5. Для практичного використання найкращими варіантами синтезованих відцентрових муфт рекомендуються конструкції, наведені в позиціях 2В і 3В.
6. Використання залежностей (4)...(9) дозволяє при заданому значенні моменту опору зі сторони робочого органу машини і кутової швидкості вала, на якому встановлена муфта, визначити розміри муфти і підібрати необхідне значення маси дебалансу і радіус розташування його центра маси відносно вісі обертання сателіта.

Multivariant structure of the planetary centrifugal clutches, in which due to satellites shaft and the multri-row balance the construction becomes more simple as well as number of shaft bearing is less,

are analysed in the article. Dependencies for determination of the limiting torque values which are of use for calculation of the construction and power parameters, are presented. Recommendations as to the selection of the efficient schemes of a new type clutches, are given.

ум.т ;
рік ;

Література

1. А.с. 734459 СССР, МКИ F16D48/18. Центробежная муфта / Ю.Мартыхин (СССР). Оpubл. Бюл.№18. - 1980. -2 с.
2. А.с. 475477 СССР, МКИ F16D43/18. Центробежная муфта / Е.М.Гольдварг, В.Ф.Гросу, А.В.Филоненко, И.М.Кравец, Г.Д.Федоров (СССР). Оpubл. Бюл.№24. -1971. -2 с.
3. Пожбелко В.И. Инерционно-импульсные приводы машин с динамическими связями. М.: Машиностроение, 1989, -136 с.
4. А.с. 295928 СССР, МКИ F16H31/00. Автоматический импульсный планетарный вариатор / В.Ф.Мальцев, А.Ф.Тришин, В.А.Савченко (СССР). Оpubл. Бюл.№8. -1971. -2 с.
5. Благовраов А.А. Механические бесступенчатые передачи нефрикционного типа.- М.:Машиностроение, 1977. -143 с.
7. Деклараційний патент України №59715А. Планетарний імпульсний запобіжний механізм / Рогатинський Р.М.,Нагорняк Г.С.(Україна), №2002119260; Заявлено 21.11.2002. Оpubл 15.09.2003, Бюл.№9. -3 с.
8. Нагорняк Г. Визначення навантажувальної здатності інерційних планетарних запобіжних муфт / Машинознавство. - 2003. - №2. - С. 51-54.

Одержано 23.02.04 р.