

# МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

УДК. 621.833.6

**С.Нагорняк, докт.техн.наук; Г.Данилишин**

*Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

## ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ОБЕРТОВОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЙНИМИ ТРАНСФОРМАТОРАМИ НА ОСНОВІ ПЛАНЕТАРНОГО ІМПУЛЬСНОГО МЕХАНІЗМУ

*У статті охарактеризовано особливості формування обертового моменту інерційними планетарними трансформаторами моменту, проаналізовано вплив сил інерції на вихідні та вхідні ланки окремих планетарних імпульсних механізмів. Досліджено тенденцію формування обертового моменту інерційними трансформаторами на основі тільки планетарного імпульсного механізму та можливість зрівноваження обертового моменту і кутової швидкості на виході трансформатора.*

Серед багатьох можливих компонувань [1] планетарних імпульсних механізмів (ПІМ) (рис.1, поз.1-7) найбільш перспективними, на наш погляд, для формування знакопостійного обертового моменту безпосередньо на виході механізму можна вважати ПІМ на основі імпульсного механізму Х.Хоббса з вхідним водилом і вихідною сонячною шестернею (поз.1) та ПІМ на основі імпульсного механізму Чалмерса з вхідною епіциклічною шестернею (поз.7).

Використання імпульсного механізму Х.Хоббса з вихідною епіциклічною шестернею (поз.2) та імпульсного механізму Чалмерса з вхідною сонячною шестернею (поз.6) у цьому випадку обмежене складністю забезпечення відповідно перехідних режимів і прямої передачі, а удосконалення компонувань імпульсного механізму з "плавальними сателітами" С.Левіна (поз.3 і 5) та узагальненого імпульсного механізму А.Леонова (поз.4) з метою утворення знакопостійного обертового моменту безпосередньо на виході ПІМ призводить до значного ускладнення, що знижує ефективність.

Структурно неповні диференціальні механізми з двома ступенями рухливості [2], планетарні імпульсні механізми здатні формувати обертовий момент на виході при умові допоміжного силового впливу на сателіти, що, здебільшого, забезпечується силами інерції, що виникають на кінематично зв'язаних з сателітами дебалансах. (Тут і в подальшому використовуються традиційно вживані терміни "сили інерції" та "відцентрові сили інерції" [1,2]. Уточнення фізичної суті вказаних сил та їх конкретних значень вимагає окремого дослідження). Впливаючи на сателіти, сили інерції формують обертовий момент, імпульси якого можуть значно перевищувати обертовий момент двигуна, з характерними для певного компонування особливостями впливу як на вихідну, так і на вхідну ланку механізму.

Формування обертового моменту трансформаторами на основі імпульсного механізму Х.Хоббса зумовлене, в основному, впливом відцентрових сил інерції відносно вісі  $O_1$  водила, зокрема їх тангенціальними відносно вісей  $O_2$  сателітів складовими  $F_{in1}^{n(t)}$  (рис.1, поз.1.1). В інерційних планетарних трансформаторах обертового моменту з жорстким закріпленням дебалансів на сателітах вказані сили інерції  $F_{in1}^{n(t)}$ , періодично гальмуючи та розганяючи сателіти, утворюють на виході (поз.1.1.1) знакозмінний момент до величини моменту навантаження. Складний рух дебалансів передбачає також формування сил інерції  $F_{in2}$ , що переважно негативно з

$F_{in1}^{n(n)}$  впливають на водило трансформатора (поз.1.1.2), оскільки згідно з особливостями кінематики негативні імпульси вказаних сил значно перевищують позитивні.

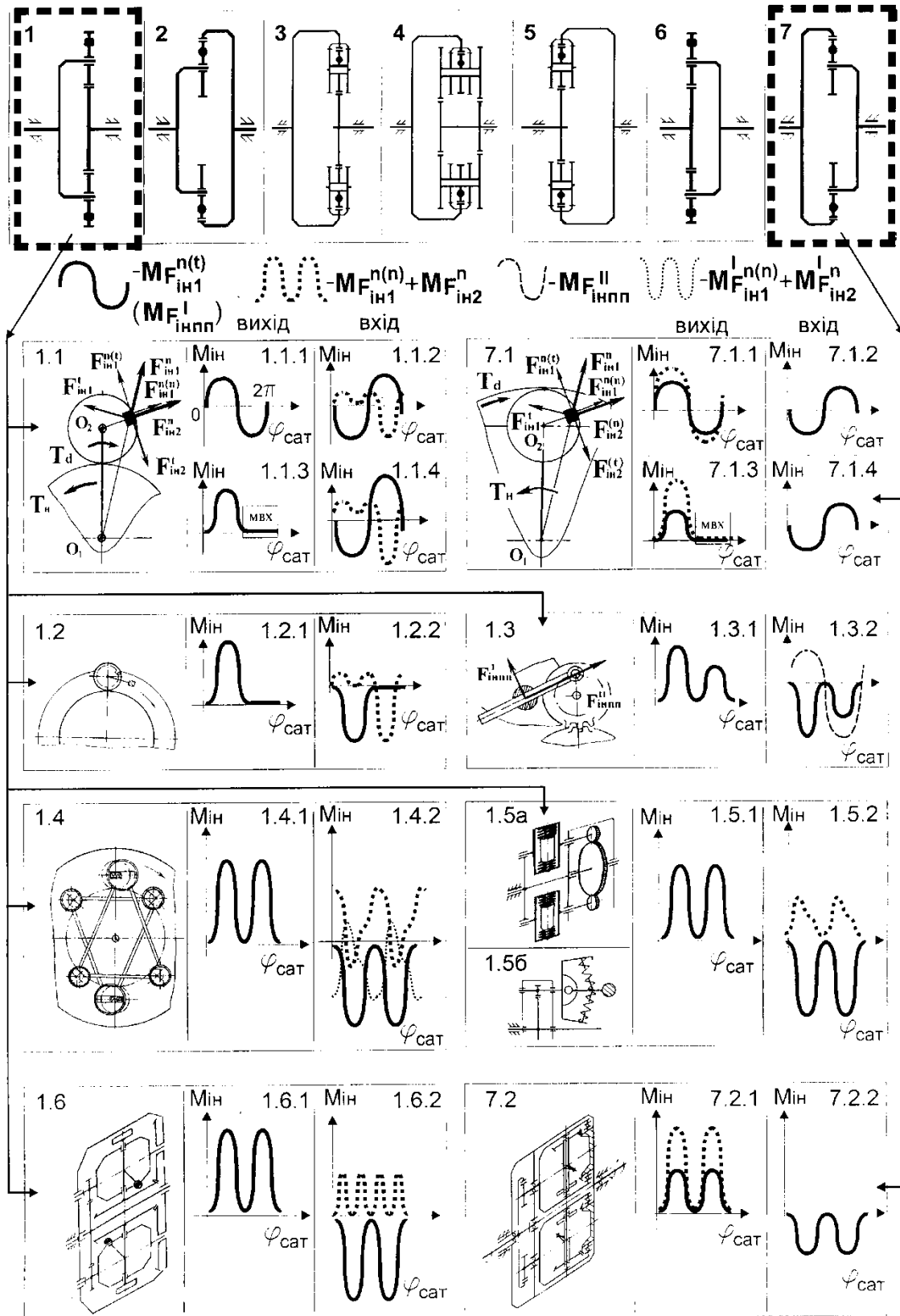


Рис.1. Особливості формування обертового моменту інерційними планетарними трансформаторами моменту та вплив відцентрових сил інерції на вихідні та вхідні ланки ПІМ.

Наявність на вході приводу маховика дозволяє знехтувати впливом тангенціальних сил інерції відносно вісі  $O_I$  водила  $F_{in1}^t$  (рис.1, поз.1.1). Однак на формування обертового моменту на виході вказаних передач впливають кінематичні особливості, зокрема передбачене в режимі трансформації нерівномірне обертання сателітів та вихідного центрального колеса. Це зумовлює впровадження на виході передачі вихідного механізму вільного ходу або пружної ланки (наприклад, торсіону)[1,3].

Передачі на основі імпульсного механізму Чалмерса передбачають формування обертового моменту силами інерції  $F_{in2}^n$  (рис.1, поз.7.1), насамперед у стоповому режимі. Обертання вихідного водила зумовлює формування сил інерції  $F_{in1}^n$ , які, впливаючи на сателіти, забезпечують разом з безпосередньо чинними на водило силами інерції  $F_{in2}^n$  режим трансформації моменту (поз.7.1.1) аж до переходу на пряму передачу. Оскільки вказані сили інерції  $F_{in2}^n$  не впливають на обертання сателітів і, відповідно, на вхід (а також формують обертовий момент на виході при рівномірному обертанні сателітів), момент двигуна використовується для розкручування сателітів та погашення імпульсів  $F_{in1}^{n(t)}$  (поз.7.1.2) після виходу з стопового режиму.

Незалежно від способу формування силами інерції обертового моменту в передачах з жорстким закріпленням дебалансів на сателітах на виході почергово виникають позитивні та негативні імпульси обертового моменту (поз.1.1.1; 7.1.1), що зумовлює їх дообладнання перетворювачами руху у вигляді механізмів вільного ходу. Гасячі негативні імпульси обертового моменту на виході (поз.1.1.3; 7.1.3), корпусний механізм вільного ходу позитивно впливає також на забезпечення балансу потужності на вході (поз.1.1.4; 7.1.4), що важливо в передачах з двигунами обмеженої потужності. Проте саме довговічність механізмів вільного ходу стримує практичне застосування вказаних передач.

Як показав аналіз компоувальних схем інерційних планетарних трансформаторів обертового моменту [3], окремі запропоновані передачі, здебільшого на основі імпульсного механізму Х.Хоббса (рис.1, поз.1.2-1.6), передбачають формування знакопостійного обертового моменту безпосередньо на виході ПІМ.

У випадках шарнірного співвісного (поз 1.2) та ексцентричного (поз.1.3) зв'язку дебалансів з сателітами з можливістю переміщення дебалансів у паралельних до торців сателітів площинах утворення знакопостійного моменту на виході (поз.1.2.1; 1.3.1) пов'язане з труднощами погашення негативних імпульсів моментів сил інерції  $M_{F_{in2}^n} + M_{F_{in1}^{n(n)}}$  (поз.1.2.2) та  $M_{F_{in1}^{inn}}$  плоскопаралельного руху дебалансів (поз.1.3.2) на водило, а також непередбаченістю кінематики, що стримує ефективне використання передач як трансформаторів моменту.

Формування знакопостійного моменту на виході (поз.1.4.1, 1.5.1) у передачах з повзунним переміщенням дебалансів в одній з діаметральних площин сателітів зумовлене допоміжним зв'язком дебалансів з водилом (поз 1.4) або безпосереднім впливом на переміщення дебалансів сил інерції (поз.1.5а). У першому випадку більшість запропонованих конструктивних рішень виявилися малоефективними через неузгодженість впливу сил інерції, насамперед  $F_{in2}^n$  ( $M_{F_{in1}^n}^1 + M_{F_{in2}^n}^1$ , поз.1.4.2) з особливостями кінематики (вісь обертання дебалансу тут і в подальшому не завжди співпадає з віссю сателіту, а  $F_{in2}^n$  представлена як відцентрова сила інерції відносного руху), усунення якої ( $M_{F_{in1}^{n(n)}} + M_{F_{in2}^n}$ , поз.1.4.2) вимагає значного ускладнення конструкції (поз.1.4) [3,4].

У випадку орієнтації дебалансів силами інерції формування знакопостійного моменту на виході (поз.1.5.1) ускладнене не впливом на водило сил інерції (поз.1.5.2), а

непередбаченістю кінематики дебалансів, що позитивно розв'язується запропонованим співвісно сателітам підпружиненням дебалансів (поз.1.5а,1.5б)[3]. Слід, однак, зауважити, що у цьому випадку сили інерції зумовлюють також відхилення дебалансів відносно вісей сателітів, що вимагає значних обертів на вході.

Трансформатори моменту з шарнірним зв'язком дебалансів із сателітами з можливістю обертання дебалансів в одній з діаметральних площин відповідного сателіту з однаковими з сателітами кутовими швидкостями (поз.1.6) передбачають формування знакопостійного моменту на виході (поз.1.6.1) з позитивним впливом на водило сил інерції  $F_{in1}^{n(n)}$  та  $F_{in2}^n$  (поз.1.6.2).

Зображений у поз.1.6 (рис.1) інерційний планетарний трансформатор моменту [5] здатний також трансформувати обертовий момент при вихідному водилі, що запропоновано у роботі [6]. Аналогічно раніше відзначеному для забезпечення режиму динамічної муфти передачею на основі імпульсного механізму Чалмерса вхідну шестерню виконано епіциклічною (рис.1,поз.7.2). Джерелом формування знакопостійного обертового моменту тут є сили інерції  $F_{in2}^n$ , що при виході з стопового режиму доповнюються зростаючими силами інерції  $F_{in1}^{n(t)}$  (поз.7.2.1) аж до замикання останніми приводу на прямій передачі.

Формування обертового моменту передачами на основі імпульсного механізму Х.Хоббса базується на миттєвому замиканні приводу моментами  $M_{F_{in1}^{n(t)}}$ . Впровадження більшої кількості пар сателітів у даному випадку навіть при умові формування на виході знакопостійного моменту, наприклад [5], не передбачає у випадку використання передачі як трансформатора моменту фазового зміщення дебалансів (рис.2а). Обертовий момент  $T_{об}$ , таким чином, формується як сума  $\sum T_{1пс} = f M_{F_{in1}^{n(t)}}$  одночасно виникаючих і діючих на вихідне центральне колесо ПІМ моментів кожної пари сателітів.

Оскільки величина сил інерції  $F_{in1}$  зумовлена частотою обертання вхідного маховика, привід передбачає такі характеристики:

1. Сили інерції при заданих вхідних обертах формують на виході обертовий момент  $T_{об} = f M_{F_{in1}^{n(t)}}$  максимальне значення якого не досягає навантаження  $T_n$ . Потужність двигуна незалежно від співвідношення  $T_n$  до  $T_{д max}$  використовується лише для приводу ПІМ (рис.2а, холостий хід).
2. Сили інерції при заданих вхідних обертах формують на виході обертовий момент  $T_{об} = f M_{F_{in1}^{n(t)}}$ , максимальне значення якого досягає навантаження  $T_n$ . Якщо при цьому навантаження  $T_n$  не перевищує  $T_{д max}$ , привід замикається  $M_{F_{in1}^{n(t)}}$ , забезпечуючи режим динамічної муфти (рис.2а, пряма передача).
3. Сили інерції при заданих вхідних обертах формують на виході обертовий момент  $T_{об} = f M_{F_{in1}^{n(t)}}$ , максимальне значення якого досягає навантаження  $T_n$ . Якщо при цьому навантаження  $T_n$  більше від  $T_{д max}$ , привід замикається періодично, забезпечуючи режим трансформації моменту (рис.2а,  $k=3, k=2, k=1,5$ ).

При фазовому зміщенні дебалансів (рис.2б) утворений зрівноважений обертовий момент  $T_{об}$  не перевищує  $T_{д max}$ , що вимагає впровадження понижувальної передачі ( $T_{нпс}$ ). У цьому випадку ПІМ використовується як муфта зчеплення. Слід, однак, зауважити, що вказані передачі, зокрема [4,5], передбачають значний позитивний вплив сил інерції на вхідне водило та автоматичне вимкнення двигуна при перевантаженні, що підтверджує ефективність їх використання.

Формування знакопостійного обертового моменту інерційним планетарним трансформатором моменту [6] зумовлене, в основному, впливом сил інерції  $F_{in2}^n$  (рис.2в), що не пов'язано із замиканням ПІМ. Це дозволяє при рівномірному обертанні

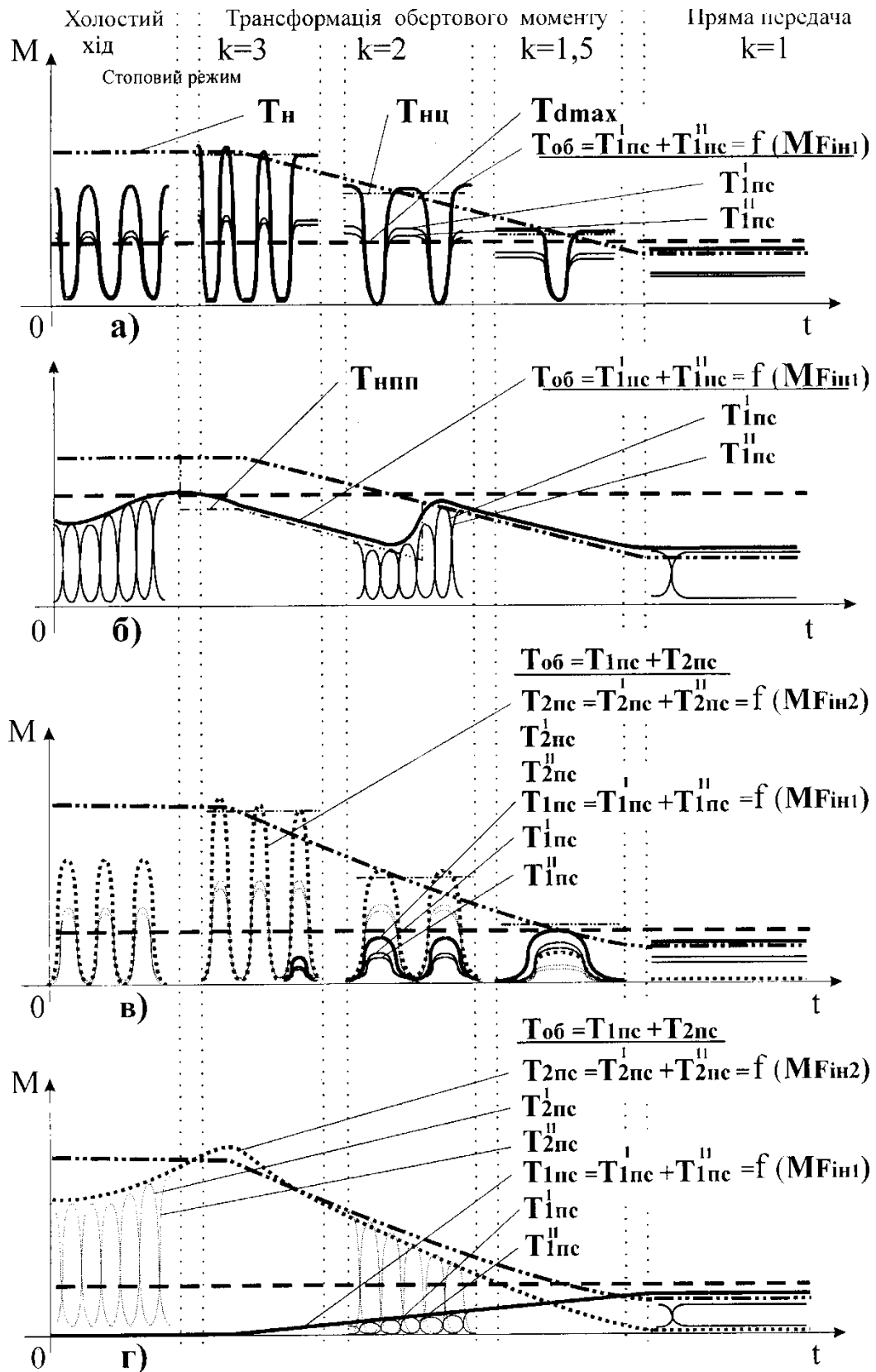


Рис.2. Тенденція формування обертового моменту планетарними імпульсними механізмами на різних режимах роботи.

сателітів утворити імпульсний обертовий момент на вихідному водилі до величини моменту навантаження, досягти певного нерівномірного переміщення вихідного водила на кут, величина якого в режимі трансформації моменту автоматично задається приводом залежно від навантаження та вхідних обертів з наступним зрівноваженням

вихідних обертів вихідним маховиком. Момент сил інерції  $M_{F_{in1}}^{n(t)}$  у цьому випадку формується залежно від вихідних обертів. Проте, гальмуючи сателіти, саме він стає основним (рис.2в,  $k=1,5$ ) і навіть єдиним (серед моментів сил інерції) (рис.2в,  $k=1$ ) джерелом обертового моменту, замикаючи привід.

Відзначені особливості кінематики та динаміки дозволяють формувати обертовий момент  $T_{об}$  зрівноваженим за рахунок фазового зміщення дебалансів. Впровадження, таким чином, хоч би двох пар сателітів з фазово зміщеними дебалансами (рис.2г) дозволяє забезпечити рівномірне обертання вихідного водила на різних режимах роботи передачі без впровадження вихідного маховика. Конструктивне виконання трансформатора моменту [6] полегшується тим, що формування обертового моменту не пов'язане з обмеженням величини моментів інерції його ланок, зокрема сателітів, а особливості динаміки не передбачають впровадження на виході пружного зв'язку та допоміжних (синхронізаційних) систем чи механізмів.

Це дозволяє позитивно оцінити перспективу розвитку та ефективного впровадження ряду відзначених конструктивних рішень як автоматичних безступеневих механічних передач.

*In the article the forming peculiarities of rotary moment by inertial planetary moment transformers are characterized, inertia forces influence on outgoing and entrance links of separate planetary impulse mechanisms are analysed. The tendency of forming of rotary moment by inertial transformers on the basis of only planetary impulse mechanism and counterpoising possibility of rotary moment and angle speed on transformer going out are researched.*

### **Література**

1. Леонов А.И. Инерционные автоматические трансформаторы вращающего момента.-М.: Машиностроение, 1978.-224 с., ил.
2. Мальцев В.Ф. Механические импульсные передачи. – М.: Машиностроение, 1978.-366 с.
3. Нагорняк С.Г., Данилишин Г.М. Аналіз компоновальних схем і шляхи покращення працездатного стану інерційних планетарних трансформаторів обертового моменту // Вісник Тернопільського державного технічного університету.-Тернопіль: ТДТУ.-2000.- Т.5. № 1.–С. 62- 69.
4. Заявка № 99073945 на винахід, МПК F16H31/00, В60K17/08.- Інерційний планетарний трансформатор моменту/ Г.М.Данилишин (Україна). Подано 12.07.99.-7 с.
5. Заявка № 99126557 на винахід, МПК F16H31/00, В60K17/08.- Інерційний планетарний трансформатор моменту/ Г.М.Данилишин (Україна). Подано 02.12.99.-6 с.
6. Заявка № 2000063500 на винахід, МПК F16H31/00, В60K17/08.- Інерційний планетарний трансформатор моменту/ Г.М.Данилишин (Україна). Подано 15.06.2000.-6 с.

*Одержано 04.12.2000 р.*