

**СИЛОВИЙ ВАРІАТОР НЕПЕРЕРВНОГО
ПЕРЕТВОРЕННЯ КУТОВИХ ШВИДКОСТЕЙ****Хліняк О.Г.** (ДП ІМіС, м. Харків, Україна)Тел. /Факс (057) 717 11 76; e-mail: imis-n@ukr.net

Анотація: Цей варіатор може безперервно перетворювати кутові швидкості починаючи з 0, передавати практично необмежені моменти. Стабільна робота гарантується за будь-яких умовах експлуатації. За допомогою цього винаходу силові трансмісії можуть мати великий економічний ефект

Ключові слова: варіатор, потужність, коробки передач, крутний момент

Вступ. Переважна більшість сучасних трансмісій, які передають обертовий рух від приводних двигунів до робочих органів різноманітних машин і механізмів, мають потребу у варіації (зміні) передавального співвідношення. Робочими органами можуть бути колеса автомобіля, роторні частини верстатів, валки прокатних станів, тощо. У трансмісіях великої потужності (кар'єрні самохвали, важкі трактори, тепловози) наразі застосовують складні та енерговитратні гідравлічні та електромеханічні варіатори, які мають високу собівартість та обмежений діапазон регулювання передавального співвідношення. У той же час найбільш прості та енергоефективні механічні варіатори застосовуються, як правило, лише у трансмісіях невеликої потужності (мопеди, легкові автомобілі, легкі верстати, тощо).

Отже, для покращення енергозбереження, зниження собівартості та розширення функціональних можливостей силових механічних трансмісій великої потужності мусять бути розроблені нові типи механічних варіаторів із покращеними характеристиками, які придатні для застосування у зазначених трансмісіях.

1. Постановка проблеми.

Усі нині існуючі механічні варіатори можна розділити на фрикційні та імпульсні. Фрикційні варіатори, де передача обертового руху та крутного моменту на ведений вал відбувається за рахунок взаємодії поверхонь тертя, мають невеликий діапазон регулювання ($D=4\div 6$) та обмежений крутний момент, що не дозволяє передавати велику потужність. Ці варіатори спроможні працювати рівномірно та стабільно, поки крутний момент на веденому валу не сягне певної критичної межі $M_{кр.}$, коли починається неконтрольоване взаємне ковзання поверхонь тертя [1]. Імпульсні варіатори, в яких передача обертового руху на ведений вал здійснюється через шестерні та механізми вільного ходу (МВХ), які працюють у режимі примусових коливань кручення, можуть передавати великі крутні моменти та мають набагато більший діапазон регулювання ($D=20\div 30$). Суттєвою вадою таких варіаторів є недостатня рівномірність роботи, особливо при низьких обертах веденого валу, коли амплітуда коливань МВХ стає гранично малою, сумірною з величиною початкового люфту МВХ. Коли оберти веденого валу знижуються до 50 об/хв, коливання крутової швидкості цього валу сягають критичної межі у 25% [2].

Отже, усі механічні варіатори мають принципові вади, які обмежують їх застосування.

2. Актуальність дослідження.

З огляду на вищесказане, вбачається доцільним створення високомоментного механічного варіатора неперервної дії, в якому забезпечена можливість передачі великих крутних моментів на ведений вал через зубці нормальними складовим зусиль

(як в імпульсному варіаторі) з одночасним підтриманням високої рівномірності обертання цього валу в усьому діапазоні регулювання передавальних співвідношень, у тому числі при гранично низьких обертах цього валу.

3. Зв'язок авторського доробку із можливими науковими та практичними завданнями.

Розроблена автором нова конструкція механічного варіатора захищена Патентом України №87231 від 25.06.2009. Виготовлено дослідно-промисловий зразок варіатора. Проведені стендові випробування, які повністю підтвердили працездатність варіатора та його спроможність передавати великий крутний момент, підтримуючи при цьому рівномірне обертання веденого валу в усьому діапазоні регулювання передавальних співвідношень, у тому числі при гранично низьких обертах веденого валу. При цьому максимальне передавальне співвідношення дорівнювало 1000, що відповідає практично повній зупинці веденого валу. Автору невідомі варіатори із аналогічними характеристиками.

4. Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Як зазначено у роботі [2], наразі переважну більшість використовуваних у техніці варіаторів складають механічні фрикційні варіатори із невеликим діапазоном регулювання ($D=4\div 6$). Крім того, відомий планетарно фрикційний дисковий варіатор COMBARGO потужністю 10 kW із «м'якою» робочою характеристикою та розширеним діапазоном регулювання [3]. В зазначеному варіаторі зберігаються такі вади як невелика потужність та обмежений крутний момент.

5. Виділення частин загальної проблеми, котрим присвячується зазначення стаття.

В статті розглянуті основні питання щодо створення високомоментного нефракційного механічного варіатора неперервної дії з розширеним діапазоном регулювання. Особлива увага приділена пошуку шляхів покращення рівномірності роботи пропонованого варіатора при гранично низьких обертах веденого валу.

6. Новизна.

Авторами розроблена принципово нова конструкція високомоментного механічного варіатора неперервної дії, захищена Патентом України №87231 від 25.06.2009.

7. Загальнонаукове значення

Пропонований механічний варіатор являє собою новий тип силової механічної передачі, спроможної рівномірно та стабільно працювати як в однопоточковому, так і в багатопоточковому режимі передачі обертового руху та крутного моменту на ведений вал, при чому цей момент може бути навіть більшим, ніж крутний момент, що передається звичайним нерегульованим зубчастим редуктором з аналогічними масо-габаритними характеристиками. Ще однією унікальною особливістю пропонованого варіатора є максимально розширений діапазон регулювання передавального співвідношення ($D\approx 1000$)

8. Викладення основного матеріалу.

Загальна схема пропонованого варіатора зображена на Рис.1. Варіатор включає в себе нерухомий корпус 1, в якому з можливістю обертання встановлено ведучий вал 2 та ведений вал 3. На валу 2 встановлено ексцентриковий механізм 4 з валом 5, на якому з можливістю обертання встановлена кільцеподібна проміжна ланка 6, з'єднана за допомогою карданової передачі з веденим валом. На корпусі встановлено нерухоме черв'ячне колесо 7 із круговими пазами 8, з якими взаємодіють дугоподібні направляючі 9, жорстко з'єднані з корпусами черв'яків 10. Кожен корпус черв'яка, який за допомогою шарнірної тяги 11 з'єднаний з проміжною ланкою, містить у собі

встановлений з можливістю провертання вал черв'яка 12, з'єднаний з цим валом черв'як 13, конічний упор черв'яка 14 та упор корпуса 15, з'єднаний з корпусом черв'яка за допомогою фрикційної муфти 16 із регульованим моментом тертя. Усі черв'яки знаходяться у постійному зчепленні з колесом 7. З ексцентриковим механізмом 4 взаємодіє встановлений на корпусі гвинт управління 17.

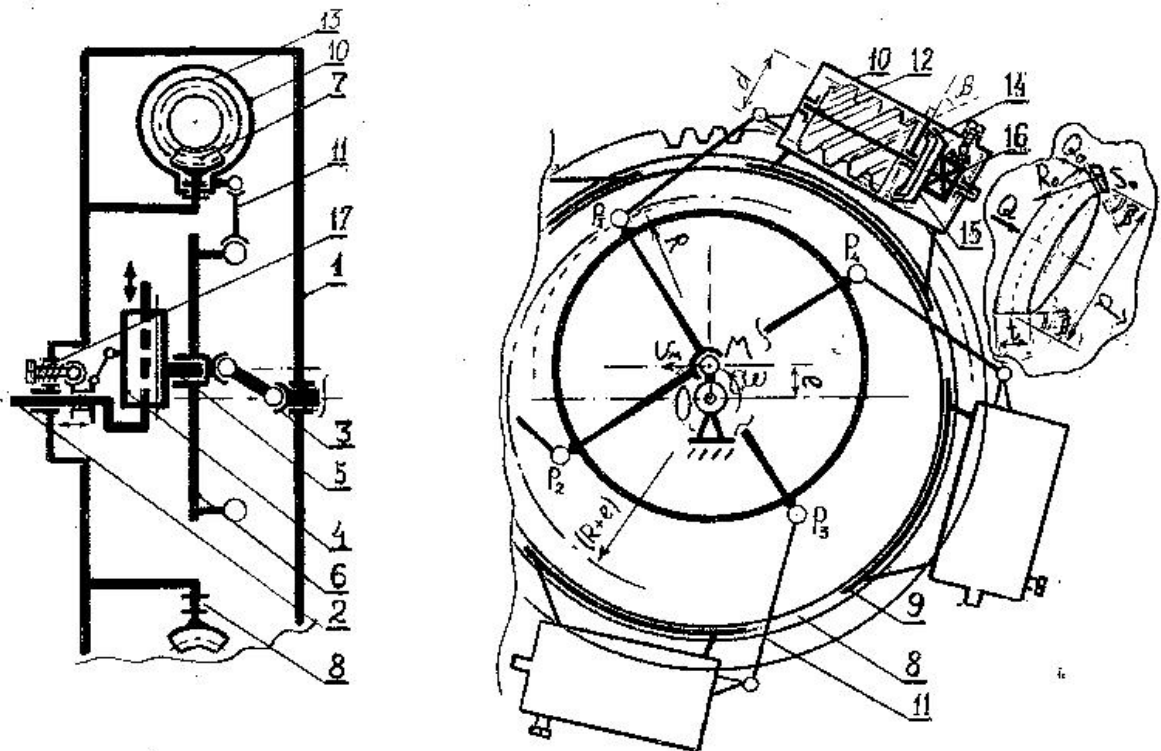


Рис. 1 – Загальна схема варіатора

Робота варіатора.

Розглянемо, як запропонований варіатор передає обертовий рух на ведений вал. Нехай ведучий вал 2 обертається з постійною кутовою швидкістю ω проти годинникової стрілки навколо осі, яка проходить через точку O . При цьому точка M , розташована на осі валу ексцентрикового механізму 5 у площині поперечного перерізу, описує навколо точки O коло радіуса e . Величину e назовемо «ексцентриситет варіатора». Нехай у даний момент часу найближче до точки M розташувався корпус черв'яка, з'єднаний з шарніром P_1 . Проміжна ланка 6 разом з точкою M намагається просунутись вліво, тягнучи за собою зазначений корпус черв'яка разом із черв'яком та валом черв'яка, при цьому черв'як починає взаємодіяти з черв'ячним колесом, конічний упор корпусу починає взаємодіяти з відповідним упором валу черв'яка, внаслідок чого черв'як у своєму корпусі самозаблокується, а обертовий рух відповідного корпусу черв'яка проти годинникової стрілки стає неможливим, через що миттєвий центр швидкостей (МЦШ) проміжної ланки 6 опиняється у точці P_1 . Решта корпусів черв'яків вільно обертаються навколо черв'ячного колеса за годинниковою стрілкою. По мірі подальшого провертання ведучого валу МЦШ ланки 6 послідовно розташовуватиметься у шарнірах $P_2, P_3, P_4 \dots$, залишаючись при цьому на промені $[OM]$. Бачимо, що проміжна ланка 6 здійснює складний плоско-паралельний рух, який відповідає обертовому рухові малого рухомого кола радіуса R , яке обкочується без

ковзання в середині великого нерухомого кола радіуса $(R+e)$ з центром у точці O . Передавальне співвідношення варіатора буде таким:

$$i = (R + e) / e; \quad (1)$$

Обертаючись навколо точки M за годинниковою стрілкою, проміжна ланка 6 передає обертовий рух через карданову передачу на ведений вал 3 .

Зазначимо, що кут під'йому гвинтової лінії β для кожного черв'яка є більшим ніж кут тертя у гвинтовій парі «черв'як – черв'ячне колесо».

Передача крутного моменту.

Для забезпечення можливості передачі крутного моменту на ведений вал мусить бути дотримані певні співвідношення між кутом нахилу конічного упору β та кутом β (див. рис.1). Нехай черв'як разом із конічним упором валу черв'яка притискається до упору корпусу черв'яка із силою $\vec{Q}$. Визначимо момент тертя та коефіцієнт тертя на конічному упорі корпусу, для чого виділимо на цьому упорі елементарну площинку довжиною t . Неважко бачити, що площа цієї площинки дорівнюватиме:

$$S_0 = 0,5d \cdot t \cdot d\varphi; \quad (2)$$

На цій площинці діятиме елементарна сила реакції R_0 :

$$R_0 = q \cdot S_0; \quad (3)$$

Тут q є питома навантаження на одиницю площі. Якщо R є повна сила реакції на конічному упорі, а S є повна площа упору, то:

$$q = R / S; \quad (4)$$

Запишемо умови рівноваги площинки S_0 :

$$Q_0 = R_0 \sin \beta + R_0 \cdot f \cos \beta = R_0 (\sin \beta + f \cos \beta); \quad (5)$$

Тут f є коефіцієнт тертя ($f \approx 0,1$).

Запишемо умови рівноваги конічного упору:

$$Q = \int_0^{2\pi} Q_0 d\varphi; \quad (6)$$

Останній вираз можна представити у наступному вигляді, враховуючи (2) та (3):

$$Q = \int_0^{2\pi} q \cdot 0,5d \cdot t \cdot (\sin \beta + f \cos \beta) df; \quad (7)$$

Оскільки підінтегральна функція не залежить від f , матимемо:

$$Q = \pi \cdot d \cdot t \cdot q (\sin \beta + f \cos \beta); \quad (8)$$

Враховуючи, що $S = \pi d t$, з урахуванням (4), отримаємо:

$$Q = S \cdot q (\sin \beta + f \cos \beta) = R (\sin \beta + f \cos \beta); \quad (9)$$

Тепер можемо визначити приведений коефіцієнт тертя на конічному упорі f враховуючи, що повна сила тертя на упорі дорівнюватиме Rf :

$$f = Rf / Q = f / (\sin \beta + f \cos \beta); \quad (10)$$

Визначимо тепер умови заклинювання черв'яка з урахуванням його взаємодії з черв'ячним колесом та з конічним упором корпусу черв'яка, коли цей корпус намагається провернутися проти годинникової стрілки. На зуб черв'яка діє окружна

сила $\vec{P}$, яка наступним чином пов'язана з крутним моментом на веденому валу M та з діаметром черв'ячного колеса d_k :

$$P = 2M / d_k; \quad (11)$$

На черв'як діятиме активний момент $M_A = Ptg\beta$, реактивний момент від сил тертя на зубі черв'ячного колеса $M_{(3)} = Pf \cdot 0,5d$ та реактивний момент від сил тертя на конічному упорі $M_{(y)} = P\mathcal{f} \cdot 0,5\mathcal{d}$. Тут $\mathcal{d}$ є середній діаметр конічного упору. Рівняння рівноваги для заклиненого черв'яка матиме вигляд:

$$M_{(A)} \leq M_{(3)} + M_{(y)}; \quad (12)$$

Тепер можемо оцінити гальмівний момент на конічному упорі:

$$M_A - M_{(3)} \leq M_{(y)}; \quad (13)$$

З урахуванням (11) остаточно матимемо:

$$M(d / d_k) \cdot (tg\beta - f) \leq M_{(y)}; \quad (14)$$

Для чіткого спрацьовування системи «черв'як – черв'ячне колесо – корпус черв'яка» у режимі заблокування та розблокування цілком достатньо забезпечувати гальмівний момент на упорі корпусу черв'яка в межах:

$$M(d / d_k) \cdot (tg\beta - f) \leq M_{(y)} \leq 1,5M(d / d_k) \cdot (tg\beta - f); \quad (15)$$

При цьому бажано, щоб кути β та $\mathcal{B}$ задовольняли умовам:

$$\begin{cases} 0,2 \leq tg\beta \leq 0,5; \\ 0,2 \leq tg\mathcal{B} \leq 0,5; \end{cases} \quad (16)$$

Оскільки діаметр черв'ячного колеса багаторазово перевищує діаметр черв'яка, то з урахуванням (15) та (16) можемо зробити висновок:

$$M_{(y)} \ll M; \quad (17)$$

Тобто момент від сил тертя на конічному упорі набагато менший, ніж крутний момент на веденому валу M , що обусловлює невеликі навантаження, які припадають на регульовану фрикційну муфту 15 конічного упору. Можемо записати наступне співвідношення між $M_{(y)}$ та M :

$$M_{(y)} = k_\pi \cdot M \quad (18)$$

Тут k_π є коефіцієнтом передачі зусиль на конічному упорі ($k_\pi \ll 1$).

Розглянемо невеликий числовий приклад:

Нехай $(d / d_k) = 0,1$; $\beta = 0,2$; $\mathcal{B} = 0,2$; $\mathcal{d} = d$; $\mathcal{f} = 0,25$.

При таких значеннях числових параметрів

$$M_{(y)} \approx 0,7 M_a$$

Оскільки з урахуванням (15) $M_a \approx 0,02 M$, то

$$M_{(y)} \approx 0,014 M$$

Тобто $k_\pi = 0,014$, отже, момент на фрикційній муфті конічного упору складає менше 1,5% від крутного моменту на веденому валу, а основна силова взаємодія при передачі крутного моменту на ведений вал відбуватиметься у місцях контакту зубів черв'ячного колеса із загальмованим черв'яком.

Якщо крутний момент на веденому валу M перевищить певну критичну межу, обумовлену моментом тертя на фрикційній муфті та величиною коефіцієнта передачі зусиль k_π , раніше загальмований черв'як повернеться на певний невеликий кут разом з упором та фрикційною муфтою, тоді почне загальмовуватись ще один черв'як, наступний за напрямком обертання умовного кривошипів [ОМ), оберти веденого валу зменшаться, а передача зусиль відбуватиметься через два або три напівзагальмованих черв'яка, тобто варіатор автоматично перейде у багатопотоковий режим роботи.

Бачимо, що пропонований варіатор може працювати у трьох режимах:

1. Передача розрахованого крутного моменту в однопотоковому режимі.
2. Передача збільшеного крутного моменту у багатопотоковому режимі з падінням обертів веденого валу.
3. Робота у режимі запобіжно-фрикційної муфти з повною зупинкою веденого валу.

З метою порівняння ефективності роботи різних типів варіаторів на рис. 2 показані робочі характеристики (тобто графіки залежності крутного моменту на веденому валу від обертів цього валу) для різних типів варіаторів:

- для пропонованого варіатора потужністю 10 kW (крива 1);
- для імпульсного варіатора потужністю 10 kW (крива 2);
- для фрикційного варіатора потужністю 10 kW (крива 3);
- для ідеального варіатора потужністю 10 kW, який має 100% ККД (крива 4).

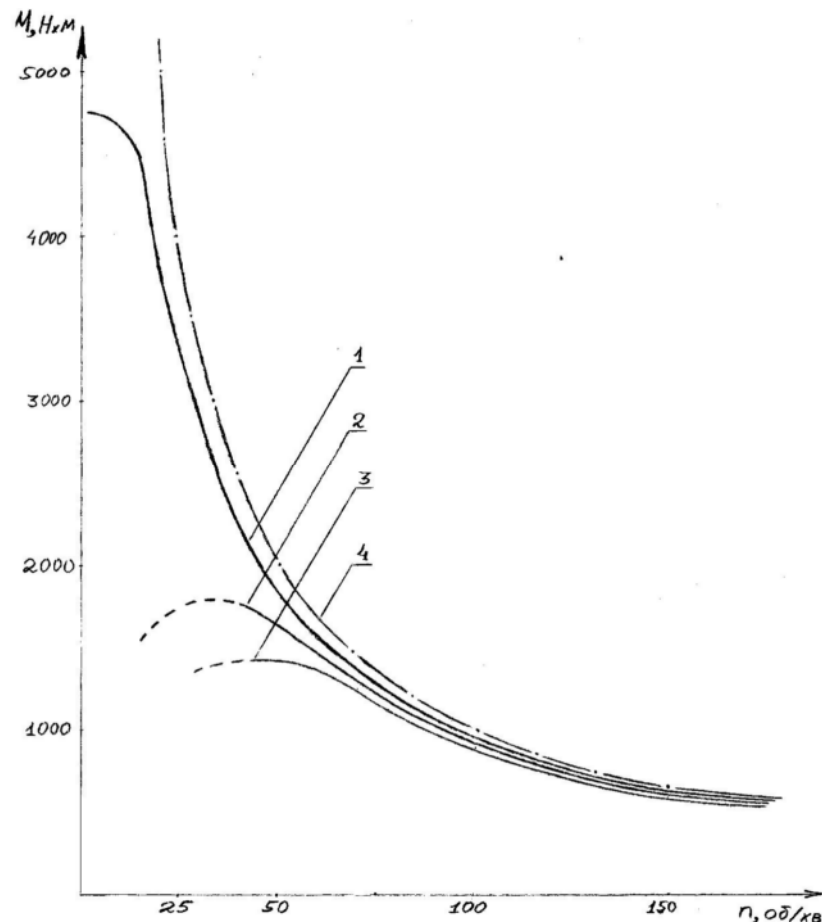


Рис. 2. Робочі характеристики різних типів варіаторів

9. Головні висновки

Пропонований силовий механічний варіатор неперервного перетворення кутових швидкостей спроможний рівномірно та стабільно передавати обертовий рух та крутний момент на ведений вал, маючи при цьому максимально розширений діапазон регулювання передавального співвідношення ($D \approx 1000$). Гарантована неперервність роботи при гранично низьких обертах веденого валу, яка забезпечується як за рахунок застосування нової кінематичної схеми варіатора, так і за рахунок автоматичного переходу на багатопотокову схему передачі зусиль при перевантаженнях цього валу. Принципових обмежень на передачу великих потужностей та крутних моментів пропонований варіатор не має. Очікуваний ресурс роботи є сумірним з ресурсом роботи зубчато-планетарного редуктора з аналогічними масо-габаритними характеристиками.

10. Перспективи використання результатів дослідження

На базі розробленої конструкції варіатора можуть бути створені типорозмірні ряди механічних силових варіаторів високої потужності, спроможні замінити високовартісні та енерговитратні гідравлічні та електромеханічні регульовані трансмісії.

Список літератури: 1. Харитонов С.А. Автоматические коробки передач. – М.: Астрель – АСТ. 2003. – 479с. 2. Мальцев В.Ф. Импульсивные вариаторы. – М.: Машгиз, 1963. – 278с. 3. Гулиа Н.В. Адаптивне вариаторы COMBARGO. Международный информационно-технический журнал «Оборудование и инструменты для профессионалов» №4/2007. 111с.: ЦентрИнформ.

СИЛОВОЙ ВАРИАТОР НЕПРЕРЫВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ

Хлиняк О. Г. (ГП ИМиС, г. Харьков, Украина)

Тел. / Факс (057) 717 11 76; e-mail: imis-n@ukr. Net

Аннотация: Этот вариатор может непрерывно преобразовывать угловые скорости начиная с 0, передавать практически неограниченные моменты. Стабильная работа гарантируется при любых условиях эксплуатации. С помощью этого изобретения силовые трансмиссии могут иметь большой экономический эффект

Ключевые слова: вариатор, мощность, коробки передач, крутящий момент

CONTINUOUS VARIABLE POWER CONVERSION CORNER SPEED

Hlinyak OG (GP IMIS, Kharkov, Ukraine)

Tel. / Fax (057) 717 11 76; e-mail: imis-n @ ukr. Net

Abstract: This variator can change transmission correlations continuously beginning with 0, transmits practically unlimited torques. Stable operation is guaranteed under every conditions of exploiting. Using this invention in a power transmissions can have great economic effect

Keyword: variator, power, transmissions, torque, continuously

Надійшла до редколегії 13.06.2011 р.