

МАШИНОБУДУВАННЯ, МЕХАНІКА ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

DOI 10.31891/2307-5732-2020-291-6-56-61

УДК 621.01

М. М. КОСІЮК, А. М. КОСІЮК, В. С. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ОБОРОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА НАПРЯМКУ РУХУ

В статті розглядаються механізми для перетворення обертального руху в коливальний рух і навпаки. Метою роботи є узагальнення відомостей щодо проектування перетворювача напрямку руху, який сприяв би створенню машин з більш зручною компоновкою.

Пропонується оригінальний сферичний кривошипно-повзунний механізм для оборотних перетворювачів напрямку руху, у якому геометричні осі усіх установлених з можливістю обертання деталей перетинаються в одній «центральної» точці, при цьому немає потреби у балансуванні інерційних мас, немає вібрації, досягаються високі характеристики з надійності та ресурсу роботи. Перетворювач напрямку руху може використовуватися у різних механізмах, пристроях, машинах і виконувати різні функції.

Використання оборотного перетворювача напрямку руху у різних галузях дозволяє отримати значний економічний ефект. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу оборотного перетворювача напрямку руху, що важливо для його практичного використання.

Ключові слова: перетворювач напрямку руху, кривошипно-повзунний механізм, машини об'ємного витискання, трансмісії, двигуни, компресори, насоси.

M. KOSIYUK, A. KOSIYUK V. KRAVCHUK

Khmelnytskyi National University

DESIGN OF MOVEMENT DIRECTION REVERSE CONVERTER

Direction transducers are used in many branches of mechanical engineering to convert the continuous rotation of the master link into reciprocating or reciprocating oscillating motion of the slave and, conversely, to convert the reciprocating motion into continuous. They are used in motion-converting mechanisms, internal combustion engines, reciprocating compressors and pumps, reciprocating feeders and other technological equipment. Designing mechanisms for converting rotational motion into oscillating motion and vice versa is an extremely important task.

The present article deals with the mechanisms for converting rotational motion into oscillatory motion and vice versa. The purpose of the work is to summarize information about the design of a motion direction converter, which would contribute to the creation of machines with a more convenient layout.

The invention proposes an original spherical crank-slider mechanism for reversible motion direction converters, in which the geometric axes of all parts installed with the possibility of rotation intersect at one "central" point, while there is no need for balancing inertial masses, no vibration, high reliability and service life characteristics are achieved. The direction converter can be used in various mechanisms, devices, machines and perform various functions.

The use of a reversible direction converter in various industries allows obtaining a significant economic effect. The work is planned to be continued in terms of optimization synthesis of the reverse converter of the direction of movement, which is crucial for its practical use.

Key words: motion direction converter, crank-slider mechanism, volumetric squeezing machines, transmissions, motors, compressors, pumps.

Вступ. Перетворювачі напрямку руху (ПНР) застосовуються в багатьох галузях машинобудування для перетворення безперервного обертання ведучої ланки в зворотно-поступальний або зворотно-коливний рух веденої і, навпаки, для перетворення поворотного руху в безперервний. Їх використовують в механізмах, що перетворюють рух, двигунах внутрішнього згоряння, поршневих компресорах і насосах, поршневих живильниках та в іншому технологічному обладнанні. Проектування механізмів для перетворення обертального руху в коливальний рух і навпаки є надзвичайно актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В історії техніки навряд чи можна знайти пристрої, яким приділялося б стільки уваги, скільки випало на долю механізмів перетворення зворотно-поступального руху в обертальний. З часів Дж. Пакарда, (1780 р - патент на кривошипно-шатунний механізм (КШМ)) і Дж. Уатта (1784 г. - перша парова машина з КШМ) тисячі винахідників різних країн і поколінь натхненно шукали ідеальну схему, вільну від недоліків КШМ. Особливо інтенсивно цей процес проходив в ХХ столітті і триває досі [1].

КШМ відрізняється простотою, технологічністю і надійністю, однак він має такі недоліки, як невірноваженість поступально рухомих і обертаних мас, що призводить до збільшення маси механізму, наявність «мертвих точок», значний простір, необхідний для руху, а також неможливість відтворення необхідного закону руху повзуна (поршня).

Існують перетворювачі руху, які відмінні від КШМ і мають кращі масогабаритні показники: механізми з плоскою і просторовою обертаними шайбами, механізм з хитною шайбою, механізм "Жіродін", кривошипно-карданний перетворюючий механізм тощо [2].

Авторами пропонується оригінальний сферичний кривошипно-повзунний механізм для оборотних ПНР, у якому геометричні осі усіх установлених з можливістю обертання деталей перетинаються в одній «центральної» точці [3-5]. Він і є об'єктом дослідження.

Мета статті - узагальнення відомостей щодо проектування оборотного ПНР на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму.

Виклад основного матеріалу дослідження. Підвищення продуктивності та надійності машин об'ємного витиснення має важливе народногосподарське значення. На нашу думку, перспективним є використання оборотного ПНР на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму зокрема, як виконавчого механізму компресорів, насосів, пневмо- і гідромоторів, а також у складі трансмісій інших пристроїв [4, 5].

На рис. 1 представлена конструктивна схема оборотного ПНР. В корпусі 1 (верхня частина корпусу і кришки підшипникового вузла не показані) якого встановлено ротор, що включає в себе два вали 2 і 3 з прямолінійними кінцевими і робочим ділянками, які мають при поєднанні Z-подібну форму, причому ротор встановлено в протилежних співвісних підшипниках 4 і 5, центр симетрії середньої частини Z-подібної робочої ділянки ротора збігається з його віссю обертання, кут між поздовжніми осями кінцевих ділянок і середньою частиною Z-подібної робочої ділянки перевищує 0° , але менший 90° , а кінематичний і силовий зв'язок здійснюється через підшипник 6, внутрішнє кільце якого закріплено на Z-подібній робочій ділянці, повзуна 7, виконаного на основі зовнішнього кільця зазначеного підшипника, щонайменше, одного шипа 8 і підшипникового вузла 9, що забезпечує зв'язок між повзуном 7 і коливальною кінематичною ланкою, виконаною у вигляді обойми 10, яка з безперервним зазором вільно охоплює повзун 7, встановлена у корпусі 1 в двох протилежних співвісних підшипниках 11 і 12 так, що їх спільна геометрична вісь перпендикулярна геометричній осі ротора і жорстко зв'язана з встановленими в зазначених підшипниках двома валами 13 і 14, які виступають за межі корпусу 1 перетворювача напрямку руху з його протилежних сторін.

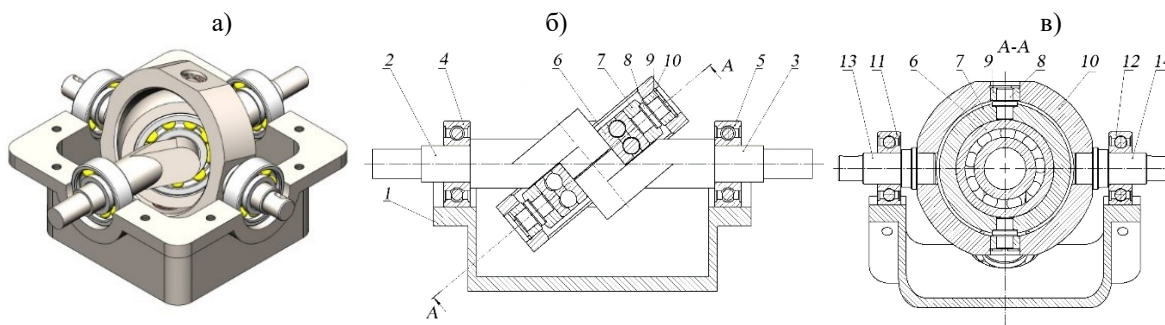


Рис. 1. Конструктивна схема ПНР:

а – просторова схема ПНР; б - поздовжній розріз ПНР по ротору; в - розріз А-А перетворювача напрямку руху.

В залежності від технічних характеристик оборотного перетворювача напрямку руху, умов експлуатації можливі різні конструктивні варіанти його виконання. На рис. 2. представлені конструктивні схеми кривошипно-повзунного механізму оборотного ПНР на основі: підшипника ковзання; підшипника кочення і зведеного циліндричного підшипникового вузла.

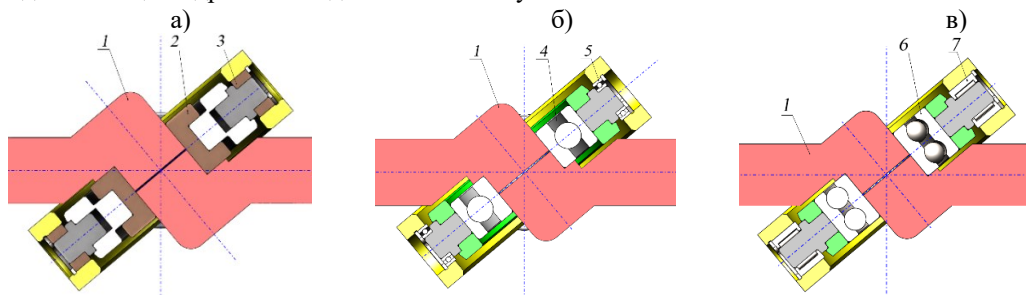


Рис. 2. Конструктивні схеми кривошипно-повзунного механізму оборотного ПНР на основі:

а – підшипника ковзання; б – підшипника кочення; в - зведеного циліндричного підшипникового вузла;
1 - кривошип; 2 - підшипник ковзання; 3 - підшипник ковзання; 4 - підшипник кочення; 5 - підшипник кочення; 6 - зведений підшипник кочення; 7 - голковий підшипник.

Унікальність сферичного кривошипно-повзунного механізму оборотного перетворювача напрямку руху полягає в тому, що осі симетрії всіх деталей, які обертаються і рухаються, перетинаються лише в одній «центральної» точці, при цьому немає потреби у балансуванні інерційних мас, відсутня вібрація, досягаються високі характеристики з надійності та ресурсу роботи.

Проведено комплекс віртуальних досліджень оборотного ПНР у програмному продукті SolidWorks Simulation. Це дозволяє ще на стадії проектування швидко провести імітаційне моделювання та розрахунки методом кінцевих елементів з досить високим ступенем достовірності, отримати та проаналізувати результати моделювання, як у числовому, так і графічному вигляді. На рис. 3 представлена кінцево-елементна модель і фрагмент звіту інженерного аналізу ПНР. Проведені моделювання дозволяють поліпшити якість проектування, визначити граничні рівні навантажень і деформацій при прикладенні

навантаженнях, при цьому отримувати точні результати для критичних компонентів, оптимізувати конструкцію ПНР та деталей й уникнути непотрібних витрат на матеріал. Спираючись на результати комп'ютерного проектування і комп'ютерного інжинірингу, можна зробити конструкцію ПНР економічно вигіднішою і практичнішою.

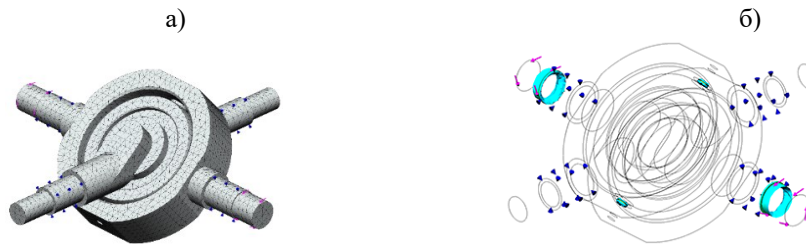


Рис. 3. Моделі перетворювача напрямку руху:
а - кінцево-елементна модель ПНР; б – фрагмент звіту інженерного аналізу ПНР;.

На ранніх етапах проектування ПНР перед розробниками постає питання про працездатність механізму в цілому, причому з точки зору не тільки забезпечення міцності окремих його частин, а й взаємодії частин і вузлів у процесі роботи. Використовуючи розрахункову схему, представлену на рис. 4, отримано аналітичні залежності, які можуть використовуватися при проектуванні ПНР [6,7].

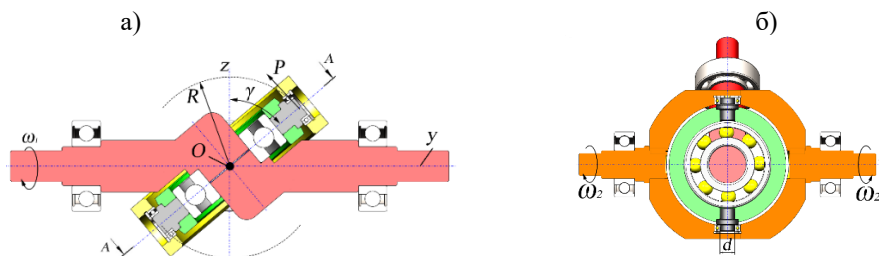


Рис. 4. Розрахункова схема ПНР:
а - поздовжній розріз по вхідному валу; б - розріз А-А по вихідних валах.

Кінематичне рівняння обертального руху має вигляд:

$$\varphi = f(t).$$

де φ – кут повороту (кутове переміщення).

Кутове переміщення вхідного валу

$$\varphi_1 = \omega_1 t,$$

де кутова швидкість вхідного валу ω_1

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{\pi n_1}{30}.$$

Оскільки кутова швидкість вхідного вала $\omega_1 = \text{const}$, то кутове прискорення

$$\varepsilon_1 = 0.$$

Значення кутової швидкості вихідних валів визначається за формулою:

$$\omega_2 = \omega_1 \tan \gamma \sin \varphi_1 = \omega_1 \tan \gamma \sin \omega_1 t,$$

де $\gamma = \text{const}$, кут нахилу кривошипа.

Кутове прискорення вихідних валів визначається за формулою:

$$\varepsilon_1 = \omega_1^2 \tan \gamma \cos \varphi_1 = \omega_1^2 \tan \gamma \cos \omega_1 t$$

Переміщення обойми визначається за формулою:

$$S = R \tan \gamma (1 - \cos \varphi_1) = R \tan \gamma (1 - \cos \omega_1 t).$$

При $t=0$ переміщення $S = 0$.

Передаточне число ПНР визначається за формулою:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{\omega_1 \tan \gamma \sin \varphi_1}{\omega_1} = \tan \gamma \sin \omega_1 t.$$

На практиці часто бувають заданими не моменти (M_k , $H \cdot m$), прикладені до валів, а потужності (N , kBm), які передаються на них або знімаються з них, а також число обертів вала за хвилину (n , $об/хв$). Залежність між цими величинами:

$$N = \frac{\pi n M_k}{30} \frac{H \cdot m}{c}.$$

$$N = \frac{\pi n M_k}{1000 \cdot 30} kBm.$$

$$M_k = 9549 \frac{N}{n} H \cdot m$$

де N - виражено в кіловатах, а n - у обертах за хвилину.

На шип повзуна ПНР діє сила P (рис.4). Величина цієї сили визначається за формулою:

$$P = \frac{M_3}{2R},$$

де M_3 – згинальний момент у небезпечному перерізі шипа, $H \cdot m$; R – відстань від осі до середини шипа, m .

Сила P діє на шип повзуна викликаючи його згин і зріз.

$$\sigma_3 = \frac{M_3}{W} \leq [\sigma]_3.$$

W – момент опору згину, m^3 :

$$W = \frac{\pi d^3}{32},$$

де d – діаметр шипа кривошипа, m .

Оскільки на шип повзуна діє зусилля зрізу P , то справедлива залежність:

$$\tau = \frac{P}{F},$$

де F – площа:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}.$$

Здійснюють перевірку умови міцності шипа, порівнюючи величину визначених напружень з допустимими напруженнями згину і зрізу для матеріалу шипа

$$\sigma_3 \leq [\sigma]_3; \tau_{зр} \leq [\tau]_3,$$

де $[\sigma]_3$ - допустиме напруження згину і $[\tau]_3$ - допустиме напруження зрізу для матеріалу шипа.

Значення кутової швидкості і кутового прискорення вихідних валів залежно від кута повороту вхідного вала визначені в системі Mathcad представлені в таблиці 1. Графік залежності - на рис.5.

Значення кутової швидкості і кутового прискорення вихідних валів при різних кутах повороту вхідного вала

Кут повороту вхідного вала, φ град.	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Кутова швидкість вхідного вала, ω_1 рад/с	52,36	52,36	52,36	52,36	52,36	52,36	52,36	52,36	52,36
Кутова швидкість вихідного вала, ω_2 рад/с	0	37,02	52,36	37,02	0	-37,02	-52,36	-37,02	0
Кутове прискорення вихідного вала, ε_2 рад/с ²	2741	1938	0	-1938	-2741	-1938	0	1938	2741

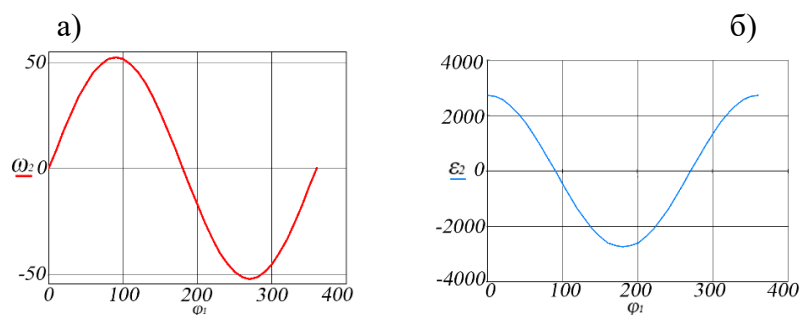


Рис.5. Значення кутової швидкості (а) і кутового прискорення (б) вихідних валів залежно від кута повороту вхідного вала

Аналіз показує, що кутові прискорення вихідних валів в крайніх положеннях малі. Це є позитивною властивістю ПНР. Вихідний вал плавно підходить до крайнього положення і різко розганяється в місцях, близьких до середнього положення, де виникає максимальна кутова швидкість. Такий режим коливання валів не вимагає установки гальм (демпферів).

Оборотний ПНР виготовляють з використанням відомих у промисловості матеріалів, устаткування та інструментів. Він може виконувати різні функції і використовуватися у різних механізмах, пристроях, машинах:

- 1) механізм переривчастого руху із зупинками, які служать для:
 - висадки головок цвяхів, болтів, ковпаків, корпусів конденсаторів та інших виробів у холодно-висадочних автоматів;
 - висадки та вирубки у пресах і молотах;
 - повороту стерня корабля та елеронів у літаках;
 - хитання і повороту заслінок та ін.
- 2) в машинах із зворотнім рухом виконавчих органів:
 - швейних – для хитання вертикального вала, в механізмах подачі рейки, голки та протягувача нитки з одночасним обертанням головного вала машини;
 - в ткацьких і в'язальних верстатах;
 - в тісто- і бетономішалках;
- 3) тихохідні гідронасоси:
 - для перекачування різних рідин при порівняно невеликих тисках (до 2 МПа) і великих подачах;
 - свердловинні: для перекачки нафти, газу, води із великими подачами;
- 4) високомоментні гідро- і пневмодвигуни;
- 5) доїльні апарати;
- 6) двигуни:
 - внутрішнього згорання (дво-, три- і чотирьохтактні);
 - зовнішнього згорання;
 - які працюють на енергії стиснутих газів;
- 7) компресори і вакуумні апарати;
- 8) високопродуктивні, але тихохідні та малогабаритні холодильні компресори для побутових і промислових холодильників;
- 9) гідромасажери з пульсуючими струменями;
- 10) гідровібратори та гідропульсатори, які можна використовувати у машинобудуванні, будівництві, транспорті, гірничій справі (гідро ударники), сільському господарстві, медицині тощо.

Використання оборотного ПНР на основі сферичного кривошипно-повзунного механізму у різних галузях дозволяє отримати значний економічний ефект.

Висновок. У роботі розглянуто конструктивні і функціональні особливості сферичного кривошипно-повзунного механізму для перетворення обертального руху в коливальний рух і навпаки. Наведено результати віртуального експерименту, проведеного на основі твердотільного моделювання механізму ПНР у програмному продукті SolidWorks Simulation. Отримано аналітичні залежності, які можуть використовуватися при проектуванні ПНР. У програмному продукті MathCAD визначені значення кутової

швидкості і кутового прискорення вихідних валів залежно від кута повороту вхідного вала. Оборотної ПНР може використовуватися, як виконавчий механізм компресорів, насосів, пневмо- і гідромоторів, а також у складі трансмісії інших пристроїв. Його використання у різних галузях дозволяє отримати значний економічний ефект. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу оборотної ПНР, що важливо для його практичного використання.

Література

1. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике: Пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей. – В 7 т. – М.: Наука, 1979–1981.
2. Чистяков В. К. Динаміка поршневих і комбінованих двигунів внутрішнього згорання. - М.: Машинобудування, 1989. - 256 с..
3. Косіюк М.М. Кінематичний аналіз сферичного кривошипно-повзунного механізму / Косіюк М.М., Кравчук В.С. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 6. – С. 7–11.
4. Косіюк М.М. Модульна оборотна машина об'ємного витіснення / Косіюк М.М., Косіюк А.М., Кравчук В.С. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2020. – № 3. – С. 105–108.
5. Патент 143170 Україна, МПК F01C 9/00, F04C 9/00. Оборотна машина об'ємного витіснення з коливальним рухом робочих органів: / Косіюк М.М., Косіюк А.М., Кравчук В.С - № u 2020 01307; заявл. 27.02.2020; опубл. 10.07.2020, Бюл. № 13.
6. Кіницький Я. Т. Практикум із теорії механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – Вид. 2-ге. – Л.: Афіша, 2004. – 453 с.
7. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad: навч. посіб. / Я. Т. Кіницький, В. О. Харжевський, М. В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

References

1. Artobolevskiy Y. Y. Mekhanizmy v sovremennoy tekhnike: Posobie dlia ynzhenеров, konstruktorov y izobretatelei. – V 7 t. – M.: Nauka, 1979–1981.
2. Chystiakov V. K. Dynamika porshnevnykh i kombinovanykh dyvuhuniv vnutrishnoho zghoriannia. - M.: Mashynobuduvannia, 1989. - 256 s..
3. Kosiuk M.M. Kinematychnyi analiz sferychnoho kryvoshypno-povzunnogo mekhanizmu / Kosiuk M.M., Kravchuk V.S. // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2019. – № 6. – S. 7–11.
4. Kosiuk M.M. Modulna oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia / Kosiuk M.M., Kosiuk A.M., Kravchuk V.S. // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2020. – № 3. – S. 105–108.
5. Patent 143170 Ukraine, MPK F01C 9/00, F04C 9/00. Oborotna mashyna obiemnoho vytisnennia z kolyvalnym rukhom robochykh orhaniv: / Kosiuk M.M., Kosiuk A.M., Kravchuk V.S - № u 2020 01307; zaivl. 27.02.2020; opubl. 10.07.2020, Biul. № 13.
6. Kinytskyi Ya. T. Praktykum iz teorii mekhanizmiv i mashyn / Ya. T. Kinytskyi. – Vyd. 2-he. – L.: Afisha, 2004. – 453 s.
7. Kinytskyi Ya. T. Teoriia mekhanizmiv i mashyn v systemi Mathcad: navch. posib. / Ya. T. Kinytskyi, V. O. Kharzhevskiy, M. V. Marchenko. – Khmelnytskyi : KhNU, 2014. – 295 s.

Надійшла / Paper received : 24.11.2020 р. Надрукована/Printed :04.01.2021 р.