

УДК 621.514

DOI 10.31891/2307-5732-2020-285-3-16

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

Хмельницький національний університет

МОДУЛЬНА ОБОРОТНА МАШИНА ОБ'ЄМНОГО ВИТІСНЕННЯ

Розглянуто питання розробки кінематичних схем і конструкцій нових машин і механізмів. Аналіз патентної активності за останні роки свідчить про зростання уваги конструкторів до розробки машин об'ємного витіснення різного призначення. Авторами розроблена модульна машина об'ємного витіснення з використанням оригінальної конструкції перетворювача обертого руху в коливальний рух і навпаки. Перетворювач руху може виконувати різні функції, зокрема, як виконавчий механізм двигунів, компресорів і насосів. Його використання дозволяє створити уніфікований ряд модульних конструкцій машин об'ємного витіснення, суттєво знизити їх вартість і отримати значний економічний ефект.

Ключові слова: кінематичні схеми, машини об'ємного витіснення, перетворювач руху, двигуни, компресори, насоси.

M. KOSIYUK, A. KOSIYUK V. KRAVCHUK

Khmelnytskyi National University

MODULAR VOLUME PRESSURE MACHINE

Currently widely used volumetric displacement machines (MOV), which include thermal machines (internal combustion, with external heat supply, steam); hydraulic and pneumatic engines; pumps; compressors, etc. They contain at least one working body mounted in a housing with the possibility of translational (oscillating) motion, and a direction converter capable of receiving or rotating the input shaft with its transformation into translational (oscillating) motion of the working body or translational (oscillating) motion of the working body with transformation its in the rotational motion of the output shaft. The development of kinematic schemes and constructions of new languages is an extremely urgent task.

The issues of development of kinematic diagrams and structures of new machines and mechanisms are contemplated. The analysis of patent activity in recent years displays an increase in attention of designers to the development of volume displacement machines of various purposes. The authors developed the volume displacement machine, using the original design of the converter of rotation motion into oscillatory motion and vice versa. Its uniqueness lies in the fact that symmetry axes of all parts that rotate and move intersect only at one point, at the same time there is no need to balance inertial masses, there is no vibration and high characteristics are achieved with reliability and service life. The motion converter can perform various functions, in particular, as an actuator of motors, compressors, pumps and allows to make a technological breakthrough in the sphere of creation of volume displacement machines. Using the suggested design solutions makes it possible to develop a unified number of modular machines of large displacement with oscillating movement of the working element, significantly reduce their cost and obtain a significant economic effect.

Key words: kinematic schemes, volume displacement machines, the converter of the motion, engines, compressors, pumps.

Вступ. В теперішній час отримали широке застосування машини об'ємного витіснення (МОВ), до яких відносять теплові машини (внутрішнього згорання, з зовнішнім підведенням теплоти, парові); гідравлічні і пневматичні двигуни; насоси; компресори та ін. Вони містять щонайменше один робочий орган, встановлений у корпусі з можливістю поступального (коливального) руху, і перетворювач напрямку руху, здатний сприймати або обертання вхідного вала з перетворенням його в поступальний (коливальний) рух робочого органу або поступальний (коливальний) рух робочого органу з перетворенням його в обертове рух вихідного вала. Розробка кінематичних схем і конструкцій нових МОВ є надзвичайно актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Перетворювачами напрямку руху для поршневих МОВ зазвичай служать кривошипно-шатунні механізми (КШМ). Практика показала, що ці механізми мають суттєві недоліки, подолати які неможливо в принципі. Мається на увазі принципова неможливість рівноваження шатуна і створення шатуном радіальної складової сили інерції, яка, до того ж, постійно змінює свій напрямок на протилежний. Обидва ці недоліки негативно впливають на динамічні характеристики і знижують ресурс роботи КШМ [1, 2].

Аналіз патентної активності за останні роки свідчить про зростання уваги конструкторів до розробки МОВ різного призначення і про перспективність подальших науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт у цій сфері [3, 4]. Актуальним є питання розробки і проектування роторно-лопатевої машини. Це пов'язано з наявністю у машин даного типу істотних переваг у порівнянні з шатунно-поршневою конструкцією: менша кількість деталей; компактність (відношення еквівалентного робочого об'єму до об'єму машини); відсутність складних деталей, таких як колінчастий і розподільний вали; технологічна для виготовлення форма корпусу; мінімальний рівень вібрації за рахунок симетричності конструкції; менші механічні втрати на тертя.

Відома МОВ на основі перетворювача напрямку руху у вигляді сферичного кривошипно-повзунного механізму, в якому геометричні осі обертання всіх ланок перетинаються в одній центральній точці [5, 6]. Однак введення перетворювачів напрямку руху усередину корпусів МОВ утрудняє їх виготовлення, складання і ремонт, зменшує корисний об'єм, виключає можливість надійного ущільнення перемінних робочих об'ємів, що відтинаються коливальними лопатями, і, відповідно, негативно позначається на ККД.

Мета статті полягає в узагальненні результатів роботи зі створення роторно лопатевих машин з коливальним рухом робочих органів, які дозволять здійснити технологічний прорив у сфері МОВ.

Виклад основного матеріалу. Авторами розроблено конструкцію модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів, перетворювач руху якої надійно і з високою ККД перетворює обертальний рух у коливальний чи навпаки. Перетворювач руху, виконаний як окремий модуль, може виконувати різні функції, зокрема, як виконавчий механізм двигунів, компресорів і насосів, сприяє створенню машин з поліпшеними експлуатаційними якостями, зручною компоновкою, кращими властивостями щодо вібрації, врівноваженості, частотного спектру і розширеними функціональними можливостями.

Суть розробки пояснена докладним описом конструкції модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів і описом її роботи з посиланнями на креслення (рис. 1, рис. 2).

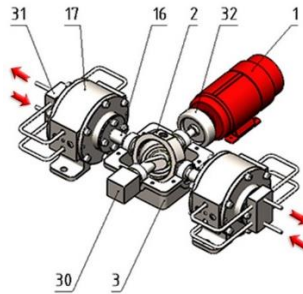


Рис. 1. Просторова схема модульної оборотної МОВ з коливальним рухом робочих органів

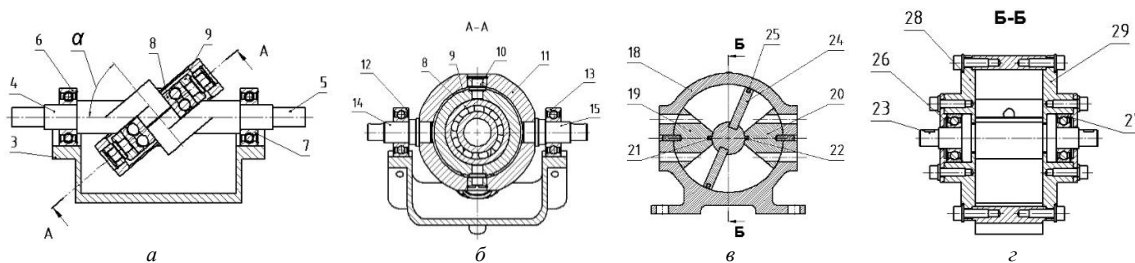


Рис. 2. Конструктивні схеми перетворювача руху і лопатевого пристрою:

a – поздовжній розріз перетворювача руху по ротору з кривошипом; *б* – поперечний розріз А-А перетворювача руху; *в* – поперечний розріз лопатевого пристрою; *z* – розріз Б-Б лопатевого пристрою

МОВ з коливальним рухом робочих органів виконана модульною і містить, двигун або пристрій відбору потужності, наприклад електричний генератор 1, кінематично з'єднаний з перетворювачем руху 2, в корпусі 3 (верхня частина корпусу і кришки підшипникового вузла не показані) якого встановлено ротор, що включає в себе два вали 4 і 5 з прямолінійними кінцевими і робочим ділянками, які мають при поєднанні Z-подібну форму, причому ротор встановлено у протилежних співвісних підшипниках 6 і 7, центр симетрії середньої частини Z-подібної робочої ділянки ротора збігається з його віссю обертання, кут α 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 8, внутрішнє кільце якого закріплено на Z-подібній робочій ділянці, повзуна 9, виконаного на основі зовнішнього кільця зазначеного підшипника, щонайменше, одного підшипникового вузла 10, що забезпечує зв'язок між повзуном 9 і коливальною кінематичною ланкою, виконаною у вигляді обойми 11, яка з безперервним зазором вільно охоплює повзун 9, встановлена у корпусі 3 в двох протилежних співвісних підшипниках 12 і 13 так, що їх спільна геометрична вісь перпендикулярна геометричній осі ротора і жорстко зв'язана з встановленими в зазначених підшипниках двома валами 14 і 15, які виступають за межі корпусу 3 перетворювача руху 2 з його протилежних сторін, причому щонайменше один із них кінематично зв'язаний муфтою 16 з лопатевим пристроєм 17, що має корпус 18, внутрішня поверхня якого виконана циліндричною або сферичною (тороїдальною), розділений на герметичні робочі порожнини, розташованими симетрично один проти іншого, знімними радіальними виступами 19 і 20, що містять ущільнення 21 і 22, вал 23 із закріпленою на ньому двостулковою лопаттю 24, яка містить ущільнення 25 і має в поперечному сеченні форму внутрішньої поверхні корпусу 18, причому вал 23 з підшипниками 26 і 27, установленими в торцевих кришках 28 і 29 корпусу 18, виконаний з можливістю здійснення обертально-коливального руху відносно корпусу 18 на кут рівний куту коливання обойми 11 перетворювача руху 2, а орган керування 30 клапанно-розподільною системою 31 подачі рідини і/або газу, має кінематичний зв'язок з ротором перетворювача руху 2, який оснащений щонайменше одним маховиком 32.

Унікальність перетворювача руху полягає в тому, що осі симетрії всіх деталей, які обертаються і рухаються, перетинаються лише в одній точці, при цьому немає потреби у балансуванні інерційних мас, відсутня вібрація, досягаються високі характеристики з надійності та ресурсу роботи.

Працює МОВ з коливальним рухом робочих органів таким чином. Якщо вхідною кінематичною ланкою є ротор перетворювача руху 2, то двигун 1 обертає цей ротор у підшипниках 6 і 7, площина симетрії

його Z-подібної робочої ділянки і, відповідно, зовнішнє кільце підшипника 8 циклічно змінюють своє просторове положення щодо геометричної осі ротора і змушують повзун 9 робити зворотно-обертальний рух. Повзун 9 через підшипниковий вузол 10 штовхає обойму 11, змушуючи робити коливальний рух відносно осі підшипникового вузла 10. Коливаючись, обойма 11 приводить у зворотно-обертальний рух встановлені у підшипниках 12 і 13 вали 14 і 15, які мають кінематичний зв'язок з валом 23 лопатевого пристрою 17. Якщо ж ротор перетворювача руху 2 є вихідною кінематичною ланкою, поєднаною з пристроєм відбору потужності (генератором) 1, а на вході є працюючий, як двигун, щонайменше один лопатевий пристрій 17, то процес протікає в зворотному порядку.

Лопатевий пристрій 17 може виготовлятися у вигляді роторно-лопатевого модуля різного призначення, а саме двигуна внутрішнього згоряння, двигуна із зовнішнім підведенням теплоти, вакуумного насоса, компресора, нагнітача повітря і/або різних газів, пневмо- і гідروприводу, для об'ємного перекачування рідин, наприклад, в технологічних лініях для мірного наповнення обсягу(ів). Оскільки перетворювач руху виконується окремим модулем і перетворення напрямку руху здійснюється поза корпусом лопатевого пристрою, тому робочий об'єм роторно-лопатевого модуля використовується повністю. Це дозволяє виготовляти високопродуктивні і надійні оборотні МОВ з коливальним рухом робочих органів.

Функціональна можливість МОВ працювати у якості двигуна внутрішнього згоряння досягається тим, що вона додатково оснащується синхронізованими, дистанційно-керованими клапанно-розподільними системами змащення, подачі рідкого і/або газоподібного палива в режимі внутрішнього і/або зовнішнього сумішоутворення та його запалювання, причому корпус роторно-лопатевого модуля забезпечується кожухом сорочки охолодження, а в тілі радіальних виступів, валу і закріпленій на ньому лопаті виконуються порожнини для циркуляції охолоджуючої рідини.

МОВ здатна працювати в якості холодильних машин, наприклад, на такому загальнодоступному холодоагенті, як повітря. Її можна застосовувати в складі переважно промислових морозильників для тривалого збереження швидкопсувних продуктів харчування, або в складі автомобільних, залізничних і корабельних рефрижераторів, а також в якості двигунів зовнішнього згоряння із замкнутим циклом робочого тіла, наприклад, по циклу Стірлінга.

В перетворювачі руху, кривошип кінематично може бути пов'язаний з коливальною кінематичною ланкою не тільки через підшипник ковзання, а і підшипник котіння, зовнішнє кільце якого служить повзуном. Тому оборотний перетворювач напрямку руху на основі такого механізму істотно надійніший і має більш високий ККД у порівнянні з рівнем техніки. Крім того, обойма жорстко зв'язана з двома додатковими співвісними валами, що виступають за межі корпусу перетворювача руху з його протилежних сторін. Це дозволяє опозитно підключати до обойми, наприклад, два поворотних пневмо- чи гідроциліндри з синфазно розташованими лопатями або двигуни зовнішнього чи внутрішнього згоряння.

Модульне виконання конструкцій МОВ сприяє їх уніфікації, істотно спрощує виготовлення, технічне обслуговування і ремонт. Як приклад, можливих конструктивних рішень, на рис. 3 зображені різні компоновки модульних конструкцій компресорів.

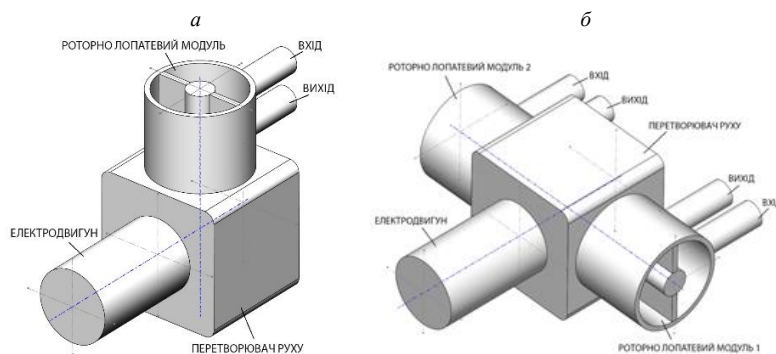


Рис. 3. Різні компоновки модульних конструкцій компресорів:
а – з одним роторно-лопатевим модулем; б – з двома роторно-лопатевими модулями

Ротор перетворювача руху має кінематичний зв'язок із органом керування клапанно-розподільною системою і оснащений маховиком. Це забезпечує виконання алгоритму функціонування машини і стабілізує обертання ротора незалежно від того, чи він є ведучою кінематичною ланкою для приводу лопатей поворотних пневмо- або гідроциліндрів, що працюють, відповідно, як компресори чи насоси, чи він є валом відбору потужності від таких машин, що працюють відповідно як двигуни.

Вирішення проблеми ущільнення рухових частин роторно-лопатевого модуля, організації та реалізації термодинамічного циклу найбільш повно відповідає виконання внутрішньої поверхні його корпусу циліндричною або сферичною (тороїдальною). Герметизація замкнутих обсягів роторно-лопатевого модуля забезпечується за рахунок точності виготовлення деталей і установки лабіринтових або інших ущільнень. Види контактів та ущільнень у різних МОВ зображені на рис. 4. Т-подібна форма січення лопаті різко збільшує її жорсткість і площу контакту, що забезпечує надійність ущільнення робочих камер роторно-лопатевого модуля різного призначення.

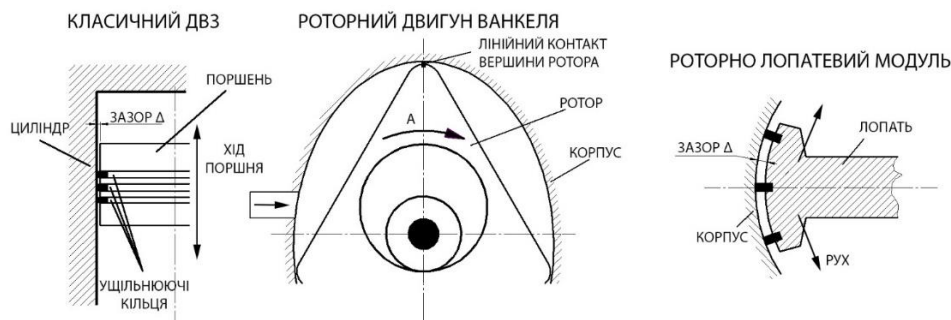


Рис. 4. Види контактів та ущільнень у МОВ

МОВ з коливальним рухом робочих органів можна виготовляти з використанням відомих у промисловості матеріалів, устаткування та інструментів. Природно, що при виборі конкретних форм практичного здійснення можливі довільні комбінації зазначених додаткових відмінностей з основним задумом, який може бути доповнений і/або уточнений з використанням звичайних знань фахівців.

Завдяки своїй компактності, врівноваженості, максимальному літражу при обмежених розмірах корпусу роторно-лопатевого модуля, великій індикаторній потужності і високому тепловому коефіцієнту корисної дії МОВ з коливальним рухом робочих органів може знайти широке застосування на спеціальних машинах, де потрібні потужні і економічні силові агрегати невеликих розмірів.

Висновок. Розглянуті питання розробки кінематичних схем і конструкцій МОВ. Запропонована модульна МОВ з використанням оригінальної конструкції перетворювача обертового руху в коливальний рух і навпаки. Його використання дозволяє створити уніфікований ряд модульних конструкцій МОВ, суттєво знизити їх вартість і отримати значний економічний ефект. Роботу планується продовжити у напрямку оптимізаційного синтезу функціонально-модульної структури МОВ, що важливо для їх практичного використання.

Література

1. Артоболевский И.И. Механизмы в современной технике: пособие для инженеров, конструкторов и изобретателей : в 7 т. / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1979–1981.
2. Автомобильные двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений / [М.Г. Шатров, К.А. Морозов, И.В. Алексеев и др.] ; под ред. М.Г. Шатрова. – 2-е изд., испр. – М. : Академия, 2011. – 464 с.
3. Гринёв Д.В. Конструктивные схемы и принципы работы роторно-лопастных машин / Д.В. Гринёв // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 142–150.
4. Отений Я.Н. Роторно-лопастной двигатель с качающимися лопастями / Я.Н. Отений, А.Э. Вирт // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2015. – № 9. – Ч. 3. – С. 449–451.
5. Пат. 2133833 RU. МПК F01C 9/00, F01C 3/06, F04C 9/00, F16H 21/52. Обратимый преобразователь направления движения и машина объемного вытеснения на его основе / Бельдид Н.Н., Бельдид В.Н. – 27.07.1999.
6. Косіюк М.М. Кінематичний аналіз сферичного кривошипно-повзунного механізму / М.М. Косіюк, В.С. Кравчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2019. – № 6. – С. 7–11.

References

1. Artobolevskij I. I. Mehanizmy v sovremennoj tehnikе: posobie dlya inzhenerov, konstruktorov i izobretatelej : v 7 t. / Artobolevskij I. I. – M. : Nauka, 1979–1981.
2. Avtomobilnye dvigateli : uchebnik dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / [M.G. Shatrov, K.A. Morozov, I.V. Alekseev i dr.] ; pod red. M.G. Shatrova. – 2-e izd., ispr. – M. : Izdatelskij centr «Akademiya», 2011. – 464 s.
3. Grinyov D. V. Konstruktivnye shemy i principy raboty rotorno-lopastnyh mashin / D. V. Grinyov // Vestnik Pskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. Pravo. Upravlenie. – 2014. – № 5. – S. 142–150.
4. Otenij Ya.N. Rotorno-lopastnoj dvigatel s kachayushimisya lopastyami / Ya.N. Otenij, A.E. Virt // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamentalnyh issledovanij. – 2015. – № 9. – Chast 3. – S. 449–451.
5. Pat. 2133833 RU. MPK F01C 9/00, F01C 3/06, F04C 9/00, F16H 21/52. Obratimyj preobrazovatel napravleniya dvizheniya i mashina obemnogo vytesneniya na ego osnove / Beldij N.N., Beldij V.N. – 27.07.1999.
6. Kosiuk M.M. Kinematichniy analiz sferychnoho kryvoshypno-povzunnoho mekhanizmu / M.M. Kosiuk, V.S. Kravchuk // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnogo universytetu. – 2019. – № 6. – S. 7–11.

Надійшла / Paper received: 12.04.2020

Надрукована / Paper Printed : 03.06.2020