

СМУТКО СВІТЛАНА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-7344-3799>e-mail: svsmutko@gmail.com**ПІДГАЙЧУК СВІТЛАНА**

Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького

<https://orcid.org/0000-0002-9868-6447>e-mail: svitlankayar@gmail.com**ОНОФРІЙЧУК ВОЛОДИМИР**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-2914-4986>e-mail: volodymyronofriychuck@gmail.com**РОМАНЕЦЬ ТАРАС**

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-0848-0825>e-mail: tromanec@gmail.com

РОЗРОБКА ПРИНЦИПІВ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ УНІВЕРСАЛЬНИХ ЗУБЧАСТО-ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

В роботі наведено результати аналізу методів досліджень та існуючих розробок з проектування зубчато-важільних механізмів, встановлені їх особливості, які дозволили визначити принципи формування структур універсальних зубчато-важільних механізмів приводу робочих органів технологічних машин.

Ключові слова: робочі органи технологічних машин, сателітна крива, зубчато-важільні механізми.

SMUTKO SVITLANA

Khmelnyskyi National University

PIDHAICHUK SVITLANA

Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytskyi

ONOFRIICHUK VOLODYMYR, ROMANETS TARAS

Khmelnyskyi National University

DEVELOPMENT OF THE PRINCIPLES OF FORMING THE STRUCTURE OF UNIVERSAL GEAR AND LEVER MECHANISMS

There are wide possibilities of using gear-lever mechanisms in the transformation of uniform rotary motion of the driving link into reciprocating, oscillating, non-uniform rotary or movement along a complex closed trajectory. The use of satellite curves of planetary mechanisms in combination with lever mechanisms allows to obtain a wide range of trajectories of executive bodies.

But the use of satellite curves in the mechanisms of the working bodies of some technological machines, the dimensions of which movements lie within 5-30 mm, is connected with a number of limitations. Known mechanisms make it possible to obtain a movement of the executive bodies of at least 50 mm, reducing this limit leads to a decrease in the geometric parameters of gear planetary mechanisms, which leads to the impossibility of ensuring technological efforts, or to the complication of the lever part of gear-lever mechanisms. The development of planetary mechanisms, which will provide the required dimensions of the satellite curves, will allow the creation of gear-lever mechanisms, the trajectories of the movement of the executive organs of which will satisfy the laws of movement of the working organs of the required dimensions.

In order to solve the problem of reducing the size of satellite curves, provided that technological efforts are ensured, it is necessary to look for fundamentally new constructive solutions of gear-lever mechanisms. At the same time, it is necessary to strive for simplicity and compactness of machines when transmitting motion in any direction without reducing the accuracy of transmission, which would contribute to the universalization of mechanisms and machines.

The work presents the results of the analysis of research methods and existing developments in the design of gear-lever mechanisms, their features are established, which allowed to determine the principles of the formation of structures of universal gear-lever mechanisms for driving the working bodies of technological machines.

Key words: working bodies of technological machines, satellite curve, gear-lever mechanisms.

Постановка проблеми

Аналіз сучасного технологічного обладнання у різних галузях промисловості показав, що основними напрямками його розвитку є розробка швидкодіючих високоточних машин та агрегатів, у яких функціональне навантаження все більше переноситься від механічних до електронних та комп'ютерних компонентів. Однак, незважаючи на загальну тенденцію до спрощення кінематичних ланцюгів та глибоку інтеграцію механічної та електротехнічної частини з елементами силової електроніки, мікроелектроніки та мікропроцесорними системами керування, все ще існують певні групи технологічного обладнання, у яких реалізація складних траєкторій руху робочих органів за допомогою відповідних механізмів є більш ефективною та економічно виправданою.

Зокрема, можна відмітити щонайменше два типи механізмів, що забезпечують у технологічних машинах реалізацію складних траєкторій виконавчого органу виключно за рахунок механічної складової – кулачкові та шарнірно-важільні.

Разом із незаперечними перевагами кулачкових механізмів, головним недоліком використання їх в якості механізмів приводу робочих органів є те, що при контакті кулачка з роликком за високої швидкості їх

відносного руху, ці механізми не довговічні. Так, частота обертання кулачкових механізмів [1], які мають силове замикання пружиною, не може перевищувати 250 об/хв, з пазовими кулачками – не більше 500 об/хв, з контркулачками – не більше 1000 об/хв. Тому кулачкові механізми не можуть бути використані на технологічних машинах, робочі швидкості яких становлять 1000 об/хв і вище.

Для проєктування високошвидкісного технологічного обладнання, більш ефективним є застосування шарнірно-важільних механізмів, які мають ряд беззаперечних переваг, у порівнянні з кулачковими.

Основним недоліком шарнірно-важільних механізмів є складність точного відтворення необхідного закону руху робочих органів [2]. Аналіз літератури [1–4] показує, що забезпечення необхідного закону переміщення, включаючи й зупинки та вистоювання робочих органів при визначених кутах повороту головного валу машини, вимагає ускладнювати шарнірно-важільні механізми, збільшуючи число їх рухомих ланок. Для реалізації необхідних законів руху робочих органів машини застосовують механізми з двома і навіть трьома ведучими кривошипями, які мають кратне співвідношення кутових швидкостей. Отже, складність законів переміщення органів приводить до створення складних та громіздких механізмів, які важко піддаються уніфікації, а це в свою чергу приводить до збільшення вартості та зменшення надійності технологічного обладнання.

Перед конструкторами стоїть задача розроблення таких механізмів приводу робочих органів, які забезпечували б простоту і малогабаритність машини при передачі руху у будь-якому напрямку без зниження точності передачі і створювали передумови до універсализації механізмів і машин.

Виклад основного матеріалу

Відомо [5], що зубчато-важільні механізми забезпечують перетворення рівномірного руху вхідної ланки, зазвичай обертового, у зворотно-поступальний або коливальний рух вихідної ланки, що відповідає характеру переміщення робочих органів технологічних машин.

Встановлено [1, 5, 6], що точки сателітів планетарних та диференціальних зубчато-важільних механізмів описують так звані сателітні криві, а саме різного виду гіпо- та епіциклоїди. Якщо з сателітом зв'язати виконавчий орган машини, то, проєктуючи відповідним чином механізм, можливо надати виконавчому органу машини рух по певній траєкторії. На сателіті можна розмістити і декілька робочих органів: в цьому випадку можливо отримати більш складні траєкторії, які складаються з різних відрізків. Наведені особливості зубчато-важільних механізмів є суттєвими для реалізації вимог до механізмів технологічних машин, для яких характерна складність і різноманітність діаграм переміщень робочих органів.

Крім того, залежно від виду сателітної кривої [5], відтвореної планетарним механізмом, та геометричних параметрів приєднаної структурної групи, можливо отримати механізми, в яких вихідна ланка має декілька наближених вистоювань всередині кінематичного циклу, які розташовані в ньому визначеним чином, що задовольняє умову забезпечення вистоювання певної тривалості, у відповідності до заданих діаграм переміщень робочих органів.

Траєкторії руху точок сателітів планетарних механізмів покладені в основу створення ряду механізмів (рис. 1), запропонованих в роботі [6]. Механізми на рис. 1 а, в створені на базі двоступеневих планетарних зубчастих механізмів з зовнішнім зачепленням, а механізми на рис. 1 б, в створені на базі планетарних зубчастих передач з внутрішнім зачепленням.

Найбільш широкого використання набули планетарні механізми з внутрішнім зачепленням, так як форма сателітних кривих, отриманих за допомогою цих механізмів, є найбільш прийнятною для відтворення різноманітних діаграм переміщень робочих органів технологічного обладнання. Але в роботі [5] наголошено, що внутрішнє зачеплення через складність його виготовлення та ряду обмежень на параметри коліс використовують зрідка і звичайно заміняють двома колесами з зовнішніми зачепленнями. Такий триколісний механізм кінематично подібний до двоколісного з внутрішнім зачепленням коліс і не має його недоліків.

Конструктивні рішення деяких механізмів виконавчих органів технологічного обладнання, також базуються на використанні різних видів сателітних кривих та призначені для перетворення рівномірного обертового руху ведучої ланки в коливальний, нерівномірний обертовий рух або рух замкненою траєкторією веденої ланки (рис. 2).

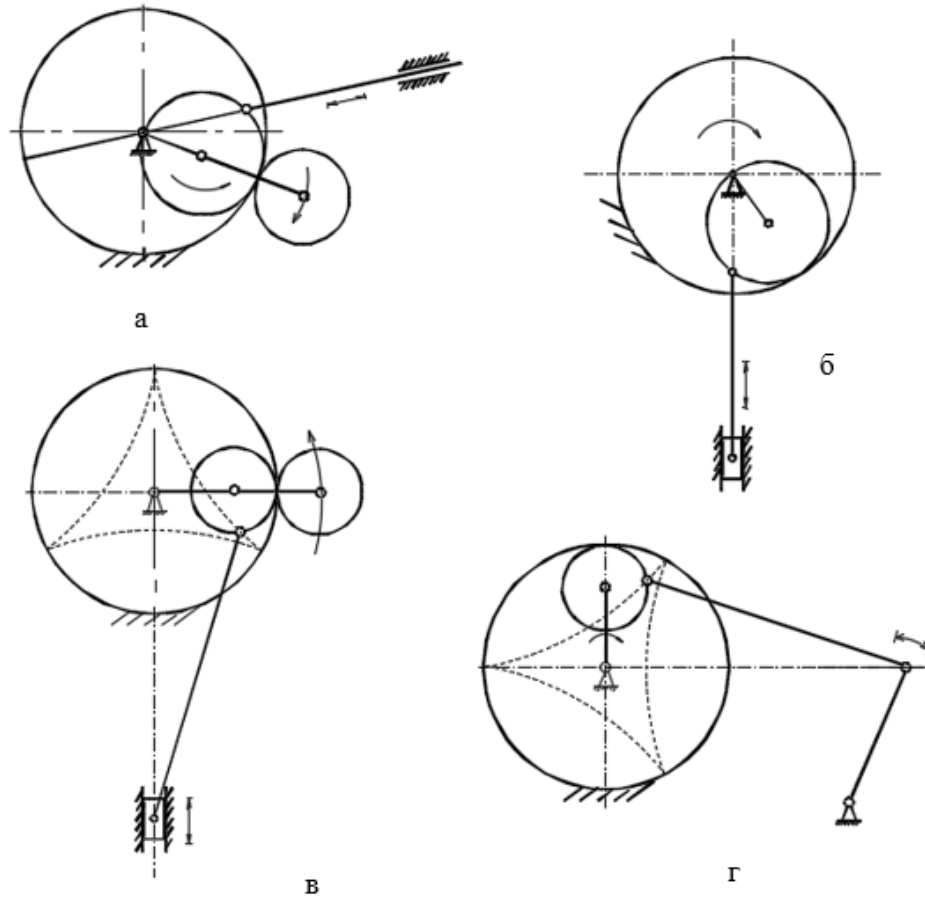


Рис. 1. Зубчато-важільні планетарні механізми: а - направляючий механізм; б - направляючий механізм преса; в - механізм з зупинкою вихідної ланки; г - механізм з зупинкою коромисла

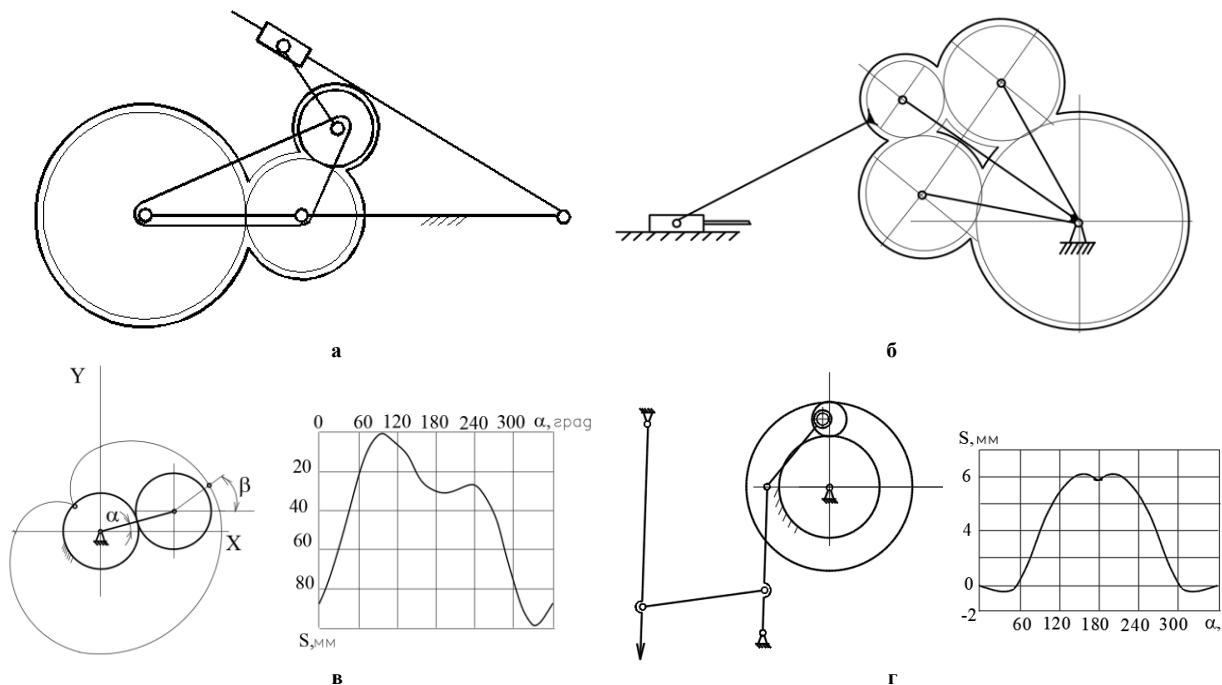


Рис. 2. Зубчато-важільні механізми: а - механізм з коливальним рухом вихідної ланки; б - механізм приводу рапір ткацького станка типу АТПР; в - планетарний механізм ниткопритягувача швейної машини; г - планетарний механізм відхилення рамки швейної машини

Таким чином, встановлені широкі можливості використання зубчато-важільних механізмів при перетворенні рівномірного обертового руху ведучої ланки в зворотно-поступальний, коливальний, нерівномірний обертовий або рух по складній замкненій траєкторії. За допомогою зубчато-важільних механізмів можливо отримати рух веденої ланки з наближеним вистоюванням, розміщеним різним чином в межах кінематичного циклу. Використання сателітних кривих планетарних механізмів у поєднанні з важільними механізмами дозволяють отримати широкий спектр траєкторій руху виконавчих органів.

Але використання сателітних кривих в механізмах робочих органів деяких технологічних машин, розміри переміщень яких лежать в межах 5–30 мм, пов'язано з рядом обмежень. Використання сателітних кривих відомих механізмів дозволяє отримати переміщення виконавчих органів не менше 50 мм, зменшення цієї межі веде за собою до зменшення геометричних параметрів зубчастих планетарних механізмів, що приводить до неможливості забезпечення технологічних зусиль, або до ускладнення важливої частини зубчато-важільних механізмів. Розробка планетарних механізмів, які забезпечать необхідні розміри сателітних кривих, дозволить створити зубчато-важільні механізми, траєкторії руху виконавчих органів яких задовольняють закони переміщення робочих органів необхідних розмірів.

Для вирішення задачі зменшення розмірів сателітних кривих, за умови забезпечення технологічних зусиль, потрібно шукати принципово нові конструктивні рішення зубчато-важільних механізмів. При цьому потрібно прагнути простоти та малогабаритності машин при передачі руху в будь-якому напрямку без зниження точності передачі, що сприяло б універсалізації механізмів і машин. Тому на першому етапі вирішення поставленої задачі потрібно сформулювати принципи формування структури універсальних зубчато-важільних механізмів робочих органів технологічних машин.

В зубчато-важільних механізмах періодичним рухом вихідної ланки в якості початкової складової частини використовують трьохланкові зубчато-важільні механізми [5], які складаються з двох зубчастих коліс, що входять в зачеплення, та ланки, яка забезпечує це зачеплення. При цьому вимагається, щоб точка на зубчатому колесі, яке не пов'язане зі стійкою і виконує складний рух, описувала плоску або просторову криву, близьку до заданої. В простому випадку в якості заданої може бути прийнята сферична крива, пряма лінія, або дуга кола. Таким чином на першому етапі проектування зубчато-важільного механізму з періодичним рухом вихідної ланки стоїть завдання проектування плоского або просторового механізму планетарного типу для наближеного відтворення сфери, прямої лінії або дуги кола.

На другому етапі проектування зубчато-важільних механізмів стоїть питання підбору геометричних параметрів механізму для відтворення вихідною ланкою заданої діаграми переміщень [1, 5–7].

Аналіз літератури показав, що динамічні дослідження зубчато-важільних механізмів стосуються окремих питань, які виникають при використанні згаданих механізмів в тих чи інших системах. В роботі [5] відмічено, що зубчато-важільні механізми мають хороші динамічні характеристики в порівнянні з характеристиками інших видів періодичного руху, але які саме не конкретизується. Тому виникає потреба дослідити динамічні характеристики цих механізмів за аналогами і зробити висновки стосовно можливості їх застосування в механізмах робочих органів високошвидкісних технологічних машин.

Необхідність таких досліджень обумовлена тим, що використання зубчато-важільних механізмів, зокрема важільних, веде до переходу від нижчих кінематичних пар до вищих.

Практика експлуатації механізмів, що мають вищі кінематичні пари показала обмеженість їх використання, що стосується швидкості. Таке твердження справедливе для більшості механізмів з вищими кінематичними парами – кулачкові механізми, фрикційні, храпові, мальтійські та ін.

Тому було б доцільним розглянути певні моменти використання зубчато-важільних механізмів приводу робочих органів високошвидкісних, які в першу чергу стосуються переходу від нижчих кінематичних пар (шарнірно-важільних механізмів), до вищих (зубчатої частини зубчато-важільних механізмів).

В ряді робіт [1, 7–9] показано, що зубчасті передачі мають суттєві переваги, а саме:

- малі розміри при передачі значної потужності;
- високий ККД (до 0,99);
- велику довговічність та надійність;
- постійність передаточного числа (при круглих колесах);
- простоту експлуатації;
- можливість використання в широкому діапазоні потужностей (до 40 000 кВт), швидкостей (до

150 м/с) та передаточних відношень.

До недоліків зубчастих передач можна віднести:

- необхідність високої точності виготовлення;
- шум при великих ковлових швидкостях.

На сучасному етапі розвитку машинобудування простежується тенденція використання високотехнологічного обладнання. Отже виготовлення зубчастих передач з достатнім ступенем точності не може бути перешкодою для створення зубчато-важільних механізмів робочих органів.

Для зменшення шуму необхідно передбачити установку машин на звукоізоляційні прокладки, використати шумозахисні та шумовбираючі кожухи, добре підганяти деталі машини, застосовувати косозубі і шевронні зубчасті колеса, використовувати матеріали на полімерній основі, що значно знижують шум і підвищують зносостійкість.

Висновки

В результаті аналізу методів досліджень та існуючих розробок з проектування зубчато-важільних механізмів встановлені їх особливості, які дозволили визначити принципи формування структур універсальних зубчато-важільних механізмів приводу робочих органів технологічних машин:

1. На першому етапі проектування необхідно визначити структуру зубчато-важільного механізму

планетарного типу для відтворення сателітних кривих, що забезпечать необхідний закон руху вихідної ланки технологічних машин.

2. На другому етапі проектування - розробити структуру приєднаної важільної групи, за рахунок якої можливо отримати механізм, вихідна ланка якого відтворює задану діаграму переміщень робочих органів технологічних машин.

3. Етапи проектування механізму провести за умови забезпечення можливості відтворення різних діаграм переміщень робочих органів шляхом мінімальних змін геометричних параметрів при збереженні структури зубчасто-важільного механізму.

Література

1. Кіницький Я. Т. Теорія механізмів і машин / Я. Т. Кіницький. – Київ : Наукова думка, 2002. – 660 с.
2. Смутко С. В. Перспективи створення основов'язальної машини з високим ступенем уніфікації механізмів робочих органів / С. В. Смутко. // Вісник технологічного університету Поділля. – 2000. – № 3. – С. 89–33.
3. Неймак В. С. Кінематичні дослідження одноступеневого зубчасто-важільного планетарного механізму за допомогою системи параметричного моделювання / В. С. Неймак, Г. Б. Параска, С. В. Смутко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 6. – С. 28–32.
4. Неймак В. С. Аналітичні дослідження одноступеневого зубчасто-важільного планетарного механізму / В. С. Неймак, Г. Б. Параска, С. В. Смутко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 96–99.
5. Карелин В. С. Проектирование рычажных и зубчато-рычажных механизмов : справочник / В. С. Карелин. – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
6. Артоболевский И. И. Механизмы в современной технике : справочное пособие. В 7 томах. Т. 4: Зубчатые механизмы / И. И. Артоболевский. – М. : Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1980. – 529 с.
7. Ткаченко В. А. Планетарные механизмы (оптимальное проектирование) / В. А. Ткаченко. – Харьков : ХАИ, 2003. – 446 с.
8. Прикладна механіка / [В. М. Булгаков, В. В. Адамчук, О. М. Черниш та ін.]. – Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 906 с.
9. Арендаренко В. М. Теорія механізмів і машин в прикладах і задачах : навчальний посібник / В. М. Арендаренко, І. А. Дудніков. – Полтава, 2020. – 176 с.

References

1. Kinytskyi Ya. T. Teoriia mekhanizmiv i mashyn / Ya. T. Kinytskyi. – Kyiv : Naukova dumka, 2002. – 660 s.
2. Smutko S. V. Perspektyvy stvorennia osnovov'iazalnoi mashyny z vysokym stupenem unifikatsii mekhanizmiv robochykh orhaniv / S. V. Smutko. // Visnyk tekhnolohichnoho universytetu Podillia. – 2000. – № 3. – S. 89–33.
3. Neimak V. S. Kinematychni doslidzhennia odnostupenevoho zubchato-vazhilnoho planetarnoho mekhanizmu za dopomohoiu systemy parametrychnoho modeliuвання / V. S. Neimak, H. B. Paraska, S. V. Smutko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2005. – № 6. – S. 28–32.
4. Neimak V. S. Analitychni doslidzhennia odnostupenevoho zubchato-vazhilnoho planetarnoho mekhanizmu / V. S. Neimak, H. B. Paraska, S. V. Smutko // Herald of Khmelnytskyi National University. – 2008. – № 2. – S. 96–99.
5. Karelin V. S. Proektirovanie rychazhnyh i zubchato-rychazhnyh mehanizmov : spravochnik / V. S. Karelin. – M. : Mashinostroenie, 1986. – 184 s.
6. Artobolevskij I. I. Mehanizmy v sovremennoj tehnikе : spravochnoe posobie. V 7 tomah. T. 4: Zubchatye mehanizmy / I. I. Artobolevskij. – M. : Nauka. Glavnaja redakcija fiziko-matematicheskoy literatury, 1980. – 529 s.
7. Tkachenko V. A. Planetarnye mehanizmy (optimal'noe proektirovanie) / V. A. Tkachenko. – Har'kov : HAI, 2003. – 446 s.
8. Prykladna mekhanika / [V. M. Bulhakov, V. V. Adamchuk, O. M. Chernysh ta in.]. – Kyiv : Tsentr uchbovoi literatury, 2020. – 906 s.
9. Arendarenko V. M. Teoriia mekhanizmiv i mashyn v prykladakh i zadachakh : navchalnyi posibnyk / V. M. Arendarenko, I. A. Dudnikov. – Poltava, 2020. – 176 s.