

**В.М. Пестунов, проф., канд. техн. наук, В.В. Свяцький, канд. техн. наук,  
Л.П. Свяцька, інж.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## Удосконалення гвинтових передач

Розглянуті нові конструкції кульково-гвинтових передач. Наведені технічні рішення при створенні КГП, що направлені на підвищення їхньої зносостійкості, довговічності, коефіцієнта корисної дії, жорсткості і здатності навантаження. Розглянуті конструкції КГП визначають основні напрямки їхнього подальшого розвитку.

**гвинтова передача, кулька, коефіцієнт корисної дії, зносостійкість, зносостійкість, жорсткість**

Кульково-гвинтова передача (КГП або ПГГК – передача гвинт-гайка кочення) є механізмом для перетворення обертального руху в поступальний і навпаки.

В даний час кулькові гвинтові передачі широко застосовують у виконавчих механізмах, у відстежних системах і у відповідальних силових передачах (верстатобудування, робототехніка, авіаційна і космічна техніка, залізничний транспорт, виробництво дорожніх машин, атомна енергетика тощо). Завдяки компактним розмірам і простоті конструкції КГП можуть бути вільно інтегровані в різноманітні машини і механізми, зокрема із гідравлічним і пневматичним приводом.

Одним з найперспективніших сьогодні напрямів застосування КГП в машинобудуванні є створення і використання на їхній основі готових мехатронних вузлів переміщення. Такі вузли, або модулі, можуть включати до свого складу крім КГП алюмінієвий або сталевий профіль (як внутрішня тримальна рама або несний корпус), приводний електродвигун, контрольно-вимірювальні прилади і елементи управління.

Головні переваги кулькових гвинтових передач:

– низькі втрати на тертя і, як наслідок, можливість використання менш потужного двигуна і меншої кількості мастила; майже повна незалежність сили тертя від швидкості і дуже мале тертя спокою, що сприяє забезпеченню рівномірності (плавності) руху;

– к.к.д. передач досягає значення 0,95 в порівнянні з к.к.д. передач гвинт-гайка ковзання (для цих передач к.к.д. становить від 0,2 до 0,4);

– можливість повного усунення зазорів і створення натягу, що забезпечує високу осьову жорсткість, що в свою чергу підвищує навантажувальність передачі при малих габаритах;

– невеликий нагрів в процесі роботи, висока швидкодія і точність позиціонування, великий експлуатаційний ресурс.

Широке застосування КГП обумовлює необхідність постійного підвищення їхньої зносостійкості, довговічності, коефіцієнта корисної дії, жорсткості і здатності навантаження. Проте навіть створення якісно нових КГП не вирішило остаточно питання зносу і довговічності таких приводів. Постають нові завдання, які пов'язані з поверненням тіл кочення, осьовою жорсткістю гвинта і навантажністю КГП, чутливістю гайки до дії радіальних сил, а також з вирішенням протиріччя „навантаження–точність”. Зазначене приводить до необхідності пошуку принципово нових технічних рішень при створенні КГП.

Далі розглянуті схеми і конструкції, що висвітлюють вирішення окремих аспектів вказаної проблеми.

При конструюванні КГП особливу увагу приділяють осьовій жорсткості гвинта. Відомі такі напрямки її підвищення: гвинт встановлюють на декількох опорах [1]; в конструкцію передачі вводять додатково тіла кочення [2]; корпус КГП виготовляють у вигляді котушки, у фланцях якої закріплені підшипники [3]. Проте КГП з підвищеною жорсткістю гвинта мають, як правило, великий габарит. Для його зменшення і підвищення навантажності вводять додаткові тіла кочення меншого діаметру [4] або замінюють їх роликами з конічною поверхнею [5], зменшують габаритні розміри пристрою для регулювання натягу [6], використовують додаткові елементи з антифрикційних матеріалів [7].

Відомо, що чим менше є діаметр тіл кочення і більшим є їхнє число, тим вище навантажність КГП [8]. КГП (рис. 1) містить гвинт 1 і гайку 2, яка взаємодіє з гвинтом 1

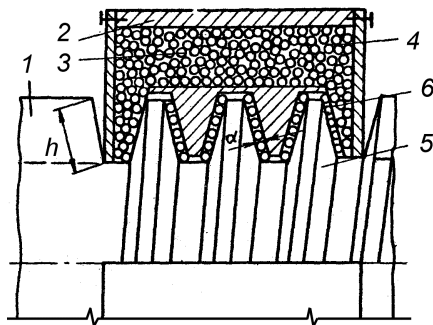


Рисунок 1 – Кульково-гвинтова передача

і в якій виконаний канал 3 повернення кульок 4. Кульки 4 розміщені між прямо-лінійними в осьовому перетині робочими поверхнями 5 і 6 гвинта 1 і гайки 2, а також в порожнині каналу 3. Висота витків  $h$  різьблення як гвинта 1, так і гайки 2 визначається співвідношенням  $h > 2d$ , де  $h$  – висота витка по твірній, мм,  $d$  – діаметр кульки, мм. Робочі поверхні 5 і 6 витків різьблення є рівновіддаленими відносно один одного, а вихідні перерізи каналу 3 відповідають зазору між поверхнями 5 і 6. При обертанні гвинта 1 або гайки 2 відносно один одного кульки 4 набігають в канал 3

і витісняють кульки, що знаходяться в ньому, з вихідного отвору каналу 3. При цьому на виході кульки розташовуються відповідно профілю вихідного каналу 3, тобто по всій висоті витків різьблення.

Проте при значному збільшенні числа кульок стає утрудненим їхнє повернення в початкове положення і регулювання КГП. Для спрощення пристрою регулювання привода гайкам надається можливість осьового зсуву [9], на їхніх поверхнях виконують прорізи [10], пази [11] або різьблення одного напрямку, але з різним кроком [12].

Спрощення конструкції КГП приводить, як правило, до ускладнення технології її виготовлення. У сучасному машинобудуванні намітилася тенденція до спрощення форми каналів повернення кульок. Їх виконують у вигляді напівкруглих канавок [13] або пазів на пластинах, що розміщуються в циліндрових обоймах [14]. Створена КГП [15], в якій сепаратор є гнучкою замкнутою стрічкою.

У КГП (рис. 2) [16] відсутній канал повернення тіл кочення. Її основні елементи: гвинт 1, кульки 3, гнучкий сепаратор 9, півгайки 2 і 8 із зубчатыми вінцями торців 4 і 6, зубчата муфта 5, центрвальна втулка 7. На зовнішній поверхні 10 гвинта перпендикулярно до його робочих витків виконані канавки 11. При обертанні гвинта відносно закріплених півгайок

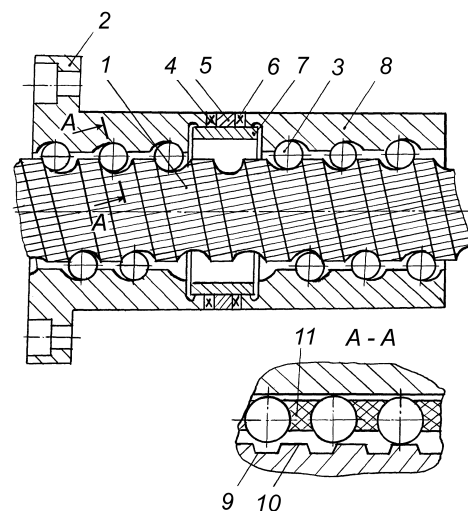


Рисунок 2 – Реверсивна КГП з пружним елементом

кульки здійснюють такі рухи: при дотику з поверхнею 10 і подальшому контакті з нею вони сприймають навантаження і під дією сили тертя переміщуються з гвинтом до початку контакту з канавками 11; при попаданні кульок в канавки вони під дією пружних сил сепаратора повертаються в початкове положення; при новому контакті кульок з поверхнею 10 процес повторюється. Розміри канавок 11 і їхнє число вибирають так, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження по всіх кульках, що знаходяться в сепараторі.

Для особливо відповідальних механізмів, які потребують високу кінематичну точність, запропоновані конструкції КГП з гайкою, що має вставки з компенсвальними елементами [17], а також з гайкою, що є втулкою із запресованою в неї тонкостінною гільзою [18] або втулкою із додатковими різбовими елементами [19]. Для підвищення точності реверсування запропонована КГП (рис. 3, а) [20], що містить такі елементи: багатозахідний гвинт 1 з правим і лівим різьбленням, корпус 7, гайки 4 і 11, пружину 8, кришки 3 і 12, переставні упори 2 і 13, великі кульки 5, 10, 14 і 15, дрібні кульки 6 і затіри 9.

Великі кульки встановлені в гайках на опорах кочення – дрібних кульках, розміщених в поглибленні затірів 9. Кульки 5 до 14 утворюють пару, яка входить в канавку I–I гвинта (див. рис. 3, б). При обертанні корпусу 7 великі кульки, перекочуючись по канавках одного напрямку, переміщують гвинт в осьовому напрямі до контакту упору 2, закріпленого на гвинті, з гайкою 4. При цьому торчкові зуби упору і гайки 4 входять в зачеплення і надають обертання упору. При поступальному русі гайки 4 виводяться із зачеплення торчкові зуби кришки 3 і гайки 4, звільняючи останню від фіксації з корпусом.

Подальше переміщення гайки 4 спричиняє стиснення пружини 8, яке продовжується до тих пір, поки кулька 10 не вийде на лінію II–II. При цьому кульки 10 і 14 знаходяться на перетині ліній правого і лівого різьблення, а стисла пружина отримує можливість переведення кульок 14 і 15 в канавки III–III.

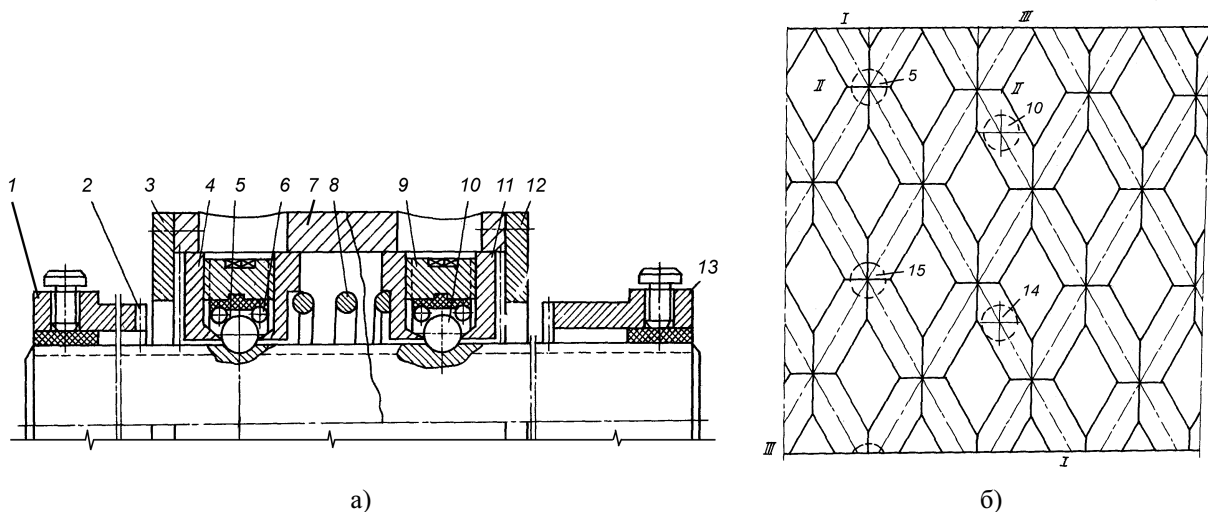


Рисунок 3 – Реверсивна КГП (а) і розкладання її гвинтової поверхні (б)

При подальшому обертанні корпусу кульки 10 і 14 перекочуються по канавках протилежного напрямку, пружина розтискається і з'єднує торчкові зуби кришки 3 і гайки 4. В результаті гайка 4 повертається на кут, що необхідний для переведення кульок в гвинтові канавки протилежного напрямку. При зустрічі торчкових зубів гайки 11 і упору 13 описаний цикл повторюється, і передача одержує реверсивний рух.

Різноспрямовані гвинтові канавки використовуються також для регулювання вихідних характеристик КГП. Для забезпечення поступального руху з постійною і змінною швидкостями достатньо на гвинті і гайці виконати різьблення протилежного напрямку, а кульки розмістити в кільцевих каналах гайки [21].

Плавне регулювання швидкості переміщення виконавчого органу здійснює ГП (див. рис. 4) [22]. Вона складається з гвинта 1, гайки 2, вихідної ланки 6, електромагнітної муфти 4 з півмуфтами 3 і 5, шпонки 7 і підшипників. Муфта 4, встановлена на гайці 2, з'єднана з нею півмуфтою 3. Півмуфта 5, що з'єднана з гвинтом 7 за допомогою ковзної шпонки 7, може переміщатися поступально і обертатися разом із гвинтом. Обидві півмуфти включено в систему управління таким чином, що при з'єднанні муфти 4 з півмуфтою 3 надається поступальне переміщення гайці 2 і ланці 6. При підключенні муфти 4 до півмуфти 5 гайка обертається разом із гвинтом, а ланка 6 зупиняється. Необхідний закон руху ланки 6 одержують, міняючи шпаруватість сигналу живлення напівмуфт.

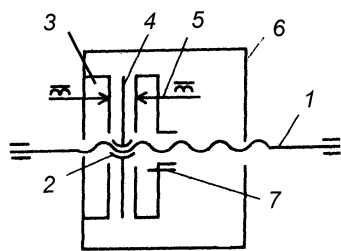


Рисунок 3 – Гвинтова передача з законом руху вихідної ланки, що регулюється

Для управління передавальним відношенням у функції навантаження створена багатозахідна КГП (рис. 5) [23]. Вона складається з гвинта 1, корпусу 7, кільця 2 і 4, упорного підшипника 5, пружини 9, гайки 8, кульок 3 і втулки 6. При обертанні гвинта кульки перекочуються по кільцях 2 і 4, причому їх колова швидкість відрізняється від колової швидкості гвинта. Тому швидкість переміщення гайки залежить від планетарної швидкості кульок, яка у свою чергу визначається їх радіальним положенням відносно робочих поверхонь гвинта і кільця. Із збільшенням навантаження, що передається, кільце 4 зміщується уздовж осі і стискає пружину. Це приводить до зміни радіального положення кульок відносно гвинта і кільця, а отже, до зміни планетарної швидкості кульок і передавального відношення ГП. Для регулювання передавального відношення служить втулка 6, що обмежує стиснення пружини і радіальне зміщення кульок.

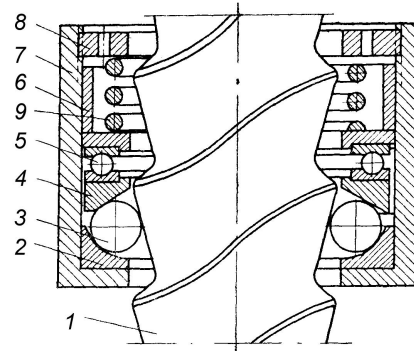


Рисунок 5 – Багатозахідна КГП

Загальними для всіх ГП є проблеми підвищення їхньої надійності і зносостійкості. З метою підвищити надійність роботи КГП в каналах переміщення кульок передбачають рефректори [24] або усередині гвинта встановлюють трубу, зафіксовану від повороту щодо корпусу [25]. З метою понизити спрацювання і підвищити надійність КГП розроблені конструкції, в яких гайка виконана у вигляді двох механічно зв'язаних магнітопроводів з гвинтовими поверхнями [26].

Розглянуті конструкції не вичерпують всіх можливостей поліпшення вихідних характеристик ВП, а лише визначають основні напрями їхнього подальшого розвитку.

## Список літератури

1. А.с. 393513 СССР, МКИ F 16 h 25/22. Винтовая передача.
2. А.с. 497438 СССР, МКИ F 16 h 25/22. Винтовая пара с трением качения.
3. А.с. 887837 СССР, МКИ F16 H 25/22. Винтовая передача.
4. А.с. 202672 СССР, МКИ F 06 h 25/22. Винтовая пара с трением качения.
5. А.с. 210575 СССР, МКИ F 06 h 25/22. Винтовая пара с трением качения.
6. А.с. 183554 СССР, МКИ F 06 h 3/06. Шариковый винтовой механизм.
7. А.с. 926406 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Винтовая пара с трением качения.
8. А.с. 1330384 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Шариковая винтовая передача.
9. А.с. 520497 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Шариковая винтовая пара.
10. А.с. 136126 СССР, МКИ F 06 h 25/22. Винтовая пара с трением качения.
11. А.с. 700728 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Шариковая винтовая передача.
12. А.с. 711313 СССР, МКИ F 16 H 3/06. Шариковый винтовой механизм.
13. А.с. 171707 СССР, МКИ F 06 h 25/22. Шариковая винтовая передача.
14. А.с. 295927 СССР, МКИ F 16 h 25/22. Шариковая передача Воробьева.
15. А.с. 1116251 СССР, МКИ F 16 H 3/06. Шариковый винтовой механизм.
16. А.с. 1793137 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Шариковая винтовая передача.
17. А.с. 190149 СССР, МКИ F 06 c 10/00. Шариковая гайка.
18. А.с. 327351 СССР, МКИ F16 h 25/22. Винтовая передача с телами качения.
19. А.с. 570745 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Передача винт–гайка.
20. А.с. 1408091 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Реверсивная шариковая винтовая передача.
21. А.с. 292045 СССР, МКИ F 16 h 3/06. Шариковый винтовой механизм.
22. А.с. 1467298 СССР, МКИ F 16 H 25/22. Винтовая передача с регулируемым законом движения поступательного звена.
23. А.с. 355417 СССР, МКИ F 16 h 25/22. Многозаходная винтовая пара с трением качения.
24. А.с. 244834 СССР, МКИ F 06 h 3/06. Шариковый винтовой механизм.
25. А.с. 1028920 СССР, МКИ F 16 H 3/06. Шариковый винтовой механизм.
26. А.с. 304376 СССР, МКИ F16 h 25/22. Винтовая передача.

Рассмотрены новые конструкции шариковых винтовых передач. Приведены технические решения при создании ШВП, направленные на повышение их износостойкости, долговечности, коэффициента полезного действия, жесткости и нагрузочной способности. Рассмотренные конструкции ШВП определяют основные направления их дальнейшего развития.

The new designs of ball screw-type gear are considered. The engineering solution of ball screw-type gear for increase of wear resistance, durability, coefficient of efficiency, hardness and output capability are presented. The considered designs of ball screw-type gear define the basic directions of their further development.