

УДК 515.2:681.3

В.П.Юрчук, В.В.Карпюк

НТУУ «Київський політехнічний інститут»

ДО ПИТАННЯ КОНСТРУЮВАННЯ ШНЕКОВИХ ПОВЕРХОНЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ТА МЕХАНІЗМІВ

В статті розглядаються шнекові гвинтові поверхні сільськогосподарських машин та досліджується можливість використання теорії спряження при проектуванні гелікоїдальних поверхонь шнекових механізмів, які мають співвісні, паралельні та мимобіжні осі

Ключові слова: *гелікоїдальні поверхні, гвинтові механізми, спряження поверхонь, точка та лінія спряження, співвісні поверхні, гелікоїдальні поверхні*

Постановка проблеми. Подальше глибоке вирішення проблем процесів виготовлення, транспортування та сортування різних продуктів є одним із найважливіших шляхів для вирішення завдань значного підвищення техніко-економічних показників засобів механізації та автоматизації вітчизняного виробництва. Це завдання дуже складно виконати без гвинтових пристроїв та механізмів, які є основою повної механізації та автоматизації різних технологічних процесів.

Особливо це стосується сільськогосподарського виробництва, де гвинтові шнекові механізми використовуються для виконання широкого спектру робіт, до яких відносяться наступні операції:

- сепарація, очищення та транспортування зерна та інших культур;
- очищення від ґрунту та транспортування різних видів коренеплодів;
- транспортування різних видів продукції;
- дозування та розкидання міндобрив;
- викопування канав та обробка ґрунту;
- сушіння та вентиляція різних видів сільськогосподарської продукції та ще значного спектру різних видів робіт [1].

Аналіз останніх досліджень. Дослідження гвинтових механізмів та їх подальше удосконалення направлені на створення гвинтових пристроїв багатофункціонального призначення, в тому числі модульних гнучких гвинтових конвеєрів. Дані дослідження також направлені на оптимізацію конструкції гвинтових шнекових пристроїв шляхом системного аналізу з урахуванням усіх можливих обмежень [2].

Формулювання цілей статті. Метою даних досліджень, призначених для висвітлення у статті, є розгляд гвинтових шнекових механізмів та обґрунтування можливості використання теорії спряжених поверхонь при їх геометричному моделюванні та конструюванні.

Відомо, що слово „шнек” означає буквально „завиток”, (від нім. *schneke*), тобто „стержень з суцільною гвинтовою гранню вздовж поздовжньої осі”. В сучасному народному господарстві шнеки, або гвинтові конвеєри широко використовуються на підприємствах будівельних матеріалів, у харчовій та хімічній промисловості для переміщення у горизонтальному, вертикальному та похилому напрямках сипучих, дрібних, кускових та порошкових матеріалів. Але найбільше використання шнекових механізмів має сучасне сільськогосподарське машинобудування, особливо у високопродуктивних машинах та механізмах.

Важливими позитивними властивостями шнеків є простота конструкції механізмів та їх обслуговування, незначні габарити, герметичність, можливість проміжного загрузування чи розгрузування та ін. До теперішнього часу значними недоліками шнекових механізмів є значне стирання та роздріблення матеріалів, значні енергетичні затрати та підвищене зношення шнеків та транспортувального жолоба. Важливою частиною шнека є гвинтова поверхня, яка буває одно-, дво- та трьохзахідною. Сама поверхня шнека буває лопатною, фасонною та стрічковою з правим та лівим навиванням.

Основна частина. У наведених вище дослідженнях та наукових публікаціях здійснене геометричне дослідження різноманітних конструкцій гвинтових пристроїв з передовими технологіями виготовлення, але у них не приділено уваги дослідженню гвинтових поверхонь шляхом використання теорії спряження, яка в даний час є прогресивною теорією проектування, оскільки дозволяє взаємно ув'язати більше тринадцяти геометричних параметрів спряжених гвинтових поверхонь. Це особливо раціонально використати, враховуючи те, що гвинтові пристрої досить часто поєднують в своїй конструкції кілька гвинтових гелікоїдальних поверхонь та мають однакове функціональне призначення.

Прикладом існування та можливості використання теорії спряжених поверхонь є сам процес виготовлення шнекових поверхонь. Розглянемо один із їх різновидів - метод прокатування. При цьому спряження формувальних поверхонь шнеків відбувається на стадії захоплення стрічки двома привідними циліндричними валками (рис. 1).

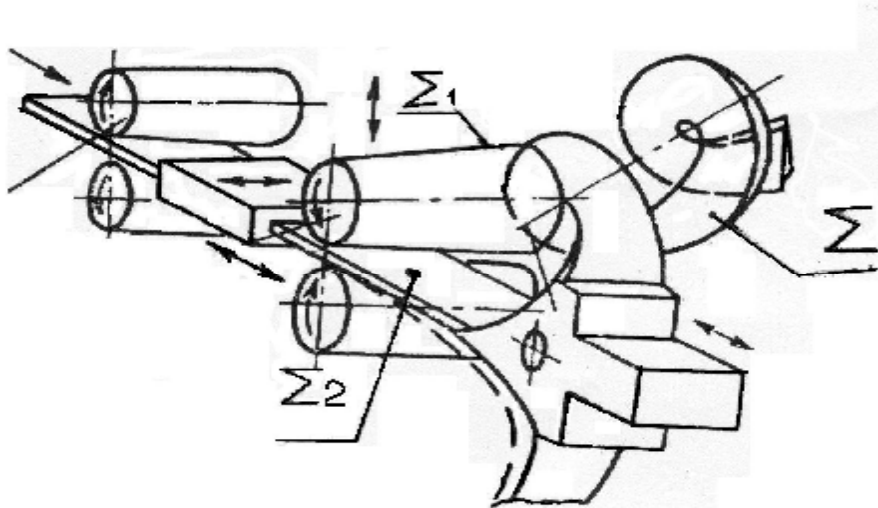


Рис. 1. Схема отримання гвинтової гелікоїдальної стрічки з використанням конічних валків та відсікача

На технологічній лінії смуга обтискається зі сторони зовнішнього діаметру та скручується у кільце. При цьому профіль валків, який є спряженим із смугою шнека, оскільки він формує його поверхню, може бути як конічним, так і циліндричним з випуклим гіперболічним та іншими видами поверхонь.

Наведемо ще декілька типів машин та механізмів, у яких використовуються різні типи спряжених між собою поверхонь [2]:

- пересувні транспортуючі агрегати, які складаються із трьох шнеків: шнека-живильника, вертикального живильного транспортера та шнека-змішувача;
- розвантажувач башт силосного типу, який містить вертикально та горизонтально розміщені транспортери;
- шнекові снігоочисники, які містять шнеки з лівими та правими витками;
- пересувні вагонорозвантажувальні машини, які у своїй конструкції поєднують шнекові розрихлювачі, стрічкові конвеєри, центральний ковшовий елеватор та горизонтальні підгрібаючі шнеки;
- термоагрегати для очищення картоплі, у конструкції яких є як верхні, так і нижні шнеки;
- гвинтовий прес, який містить шнек пресуючий та центральний шнек та багато інших видів сільськогосподарських машин та пристроїв [3].

Для геометричної побудови спряжених поверхонь необхідно використати формувальну поверхню конуса Σ_1 та гелікоїдальну вихідну шнекову поверхню Σ_2 . Необхідно також врахувати відносний рух даних поверхонь, який має характер кочення з ковзанням [3]. Геометрична побудова за допомогою діаграми кінематичного гвинта дозволить визначити

параметри миттєвого відносного гвинтового руху, тобто побудувати шукану шнекову поверхню Σ - як поверхню гвинтової гелікоїдальної стрічки. Також необхідно враховувати геометричні параметри поверхні відсікача, який формує шнекову поверхню та впливає на процес навивання смуги. Тобто робоча поверхня відсікача також є геометрично спряженою з шуканою поверхнею шнека.

Відомо, що гелікоїдальні гвинтові поверхні у транспортуючих механізмах використовуються тому, що у своїй конструкції мають властивість „зрушуватись”, тобто дозволяють перетворити обертальний рух робочого тіла у поступальний.

Математично дані гвинтові поверхні можна описати системою наступних рівнянь [4]:

$$\begin{aligned}x &= u \cos(v+v_0); \\y &= u \sin(v+v_0); \\z &= vT/2\pi;\end{aligned}\tag{1}$$

де u – радіальний параметр поверхні, який знаходиться в інтервалі: $d/2 < u < D/2$;

D та d - відповідно зовнішній та внутрішній діаметри гвинтової поверхні;

T - крок гвинтової поверхні;

v - поточне значення кутового параметра;

v_0 – початкове положення гвинтової поверхні в системі координат $Oxuz$ (при значенні $v=0$).

Приведена система рівнянь (4) показує, що у гвинтової гелікоїдальної поверхні переміщуваний кутовий параметр v безпосередньо пов'язаний з координатою, спрямованою вздовж осі гелікоїда.

Аналітичний зв'язок між лінійним переміщенням (подачею s) робочого тіла, яке знаходиться в руслі гвинтового механізму, і обертальним переміщенням гвинтового шнека (кутовою швидкістю ω) можна описати методом диференціювання третього рівняння системи (1):

$$s = dz/dt = d(v T/2\pi)/dt = \omega T/2\pi;\tag{2}$$

Цей зв'язок (між подачею та кутовою швидкістю шнекового механізму) справедливий не тільки для механічної передачі між поверхнями системи „гвинт – гайка”, але робоча поверхня гвинтового шнека функціонально створює певні зв'язки також і з робочим тілом. Так у шнекових пристроях центр ваги робочого тіла переміщується лише вздовж осі шнека, і на нього накладаються зв'язки від поверхонь русла, жолоба та спеціальних направляючих пристроїв. А при транспортуванні різних плодів у руслі шнекового каналу, утвореному двома поверхнями гвинтових шнеків, як самі спарені шнекові поверхні, так їх дія на робоче тіло пов'язані між собою.

Звідси можна зробити висновок, що процес спряження в шнекових механізмах існує як між самими робочими поверхнями, так і між переміщуваним тілом і робочими поверхнями. Виходячи з цього, слід більш детально зупинитись над проблемою виникнення процесу спряження у гвинтових шнекових механізмах сільськогосподарських машин.

В українській мові тлумачення дієслова «спрягати», (Новий тлумачний словник української мови - укладачі В. Яременко та О. Сліпущко), означає: «...пов'язувати, з'єднувати що-небудь із чимось», а також «намагатись знайти логічний зв'язок у чому-небудь, побудувати певну систему». У техніці та теорії машин та механізмів, відомо, що спряженими називаються поверхні, які знаходяться у відносному русі, безперервно взаємно дотикаються і в кожній точці контакту мають спільну дотичну площину.

Виходячи з цього, можна зробити висновок що процес спряження, тобто „намагання знайти логічний зв'язок у чому-небудь, побудувати певну систему” можна не тільки між поверхнями, але і між кількістю переміщуваних мас, переміщенню їх за фракційним складом, дольовому їх змішуванню, напрямками їх переміщення та багатьма іншими факторами.

Якщо розглянути спряжені поверхні, в яких дотик може бути як точковим, так і лінійним. Так на рисунку показані дві спряжені поверхні Σ_1 і Σ_2 , які взаємодіють одна з одною в точці контакту К. Ця точка також називається полюсом зачеплення [3]. Якщо ці поверхні прив'язати до системи координат $O_1X_1Y_1Z_1$ та $O_2X_2Y_2Z_2$, а, наприклад, раму гвинтового механізму до

нерухомої системи OXYZ, то результат спряження, тобто точку контакту K, в рухомих системах координат визначають спряжені лінії K_1K_1' та K_2K_2' , які будуть лежати відповідно на поверхнях Σ_1 та Σ_2 .

Траєкторія точки контакту K в нерухомій системі OXYZ визначить лінію K_0K_0' , яка є лінією зачеплення спряжених поверхонь. Просторова орієнтація та форма лінії спряження і результуючої лінії зачеплення визначаються характером відносного руху спряжених поверхонь та їх геометричною формою.

При взаємному переміщенні поверхонь контакту сукупність спряжених ліній цих ланок утворює поверхні Σ_1 та Σ_2 . Такі поверхні будуть спряженими, якщо вектор відносної швидкості переміщення V_{12} лежить у спільній точці контакту K, в якій проходить площина, дотична до обох поверхонь. В цій точці вектор складової відносної швидкості вздовж спільної нормалі N спряжених поверхонь Σ_1 та Σ_2 дорівнює нулю, тобто спряжені поверхні між собою не перетинаються і не розходяться.

Сукупність ліній зачеплення K_0K_0' для різних точок контакту геометрично визначить поверхню зачеплення Δ , утворену спряженими поверхнями. При цьому, якщо вони мають точковий дотик, то їхня форма має бути суворо визначеною лише в робочій зоні зачеплення, а на інших ділянках вона визначається технологічністю виготовлення. Якщо ж спряжені поверхні Σ_1 та Σ_2 мають дотик в точках лінії спряження, то вимоги до вектора відносної швидкості V_{12} необхідно витримати в усіх точках лінії контакту поверхонь [3].

В диференціальній геометрії, як відомо, лінія дотику спряжених поверхонь носить назву характеристики. При конструюванні гвинтових поверхонь ця лінія часто є твірною даних поверхонь, яка переміщується вздовж осі гвинта, перетинаючи гвинтову лінію — гелісу. Звідси відомо, що сама геліса є твірною всіх гелікоїдальних поверхонь, які найчастіше використовуються в техніці. При цьому їх робочі поверхні частіше бувають відкриті, оскільки кріпляться на валах, які мають певний діаметр і набагато простіші в технології виготовлення.

Такі гелікоїдальні поверхні, маючи спільну вісь обертання є співвісними, тобто конструктивно спряженими, що видно зі спрощених схем гвинтових механізмів. Спряження таких гвинтових поверхонь в аналогічних конструкціях не потрібно доводити, оскільки їхня взаємодія та параметричні характеристики тісно пов'язані між собою. При гвинтовому переміщенні твірної траєкторіями всіх її точок є звичайні гвинтові лінії даної гвинтової поверхні, які лежать на різних, але співвісних циліндрах обертання. Радіусом кожного циліндра є відстань від даної переміщуваної точки до осі гвинта. Кожна лінія, яка належить гвинтовій поверхні, може бути твірною гвинтової поверхні, оскільки при своєму гвинтовому переміщенні даної лінії утворюється гвинтова поверхня. Така властивість гвинтової поверхні є властивістю „зрушування”, завдяки якій вони знайшли широке використання в техніці, особливо у гвинтових шнекових механізмах сільськогосподарських машин та пристроїв [3].

Більш складним випадком спряження гвинтових поверхонь в сільськогосподарському машинобудуванні є механізми з паралельно розміщеними осями. Так, якщо розглянути схему конструкції гвинтового двовального чотириспірального транспортера-очисника коренебульбоплодів, то видно, що спряженими мають бути дія не тільки співвісних поверхонь на кожному із валів, але і дія гвинтових поверхонь на паралельних валах, що є однією із умов функціонування самого транспортера-очисника.

Ще складнішими шнековими механізмами, робочі поверхні яких є спряженими, є гвинтові механізми, осі яких перетинаються або ж є мимобіжні між собою. Таке спряження гвинтових поверхонь забезпечує раціональну зустрічну чи однонаправлену взаємодію на заданий об'єкт (коренебульбоплоди, зернові культури, штучні заготовки та ін.) та вимагає більш складного підходу до методів геометричного проектування робочих поверхонь гвинтових механізмів та пристроїв у сільськогосподарському машинобудуванні.

Також серйознішого підходу вимагають спряжені гвинтові механізми з кінчними гвинтовими поверхнями та кінчно-еліптичними. При цьому змінний крок гвинтової поверхні та еліптична форма поперечного перерізу значно ускладнюють процес проектування шнекових механізмів, оскільки такі поверхні частіше всього відносяться до квазігвинтових (рис.2).

Потребують більш ґрунтовного дослідження гвинтові шнекові механізми у вигляді конволютних гелікоїдальних поверхонь, осі яких перетинаються та значна кількість більш

складних в геометричному плані квазігвинтових поверхонь, тобто подібних до гвинтових поверхонь, які широко використовуються у сільськогосподарських машинах [5,6].

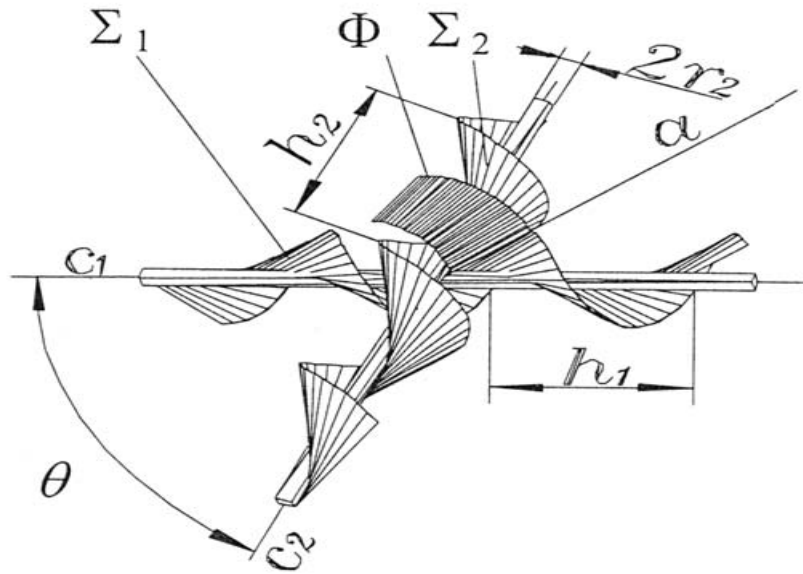


Рис. 2. Схема спряжених квазігвинтових поверхонь з мимобіжними осями

Висновки. Таким чином, наведені дослідження показують:

- для проектування гвинтових поверхонь шнекових механізмів сільськогосподарських машин та механізмів необхідним є можливість використання теорії спряжених поверхонь, оскільки вони часто геометрично містять в собі співвісні гелікоїди, чи гелікоїди з паралельними осями та пов'язані спільною взаємодією на коренебульбоплоди, зернові культури чи іншу сільськогосподарську продукцію та матеріали;
- перспективним напрямком в даних дослідженнях є використання та конструювання конволютних гелікоїдальних поверхонь з осями, які перетинаються та з мимобіжними осями;
- раціональним також є використання теорії спряжених поверхонь для геометричної побудови квазігвинтових поверхонь.

1. Винтовые подающие механизмы сельскохозяйственных машин / Гевко Б. М., Рогатынский Р.М. — Львов: Вища школа. Изд.-во при Львов. ун-те, 1989.- 175 с.
2. Механізми з гвинтовими пристроями: Гевко Б. М., Данильченко М. Г., Рогатинський Р. М., Пилипець М. І., Матвійчик А. В. — Львів: світ, 1993.-208с.
3. Юрчук В.П. Використання теорії спряжених поверхонь при конструюванні шнекових поверхонь сільськогосподарських машин / Юрчук В.П., Кость О.О.// Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за напрямом „Інженерна механіка”), випуск 18. – Луцьк: ЛНТУ, 2006.- С. 432-437.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике. М.,1974.
5. Кириченко А.Ф. Теоретичні основи інженерної графіки - Київ: ВД „Професіонал”, 2004.- 496 с.
6. Юрчук В. П. Спряжені поверхні в геометричних моделях формотворення робочих органів коренезбиральних машин: Автореф. дис. ... докт. техн. наук. К.: 2002.-37с.