

О. В. Самойленко, к.т.н., доцент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ МАНІПУЛЮВАННЯ МІНІАТЮРНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Вже протягом багатьох років спостерігається мініатюризація техніки та технологій. Традиційно потреба в маніпулюванні мініатюрними об'єктами є характерною для таких галузей, як точне машинобудування та приладобудування, радіоелектронна промисловість, наукові дослідження в біології та медицині тощо.

Однією із цікавих галузей застосування вказаних цільових мікромеханізмів є репродуктивні технології аграрного виробництва. Причому, не тільки в контексті наукових досліджень, але і з чисто прикладною метою в господарствах різних форм власності.

Наприклад, для селекційної роботи в промисловому бджільництві може застосовуватись інструментальна інсеминація маток медоносною бджолою. Протягом останніх майже 100 років використовують комплекс приладів на основі апарату В. Весели (Чехія) [9]. Вказаний (або подібний) апарат розміщують під біноклярним стереоскопічним мікроскопом із збільшенням 8...16 разів. Апарат може бути використаний для реалізації способу [3].

Беззаперечною перевагою даного апарату є його простота як конструкції, так і процедури використання. Однак, робота з приладом потребує високої кваліфікації оператора, а позитивний результат (процент виходу ділових бджолиних маток) суб'єктивно залежний від точності рухів оператора. Крім того, прилад не здатний забезпечити всі рухи, передбачені більш досконалим та перспективним способом [2, 4]. Також невиправданою вбачається висока вартість приладів, представлених на ринку.

Аналіз відкритих джерел патентної та наукової інформації свідчить про досить цікаву і неоднозначну ситуацію. Переважна більшість розробок та патентів стосуються маніпулювання макрооб'єктами та субмікро- та нанооб'єктами. А от проміжний діапазон – пристрої для маніпулювання мініатюрними об'єктами (порядку $10^{-3} \dots 10^{-5}$ м) представлені явно недостатньо. Крім того, в ряді випадків, в т.ч. і в описаному, суворе дотримання кругової або лінійної траєкторії руху робочого органу не є критичним. Цілком допустимим є наближення реальної траєкторії до ідеальної з відхиленнями в допустимих межах.

Метою досліджень є огляд шляхів створення елементів та вузлів цільових мікромеханізмів для маніпулювання мініатюрними (в тому числі й біологічними живими) об'єктами, які (мікромеханізми) відповідали б таким вимогам: 1) достатня точність для маніпулювання мініатюрними об'єктами під неозброєним оком а також при невеликому збільшенні; 2) висока технологічність та ремонтпридатність; 3) можливість ручного керування та/або можливість застосування в польових умовах без використання якісної електроенергії або електроенергії взагалі; 4) стійкість до негативного впливу зовнішніх факторів та недбалості в обслуговуванні (наприклад, недостатнє змащування); 5) можливість стерилізації всього механізму шляхом термічної та/або хімічної обробки при повному зануренні в рідину; 6) стійкість до поширених органічних розчинників; 7) захищеність від завідомо невірних дій оператора під час роботи або обслуговування; 8) ринкова привабливість.

Прикладом використання уніфікованих елементів можна вважати трьохкоординатний мікроманіпулятор [5, 10] (рис. 1), кінематична схема якого містить два направляючих механізми з використанням лише обертальних з'єднань деталей.

Використання в механізмі лінійного переміщення тільки обертальних кінематичних пар здатне підвищити точність маніпулювання робочим органом завдяки тому, що

точність кінематичного ланцюга, в цілому, майже не залежить від точності виготовлення окремих елементів кінематичної пари, як це має місце в поступальній кінематичній парі, а залежить від дотримання потрібних міжосьових відстаней. Використання в механізмі нахилу робочого органа двокоромислового чотириланкового шарнірного механізму, коромисла якого мають рівну довжину і в нейтральному положенні спрямовані до геометричного центру маніпулятора, дозволяє звільнити геометричний центр маніпулятора від опор і наближати до нього робочий орган настільки, наскільки це обумовлено призначенням маніпулятора, що також призводить до підвищення точності маніпулювання. Вказаний двокоромисловий чотириланковий шарнірний механізм в даному випадку є наближеним радіально-напрямним механізмом. Але, при незначних кутах нахилу робочого органу та при певному співвідношенні довжин ланок механізму, можливе досягнення наперед заданої точності позиціонування робочого органа.

Зменшення витрат на виробництво маніпулятора досягається за рахунок спрощення кінематичної схеми маніпулятора та уніфікації його деталей.

Використання в механізмі лінійного переміщення робочого органа декількох послідовно з'єднаних шарнірних паралелограмів забезпечує плоскопаралельне переміщення робочого органу. Введення додаткового пружного елемента вносить в структуру механізму додаткове силове обмеження, що перетворює двохрухомий (в даному випадку) механізм в умовно однорухомий при збереженні паралельного переміщення робочого органа, що еквівалентно більш конструктивно складним прямолінійно напрямним механізмам.

Уніфікація деталей може бути досягнута, наприклад, завдяки тому, що коромисла механізму нахилу та коромисла паралелограмів механізму лінійного переміщення можуть бути виконані у вигляді однакових деталей. В залежності від вимог по точності маніпулятора для коромисел можуть бути використані, наприклад, окремі пластини готових втулкових ланцюгів.

Використання широко застосовуваних прокатних профілів та спрощення процесу виготовлення можна проілюструвати на прикладі мініатюрної напрямної для прямолінійного переміщення [6] (рис. 2).

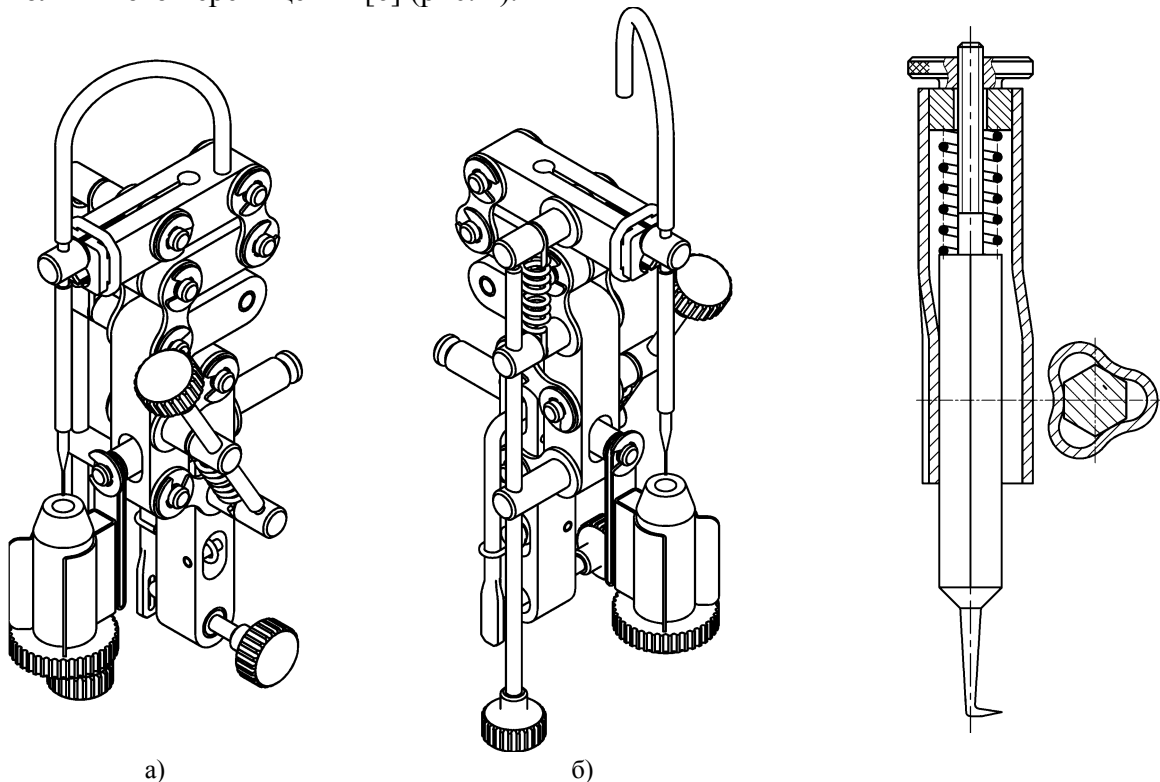


Рисунок 1 – Мікроманіпулятор на основі направляючих механізмів:
а – вигляд спереду ліворуч; б – вигляд спереду праворуч

Рисунок 2 – Напрямна
прямолінійна мініатюрна

В зазначеній мініатюрній прямолінійній напрямній, що включають в себе видовжену охоплювану та трубчасту охоплюючу деталі, що сполучені між собою з можливістю тільки взаємного поздовжнього переміщення, охоплююча деталь має щонайменше одну робочу ділянку, сформовану у вигляді правильної трикутної призми з прямими або увігнутими гранями, а охоплювана деталь в місці контакту з робочою ділянкою охоплюючої деталі має профіль поперечного перерізу у вигляді правильного багатогранника з кількістю сторін, кратною трьом. Підвищення технологічності мініатюрної прямолінійної напрямної досягається за рахунок того, що одна або декілька робочих ділянок охоплюючої деталі можуть бути сформовані шляхом тристороннього обтискання трубчастої заготовки.

Охоплювана деталь або, принаймні, її робоча ділянка, може бути виготовлена з шестигранного холодотягнутого каліброваного прутка. Таким чином, відпадає необхідність в додаткових деталях, що перешкоджають взаємному повороту охоплюючої та охоплюваної деталей, що також спрощує конструкцію та виготовлення напрямної.

Використання пружних кінематичних пристроїв у мікромеханізмах дозволяє отримати деякі переваги: 1) відсутність сполучення елементів із тертям ковзання, що виключає нерівномірність руху внаслідок наявності тертя спокою; 2) відсутність зазорів між елементами пристрою і, як наслідок, відсутність "мертвого ходу"; 3) спрощення конструкції внаслідок поєднання кінематичних та силових елементів пристрою.

Наприклад, в основі двохкоординатного мікроманіпулятора [1, 7] з ручним керуванням використано пружний кінематичний пристрій, виготовлений із пружного пруткового матеріалу (рис. 3). При невисоких експлуатаційних вимогах до мікроманіпулятора в якості пруткового матеріалу можна використовувати сталевий шпонковий матеріал. В мікроманіпуляторі пружні шарніри утворені шляхом вилучення матеріалу заготовки у визначених місцях та подальшого пластичного деформування до отримання потрібного взаємного розташування ланок.

Використання в якості матеріалу заготовки пруткового матеріалу з прямокутним поперечним перерізом дозволяє значно спростити конструкцію тіла пристрою і підвищити його технологічність. В цьому випадку механічна обробка зводиться в основному до нарізки пруткового матеріалу, вилучення матеріалу заготовки для створення ділянок зменшеної жорсткості, а також деяких додаткових поширених операцій, зокрема, різьбонарізання. В якості заготовки може бути використаний шпонковий матеріал з квадратним або прямокутним перерізом, а для утворення ділянок зменшеної жорсткості можна застосувати операцію фрезерування на прохід, що також уможлиблює обробку одночасно декількох заготовок, що також підвищує технологічність.

Також пружний кінематичний елемент мікроманіпулятора [1, 8] може бути виготовлений з листового матеріалу (рис. 4), який широко застосовується в промисловості для виготовлення плоских пружин приладів, елементів електроавтоматики тощо.

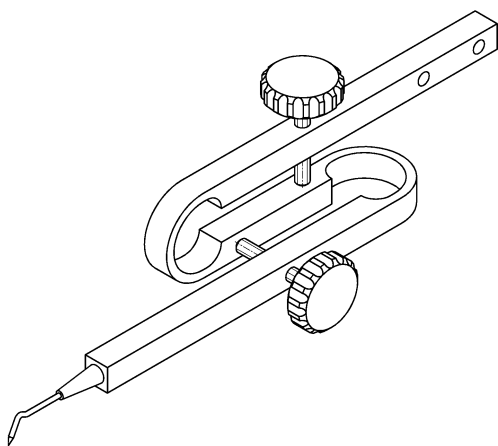


Рисунок 3 – Мікроманіпулятор, виготовлений з пруткового матеріалу

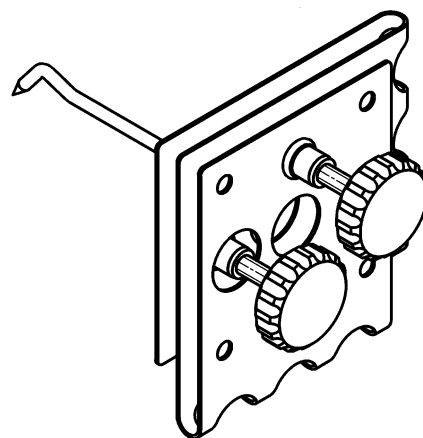


Рисунок 4 – Мікроманіпулятор, виготовлений з листового матеріалу

Використання в якості матеріалу заготовки пружного листового матеріалу дозволяє значно спростити конструкцію тіла пристрою і підвищити його технологічність. Тоді механічна обробка зводиться в основному до контурної нарізки пружного листового матеріалу, яка може бути здійснена механічною обробкою (тиском або різанням) або фізико-хімічними методами. В якості різьбових втулок можна використати різьбові заклепки.

Представлені шляхи створення комерційно привабливих цільових мікромеханізмів для маніпулювання мініатюрними об'єктами, в т.ч. біологічними живими, не є вичерпними. Значний інтерес становлять новітні перспективні технології, зокрема, тривимірний друк, в т.ч. і з металу.

Однак, навіть вказані декілька шляхів дозволяють налагодити виготовлення цільових мікромеханізмів для маніпулювання мініатюрними об'єктами при будь-якому типі виробництва.

Перспективним напрямком подальших досліджень і розробок є уніфікація деталей (складальних одиниць) та розробка модульного принципу побудови технологічного обладнання з використанням представлених мікромеханізмів.

Крім того, в умовах ринкової економіки та конкуренції, доцільним є створення недорогих нерозбірних конструкцій мікромеханізмів із прихованою будовою.

Література

1. Samoilenko O. Low Cost Handheld Micromanipulators Based on Compliant Kinematic Devices // Technological complexes. – 1/2 (12) 2015. – pp. 26...32.
2. Броварський В.Д. Обґрунтування технології репродукції бджолиних маток : дис. д-ра с.-г. наук: 06.02.04 / Національний аграрний ун-т. – К., 2006. – 431 арк.: рис. – Бібліогр.: арк. 311...351.
3. Патент України на винахід №50846 Україна, МПК А01К 47/00. Спосіб штучного осіменіння бджолиних маток / Броварський В.Д. – Заявка №2000031250 від 02.03.2000. – Опубл. 15.11.2002, бюл. №11.
4. Патент України на винахід №98425. МПК А01К 49/00, А01К 67/033, А61D 19/02. Спосіб отримання плідних бджолиних маток / Броварський В.Д., Самойленко О.В. – Заявка №а201107077 від 06.06.2010 р. – Опубл. 10.05.2012 р., бюл. №9/2012.
5. Патент України на корисну модель №59708. МПК В25J 1/00, В25J 7/00. Маніпулятор / Самойленко О.В. Заявка №u20101013479 від 15.11.2010 р. – Опубл. 25.05.2011 р., бюл. №10/2011.
6. Патент України на корисну модель №60261. МПК F16C 29/00. Напрямна прямолінійна мініатюрна / Самойленко О.В. – Заявка №u20101015337 від 20.12.2010 р. – Опубл. 10.06.2011 р., бюл. №11/2011.
7. Патент України на корисну модель № 102100. МПК В25J 1/00, В25J 7/00. Орієнтуючий пристрій (прутковий) / Самойленко О.В. – Заявка № u201504934 від 20.05.2015 р. – Опубл. 12.10.2015 р., бюл. № 19/2015.
8. Патент України на корисну модель № 102101. МПК В25J 1/00, В25J 7/00. Орієнтуючий пристрій (листовий) / Самойленко О.В. – Заявка № u201504935 від 20.05.2015 р. – Опубл. 12.10.2015 р., бюл. № 19/2015.
9. Руттнер Ф. Инструментальное осеменение пчелиных маток / пер. с нем., изд. 2-е. – Бухарест: Изд-во Международного института технологии и экономики пчеловодства Апимондии, 1975. – 128 с.
10. Самойленко О.В. Трьохкоординатний маніпулятор з використанням ланцюгових ланок // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції "Проблеми сучасних технологій виготовлення та надійності передачі з гнучким зв'язком", присвяченої пам'яті та 70-й річниці з дня народження професора Дубиняка Степана Андрійовича (Україна, м. Тернопіль, 19...21 грудня, 2011 р.). – Тернопіль: Крок, 2011. – 126 с. – С. 73...75.