

С. В. Струтинський, к.т.н., старший викладач

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

ОСОБЛИВОСТІ ТЕОРІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОСТОРОВИХ СИСТЕМ ПРИВОДІВ ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМІВ З ПАРАЛЕЛЬНИМИ КІНЕМАТИЧНИМИ СТРУКТУРАМИ

Просторові системи приводів з паралельними кінематичними структурами є основою прогресивного технологічного обладнання. Тому дослідження в даному напрямку є актуальними. Просторові системи приводів найбільш ефективні для вирішення екстремальних задач маніпулювання об'єктами машинобудування (рис. 1).



Рисунок 1 – Застосування обладнання на основі просторових систем приводів у екстремальних умовах

До таких задач відноситься робота в обмежених об'ємах, таких як трубопроводи, ємності, резервуари, колектори тощо. Ефективним є застосування пристроїв маніпулювання на основі просторових систем приводів для механізації важких, небезпечних робіт, робіт в складних екологічних умовах. Це пристрої фарбування, очистки, зокрема гідроструменевої або піскоструменевої. Пристрої маніпулювання ефективні при розбиранні завалів, для сортування сміття та брухту. Їх доцільно використати для пакувальної промисловості, в тому числі пакування токсичних матеріалів.

Розроблення просторових систем приводів стримується відсутністю теорії їх проектування. Згідно розроблених положень теорії проектування просторових систем приводів процес проектування включає ряд послідовних етапів від розробки концепції системи та формулювання технічних умов до апробації дослідних зразків (рис. 2).

На першому етапі проектування проводиться розробка концепції та формулювання технічних умов на систему приводів, що проектується. Запропоновано три принципово різні концептуальні підходи до реалізації інноваційних просторових систем приводів.

Перший відповідає використанню традиційних приводів у вигляді пневмоциліндрів, з'єднаних шарнірами. Вони реалізуються у вигляді комплектних багатопозиційних пневмоциліндрів із відповідними системами дискретного керування.

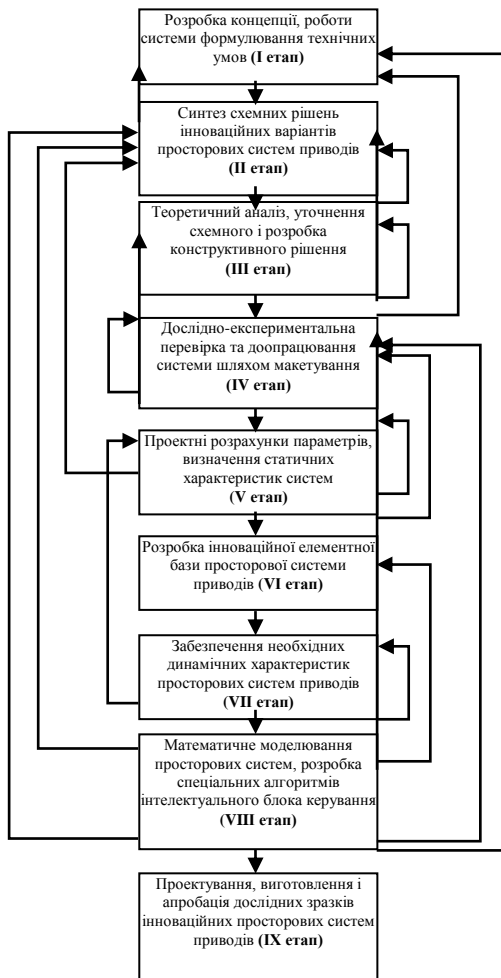


Рисунок 2 – Основні етапи проектування інноваційних мехатронних просторових систем приводів та їх взаємний зв'язок

Синтез схемного рішення здійснюється по розробленому ітераційному алгоритму. На кожній ітерації схема трансформується шляхом застосування спеціальних методів дроблення, копіювання, множення та перетворення фрагментів схеми. В результаті застосування запропонованих алгоритмів синтезу запропоновано близько 100 раціональних варіантів схем, які відрізняються просторовим положенням елементів та характером руху окремих приводів у системі.

Згідно третього етапу проектування проводиться теоретичний аналіз схемного рішення. Синтезоване схемне рішення просторової системи приводів аналізується з метою його уточнення. Насамперед перевіряється працездатність розробленої системи, її відповідність поставленим вимогам та можливість забезпечення необхідних статичних і динамічних характеристик.

Для уточнення схемного рішення проводиться теоретичний аналіз механізму відповідного схемному рішенню. На основі синтезованого схемного рішення розробляється конструктивне рішення просторової системи приводів.

Відповідно четвертому етапу проектування проводиться перевірка схемного і конструктивного рішення шляхом комп'ютерного моделювання та фізичного макетування. Воно здійснюється шляхом побудови твердо тільної моделі системи, яка формується із типових елементів таких, як шарніри, корпусні деталі, кронштейни. Результати комп'ютерного моделювання перевіряються шляхом фізичного макетування. Макети збираються із деталей, які відповідають типовим елементам твердотільних моделей.

Для забезпечення необхідної точності комплектні дискретні приводи оснащені лінійними приводами мікропереміщень. Другий підхід до реалізації схемних рішень просторових систем приводів полягає у застосуванні пружно-деформованих, зокрема сильфонних приводів або приводів на основі шлангових пневмодвигунів (пневмом'язів). Особливим видом пружних просторових систем приводів є запропоновані безшарнірні просторові системи приводів.

Третій підхід полягає у використанні запропонованих пластично деформованих шарнірних та безшарнірних систем, які об'єднують термомеханічні мехатронні приводи на основі сплавів з пам'яттю форми.

На другому етапі проектування проводиться синтез схемних рішень ряду варіантів систем приводів. Синтез схемних рішень необхідної кількості варіантів систем проводиться відповідно технічних умов. Синтез схемних рішень здійснюється на основі розроблених і систематизованих базових схем механізмів призначених для переміщення одного або кількох виконавчих органів у просторі.

В якості базових схем приймаються механізми, конфігурація яких відповідає правильним геометричним фігурам: трикутнику, тетраедру, кубу, октаедру, піраміді, призмі, тощо.

На п'ятому етапі проектування проводиться розрахунок статичних характеристик по запропонованим методикам. Для розрахунку пружно-деформованих систем використовується еквівалентний шарнірний механізм ланки якого змінюють довжину відповідно деформаціям пружних елементів системи приводів. Для уточнення статичних характеристик проводяться експериментальні виміри статичних характеристик на макетах систем.

При експериментах застосовуються спеціальні навантажувальні пристрої, що задають силу і момент, вектор якого колінеарний силі (силовий фактор динама). За допомогою трьох навантажувальних пристроїв реалізується навантаження системи приводів у вигляді довільного головного вектора і головного момента сил. Для вимірів просторових переміщень елементів системи приводів використано спеціальні пристрої у вигляді трьох точних сфер. На основі вимірів положення кожної із сфер встановлюються поступальні та поперечно-кутові переміщення елементів в системі приводів. Одержані статичні характеристики служать основою для доопрацювання схемного і конструктивного рішення просторової системи приводів.

Згідно шостого етапу розробляється інноваційна елементна база просторової системи приводів. Елементна база включає комплектні пневмоприводи різноманітного виду, шарніри, які служать для з'єднання приводів у просторові механізми, виконавчі, сервісні та допоміжні пристрої і їх системи керування. Основними складовими елементної бази просторової системи приводів є шарнірні вузли.

Запропоновано ряд конструкцій сферичних шарнірів у тому числі безконтактні прецизійні аеростатичні та гідростатичні шарніри. Розроблено ряд оригінальних технічних рішень шарнірів підвищеної точності та демпфуючої здатності. Розроблено ряд оригінальних регульованих сферичних шарнірів рідинного тертя. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження гідродинамічних процесів у шарнірах рідинного тертя. Встановлено розподіл гідродинамічних параметрів при течії рідкого середовища в шарнірах. Визначено траєкторії руху частинок рідини в зазорах, розподіл швидкостей та поля статичного тиску.

Досліджено особливості вихроутворення, закономірності пристінних течій та течій в критичних областях контрольного об'єму рідини. Зокрема, визначено параметри течії в зазорах при наявності анізотропії властивостей (напрямку виступів і канавок) робочих поверхонь шарнірів, виготовлених із застосуванням комп'ютерно-інтегрованих методів технології машинобудування. Встановлено, що наявність особливостей мікропрофіля робочих поверхонь впливає на характеристики течії рідини. Запропоновано їх теоретичний опис тензорними коефіцієнтами гідравлічного опору.

Розроблені і досліджені різноманітні конструкції магнітних шарнірів із феромагнітною рідиною. На основі розв'язку рівнянь магнітної гідродинаміки визначені особливості робочих процесів у магнітних сферичних шарнірах. Теоретичні результати підтверджені проведеними експериментальними дослідженнями.

Визначено вплив індукції магнітного поля на розподіл швидкостей у феромагнітній рідині, що рухається в порожнинах шарнірів. Основу просторової системи приводів складають комплектні пневмоприводи. Як правило, вони реалізуються з використанням пневмодвигунів поступальної дії агрегатованих із приводами мікропереміщень. З використанням розробленої елементної бази вдосконалюється розроблене конструктивне рішення просторової системи приводів.

Згідно сьомого етапу визначаються і корегуються динамічні характеристики просторових систем. Розроблені системи приводів повинні забезпечувати необхідні показники динамічної якості. Особливістю просторових систем є складні просторові рухи їх елементів.

Проведені теоретичні дослідження просторових систем приводів. Для цього розроблені динамічні моделі просторових систем приводів у вигляді зосереджених мас із пружно-деформованими зв'язками.

По результатам досліджень запропоновані методи компенсації негативних наслідків окремих динамічних процесів і явищ. Для поліпшення динамічних характеристик просторових систем приводів рекомендовано застосування пасивних і активних демпфуючих пристроїв. Розроблені активні демпфери коливань із феромагнітною рідиною та досліджені їх характеристики. Дані пристрої мають сферичні порожнини із феромагнітною рідиною, в які поміщені магнітні сфери. Досліджено робочі процеси течії феромагнітної рідини в порожнині демпфера при переміщеннях корпусу демпфера. Застосування демпферів дозволяє значно поліпшити динамічні характеристики просторових систем приводів.

Згідно восьмого етапу проектування проводиться математичне моделювання просторових систем приводів та розробляються спеціальні алгоритми інтелектуального блока керування. Для корекції положення виконавчого органу застосовується інтелектуальний блок системи керування, що реалізує головний зворотній зв'язок по вимірам вектора просторового положення виконавчого органу.

Останній дев'ятий етап включає аналіз наявного досвіду проектування і апробації інноваційних просторових систем. Проведено дослідження виготовлених систем приводів та визначено їх експлуатаційні характеристики. В результаті дослідної апробації підтверджена ефективність основних положень розробленої теорії проектування просторової системи приводів.

Висновки

1. Обґрунтовано основні етапи теорії проектування інноваційних мехатронних просторових систем приводів, які включають формулювання технічних умов, синтез схемних рішень, розрахунки геометрії, статички та кінематики системи і розробку на цій основі конструктивного рішення системи, перевірку системи шляхом макетування і уточнення конструкції на основі визначення статичних і динамічних характеристик системи приводів.

2. Доопрацювання схемного і конструктивного рішення доцільно провести на макетних зразках просторових систем побудованих по блочно-модульному принципу, які дозволяють реалізувати близько 100 варіантів просторових систем приводів. Базовими варіантами рекомендуються просторові системи відповідні правильним багатогранникам, зокрема тетраедру та октаедру.

3. Вдосконалення інноваційних мехатронних просторових систем приводів необхідно провести на основі запропонованої елементної бази, що включає комплектні приводи лінійних переміщень агреговані із приводами мікропереміщень, сферичні шарніри різних видів, зокрема гідростатичні та аеростатичні і шарніри з феромагнітною рідиною. Доцільним є використання пружно-деформованих безшарнірних просторових систем приводів в якості просторових приводів мікропереміщень.

4. Проведена дослідна апробація розроблених дослідних зразків підтвердила обґрунтованість основних положень запропонованої теорії проектування інноваційних мехатронних просторових систем приводів. Рекомендовано імітаційне математичне моделювання системи приводів та спеціальні алгоритми керування просторовим рухом виконавчого органу в системі приводів.