

- специалисты ГП «АНТОНОВ» согласно требованиям 13 Приложения ИСАО привлекаются к работе национальных комиссий по расследованию авиационных событий.

Примером конкретной работы по обеспечению соответствия авиатехники «АНТОНОВ» требованиям EASA стало получение Сертификата Типа EASA на самолет Ан-26 в 2009 году. Получение данного документа подтвердило факт высокой безопасности эксплуатации самолета данного типа.

ГП «АНТОНОВ» является разработчиком авиатехники, создание которой невозможно без создания нормативной базы Украины относительно выполнения испытательных полетов. Согласно Воздушному кодексу Украины и Положению о Государственной авиационной службе Украины, Госавиаслужба Украины:

- осуществляет надзор за проведением выполнения испытательных полетов гражданских воздушных судов;
- разрабатывает и вводит порядок организации выполнения испытательных и внетрассовых полетов;
- разрабатывает и вводит порядок выполнения испытательных полетов гражданских воздушных судов.

В связи с внедрением АПУ-21 (Part-21) было разработано и одобрено в мае 2015 г. Госавиаслужбой Украины Руководство по летным испытаниям (РЛИ) ГП «АНТОНОВ» и полученные такие полномочия:

- одобрение условий полетов;
- издание разрешений на выполнение полетов

Для обеспечения безопасной эксплуатации авиатехники важнейшим видом деятельности ГП «АНТОНОВ» является поддержка самолетов эксплуатации. Для этого на предприятии реализованы:

- инженерно-техническое сопровождение эксплуатации самолетов;
- круглосуточный консультационный центр с полномочием принятия технических решений на веб-сайте ГП «АНТОНОВ» (функционирование по системе 24/7 / 365);
- техническое обслуживание в специализированных центрах;
- материально-техническое обеспечение Заказчика (запчасти, средства обслуживания и т.п.);
- обучение летного и технического персонала в специализированных центрах (комплексные тренажеры, компьютерное обучение и т.п.);
- поставка ЭД на электронных носителях для конкретного Заказчика.

**УДК 621.87**

**Стругинський С. В.**, д.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

## **ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНО-ОРІЄНТОВАНОЇ ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ СИСТЕМ ГІДРО- І ПНЕВМОПРИВОДІВ ПРИ РОЗРОБЦІ ПРУЖНО-ДЕФОРМОВАНИХ МЕХАНІЗМІВ**

*Анотація.* Створення прогресивного обладнання з суттєво вищим рівнем точності при використанні шарнірів кочення та ковзання є проблематичним. У даній роботі представлені дослідження пружно-деформованих систем приводів, що не містять традиційних шарнірів та дозволяють значно підвищити точність виконання технологічних операцій. Проведені дослідження кінематики, статички та динаміки для типових механізмів, запропоновано алгоритми роботи систем управління. Розроблено та виготовлено ряд функціональних прототипів механізмів тетраедричного та октаедричного типу, проведено експериментальне дослідження їх характеристик.

**Ключові слова:** функціонально-орієнтована елементна база, просторові системи приводів, пружно-деформовані механізми, мікропереміщення, сильфонні приводи, шлангові пневмодвигуни.

Сучасний рівень техніки потребує створення обладнання, що забезпечує суттєво вищий рівень точності при виконанні технологічних операцій. Насамперед це операції обробки матеріалів, виміри геометрії деталей контактним способом, селективне нанесення покриттів.

Традиційна елементна база, а саме шарніри кочення та ковзання за рахунок наявності люфтів та зазорів не дає можливість підвищити рівень точності технологічного обладнання. Наявність невизначених люфтів у шарнірах та з'єднаннях та неможливість їх оцінки та врахування веде до значного зниження точності механізмів.

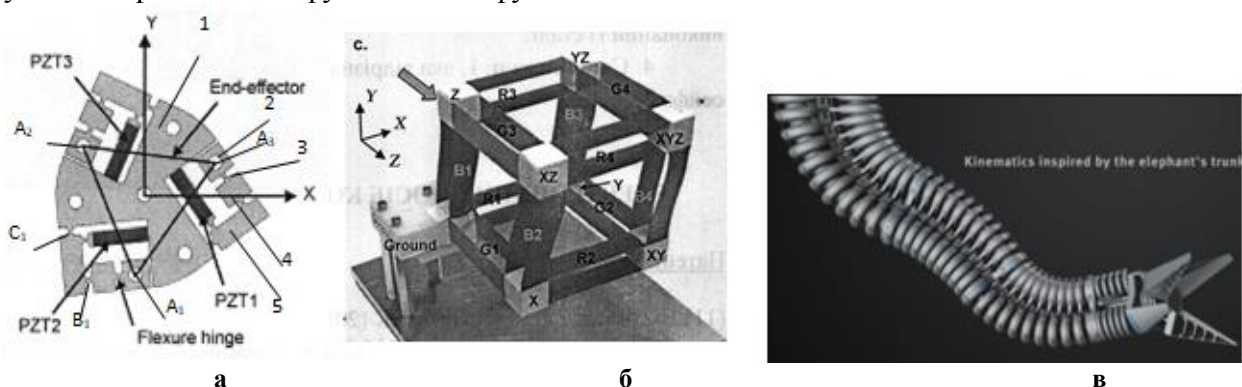
У більшості випадків системи керування не містять алгоритмів, призначених для врахування та компенсації пружних деформацій, що також призводить до зниження точності. Відповідно, кінематичні ланки механізмів при проектних розрахунках та проектуванні позиційних систем управління вважаються абсолютно жорсткими, а їх деформування може бути враховане лише під час динамічного розрахунку систем.

У представленій роботі пропонується принципово інший підхід до проектування систем приводів, що полягає у розробленні безшарнірних систем, що включають ланки змінної довжини, причому їх довжина змінюється шляхом пружного деформування ланок. Такі системи приводів вимагають точного розрахунку їх статичних та динамічних характеристик, а також кінематичних параметрів та обов'язкового створення відповідних математичних моделей, що у подальшому закладається у мехатронну систему керування.

Перевагою розроблених систем приводів є відсутність рухомих з'єднань елементів, а у деяких типах механізмів відсутні також і нерухомі з'єднання. Перевагою такого підходу є повна відсутність люфтів та зазорів, що відкриває перспективи щодо суттєвого підвищення точності систем приводів.

Пружно деформовані системи останнім часом широко досліджуються провідними вченими [1,2], є ряд розроблених експериментальних зразків та серійного обладнання (Рис. 1).

Для більшості систем приводів, у яких зміна довжин ланок здійснюється шляхом їх деформування є схильність до виникнення коливальних процесів. Саме тому використання електричних двигунів у якості приводів пружно деформованих систем механізмів не забезпечує високої точності у динаміці, та потребує спеціальних пристроїв для демпфування коливань. Використання пневматичного, а особливо гідравлічного приводу, дозволяє усунути основний недолік пружно-деформованих систем приводів, оскільки такі приводи виконують одночасно і функцію переміщення і функцію демпфування.



**Рис. 1 – Системи приводів із пружними елементами: а – система мікропереміщення стола; б – система переміщення об'єкта в трьох напрямках; в – система приводів сильфонного типу**

У даній роботі при створенні систем гідро- і пневмоприводів використовується функціонально-орієнтований підхід, що дозволяє створити інноваційні механізми, у яких один і той же конструктивний елемент, що може представляти одну деталь, одночасно виконує ряд

функцій. Для пружно-деформованих систем на етапі проектування створюються елементи, що одночасно виконують 3 функції – функцію привода, шарніра та демпфера. При раціональному проектуванні систем приводів є можливість створити механізми, силова гідромеханічна система яких буде представляти із себе одну деталь.

Пружно-деформовані системи приводів призначені в першу чергу для систем що забезпечують невеликі переміщення. Найбільш оптимальним є їх застосування у пристроях мікропереміщень [3,4,5], де вони повністю розкривають свій потенціал і дозволяють підвищити точність виконання технологічних операцій до рівня 100 нм, а у перспективі точність може бути підвищена до 10 нм, що робить їх конкурентоспроможними у порівнянні із лазерними системами. У той же час механічні системи дають ряд переваг, не властивих лазерним системам, а саме можливість обробки і фрезерування фасонних поверхонь, створення систем що забезпечують формоутворення поверхонь, але при цьому забезпечують необхідну шорсткість, можливість проводити високоточне шліфування поверхонь та нанесення покриттів.

Пружно-деформовані системи приводів мають ряд переваг, але при цьому вони потребують використання датчиків зворотного зв'язку. Фактично їх точність визначається і обмежується точністю вимірювачів.

Пружно-деформовані системи приводів, а особливо розроблені у рамках даної роботи конструкції механізмів, що представляють із себе одну деталь, є інноваційними системами обладнаними складною системою управління, у яку має бути закладена точна математична модель механізму, що у багатьох випадках потребує експериментальної перевірки. Тільки у такому випадку вдається отримати високі показники по точності виконання технологічних операцій.

При проектуванні пропонується використання пропорційно керованого гідравлічного приводу з допомогою якого можна вирішити одну з двох задач: забезпечення значних переміщень при невисокій точності позиціонування, або використання системи для виконання точних операцій, що веде до скорочення діапазону можливих переміщень технологічного обладнання.

Розроблені системи приводів, що реалізують кінематичну схему механізмів тетраедричного кубічного та октаедричного типу[6] (Рис. 2).

При розробці механізмів була досліджена їх кінематика, з використанням традиційних підходів [7], а також використовуючи спеціально розроблені математичні моделі (Рис. 3), отримані геометричні залежності, що забезпечують ефективне управління системою приводів.

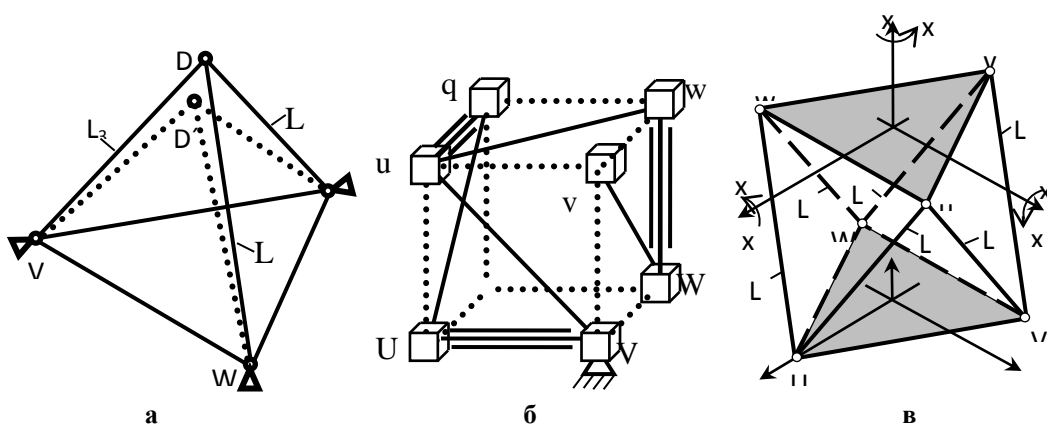


Рис. 2 – Розроблені схеми та конструкції систем приводів відповідні правильним багатогранникам: а – тетраедру; б – кубу; в - октаедру

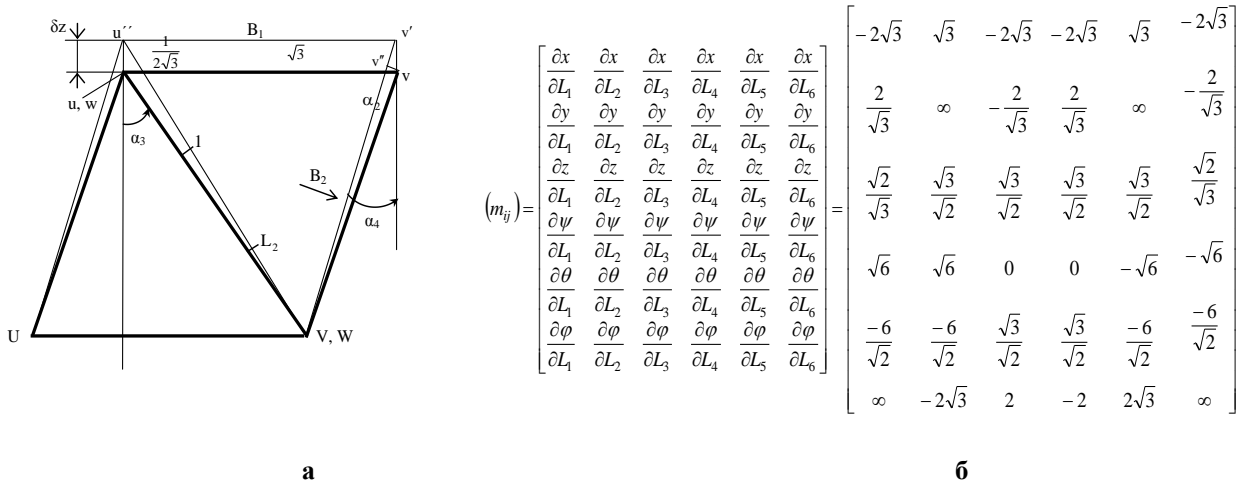


Рис. 3 – Розрахункова схема для механізму октаедричного типу (а) та кінематичні залежності, що закладаються в систему керування (б)

Математичне моделювання кінематики було доповнено твердотільним моделюванням, що дозволило дослідити статику систем приводів як аналітично, так і з використанням методу кінцевих елементів. (Рис. 4), що у подальшому дозволило розробити алгоритми роботи перспективних високоточних систем керування.

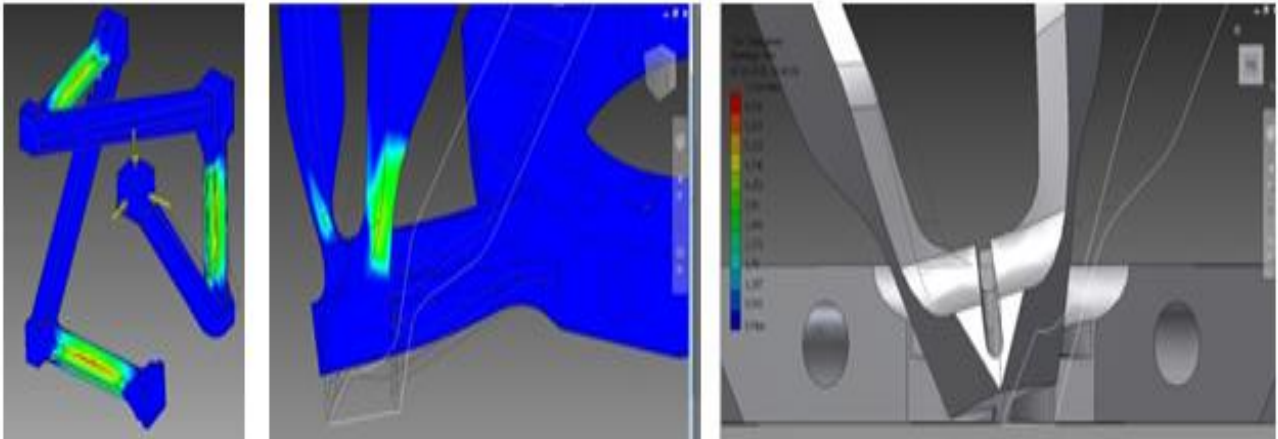


Рис. 4 - Розрахунок напружено-деформованого стану елементів механізмів

На основі теоретичних розрахунків та моделювання було створено макетний зразок, а в подальшому і функціональний прототип механізму октаедричного виду (Рис. 5), на якому було експериментально перевірено роботу алгоритмів системи управління, визначено статичні та динамічні характеристики. Використовуючи досвід отриманий під час експерименту були уточнені математичні моделі та введені корегуючі модулі у мехатронну систему управління.

Проведені дослідження та науково-дослідні роботи дозволили отримати наступні практичні результати. На даний час розроблено ряд конструкцій багато координатних пружно-деформованих система приводів. Досліджені особливості кінематики, статика та динаміка систем приводів такого типу. Розроблені технології захищені патентами України [8]. Спроектовано та виготовлено дослідний зразок монолітного механізму октаедричного типу та ряд інших механізмів. Теоретичні дослідження доповнені експериментальними.

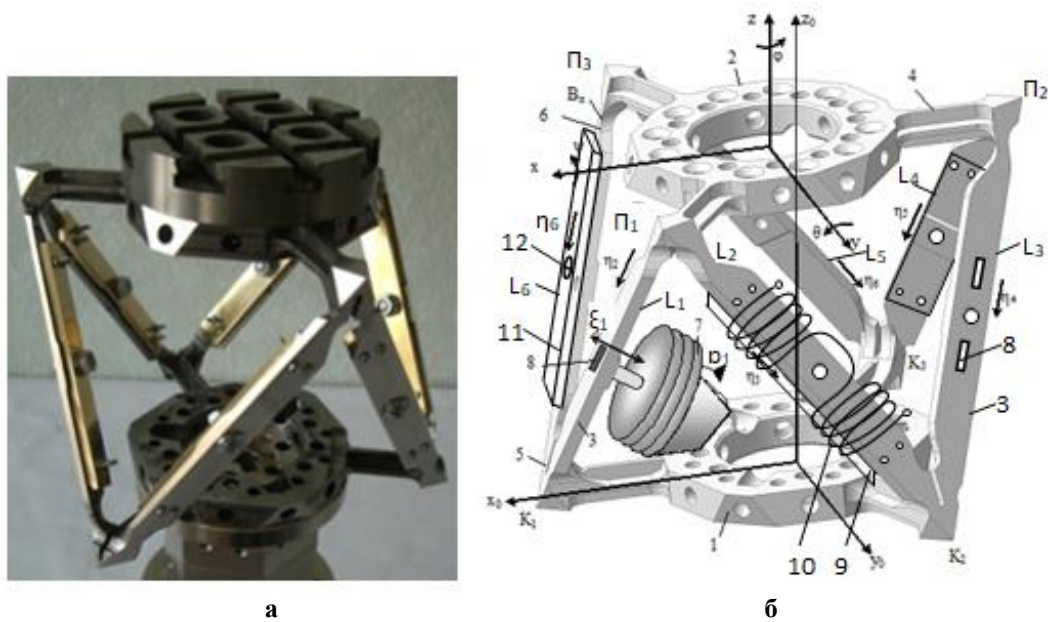


Рис. 5 – Дослідний зразок (а) та конструктивна схема розробленого інноваційного шестикоординатного приводу мікропереміщень октаедричного виду (б)

Результати отримані експериментально враховані при розробці та налаштуванні алгоритму роботи мехатронної системи керування для шести координатного механізму мікропереміщень. Напрямок подальших досліджень є створення та апробація функціонального прототипу шести координатного механізму мікропереміщень, що потребує встановлення у систему високовартісних датчиків зворотного зв'язку та електрогідравлічних підсилювачів, а також програмної реалізації розробленого алгоритму керування.

#### Список використаних джерел

1. Mansoor Alghooneh ; Christine Qiong Wu ; Masoumeh Esfandiari A Passive-Based Physical Bipedal Robot With a Dynamic and Energy-Efficient Gait on the Flat Ground // Journal Transactions on Mechatronics (Volume:21 , Issue: 4 ). 2016. Page(s): 1977 – 1984.
2. Robert M., Fowler, Alex Maselli, Pieter Plummers, Spencer P. Magleby, Larry L. Howell. Flex-16: A large-displacement monolithic compliant rotational hinge // Mechanism and Machine Theory, Volume 82, December 2014, Pages 203–217
3. Струтинський, С.В. Функціонально-орієнтована елементна база проектування систем гідро- і пневмоприводів: Дис.Докт.Техн.Наук. – К. 2017.
4. Strutynskyi, S.V., Hurzhii, A.A. Definition of vibro displacements of drive systems with laser triangulation meters and setting their integral characteristics via hyper-spectral analysis methods. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu 2017 | journal-article EID: 2-s2.0-85019162321
5. Струтинський, С.В. Мехатронні системи приводів у вигляді деформованих просторових структур, призначені для маніпулювання об'єктами в замкнених об'ємах типу трубопровода/ С.В. Струтинський // Вісник СевНТУ: зб. нак. пр.. Серія: Машинобудування та транспорт. – Севастополь, 2014. - Вип. 150/2014– С.170-177.
6. Струтинський, С.В. Просторові системи приводів у вигляді рухомих триангулярних структур / С.В. Струтинський // КрНУ: Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського – Кременчук., 2014. – Вип. 1/2014 (84) частина 1. – С.130-137.
7. Кириченко, А.М. Наукові основи створення мехатронних систем просторового переміщення шпинделя багатокоординатних верстатів: Дис.Докт.Техн.Наук. – К. 2012.
8. Патент України на винахід № 105565. МПК (2014.01) B25J 11/00/ Маніпулятор для просторових переміщень / Струтинський С.В. (UA). - №а201211479; заявл. 04.10.2012; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 10.