



Технічні й програмні засоби Українського виробництва забезпечують точність підтримання регламентів ведення процесу, досить комфортні умови, як розробникам систем керування, так і оперативному персоналу підприємства.

Виконаний комплекс робіт дозволяє зробити висновок про доцільність продовження робіт із модернізації систем керування підприємства, використовуючи подібні методи й підходи до прийняття основних технічних рішень.

#### Література

- [1] Жуковский Э.И. Реализация задачи оценивания показателей работы завода в АСУТП сахарного производства/ Э.И. Жуковский, Ю.М. Скаковский, В.Д. Витвицкий, А.В. Бабков // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: 2010 – №3.– С.16–26.
- [2] Skakovsky Y. M. Increasing of precise estimation of optimal criteria boiler functioning/ Y. M. Skakovsky, A. V. Babkov, E. Y. Mandro //Automation of technological and business-processes. – Odessa:Volume 8, Issue 2/2016/ pp. 58–65.
- [3] Скаковский Ю. М. Использование микропроцессорных контроллеров и программ украинского производства для модернизации системы управления диффузионного отделения сахарного завода/ Ю. М. Скаковский, А. В. Бабков // Автоматизация технологических и бизнес-процессов. – Одесса: 2015 – №7(3), С. 46-51.

#### Referens

- [1] E.Y. Gukovskiy, Y.M. Skakovskiy, V.D. Vitvitskiy, A.V. Babkov. *Realizacia zadachi ocenivania pokazateley raboti zavoda v ASUTP sahnarnogo proizvodstva*. Odessa: Avtomatizacia tehnologicheskikh i biznes-procesov. 2010 – №3.– pp.16–26.
- [2] Y. M. Skakovsky, A. V. Babkov, E. Y. Mandro. *Increasing of precise estimation of optimal criteria boiler functioning*. Odessa: Automation of technological and business-processes. Vol.8, Issue 2/2016/ pp. 58–65.
- [3] Y. M. Skakovsky, A. V. Babkov. *Ispolzovanie mikroprocessornikh kontrollerov i program ukrainskogo proizvodstva dlya modernizacii sistemupravleniya diffuzionnogo otdeleniya sakharnogo zavoda.* Odessa: Automation of technological and business-processes. 2015 – №7(3), pp. 46-51.

УДК 681.513;62.505;621.9.04

## КЛАСИФІКАЦІЯ ЗАВДАНЬ І ПРИНЦИПІВ УПРАВЛІННЯ МЕХАНІЗМОМ ПАРАЛЕЛЬНОЇ КІНЕМАТИЧНОЇ СТРУКТУРИ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ РІЗНИХ ЗАВДАНЬ

Зозуля В.А.<sup>1</sup>, Осадчий С.І.<sup>2</sup>, Беляєв Ю. Б.<sup>3</sup>, Pawel Pawłowski<sup>4</sup>

ORCID: <sup>1</sup> 0000-0003-3793-4686, <sup>2</sup>0000-0002-1811-3594, <sup>3</sup>0000-0002-1811-3594

<sup>1,2</sup>Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький

<sup>3</sup>Національний університет харчових технологій, м. Київ

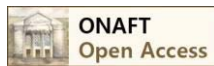
<sup>4</sup>Познанський технологічний університет, м. Познань, Польща

E-mail: irish38@ukr.net, srg2005@ukr.net, belyaevyb@ukr.net, pawel.pawlowski@put.poznan.pl

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v10i2.973

Наведено класифікацію механізмів паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод) за видами робіт, що виконуються. Це оброблювальні центри (верстати), координаційно-вимірювальні центри, вібраційні платформи (стенди для випробувань), симулятори (руху), стабілізаційна платформа. Показано, що існують технологічні завдання при яких механізм паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод) здійснює рух, точно слідуючи бажаній траєкторії і положенню орієнтації в певному часовому



інтервалі: при значному впливі, що обурює з боку навколишнього середовища (оброблювальний центр - режим в зоні обробки, стабілізаційна платформа - під впливом поривів вітру, морської качки) так і при незначному впливі, що обурює з боку навколишнього середовища (тренажер льотної підготовки, вібраційна платформа). При цьому практично всі види завдань, які вирішуються механізмом паралельної кінематичної структури типу гексапод здійснюються в режимі програмного управління. Для кожного виду завдань запропоновані і обґрунтовані функціональні схеми системи керування рухом механізмом паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта та проведено їх аналіз. Показано, що незалежно від сфери застосування всі системи управління механізмами паралельної структури можуть бути класифіковані як багатовимірні системи, що стежать одно або двоконтурні з корекцією по обуренню чи ні. Визначено фізичний зміст вектору програмних сигналів в залежності від сфери застосування механізму паралельної кінематичної структури. Виходячи з недоліків систем, що стежать, запропоновано будувати систему керування гексаподом на основі схем, які мають потенційно більшу точність відтворення програмного сигналу за рахунок збільшення числа ступенів вільності у виборі регулятора.

*The classification of the mechanisms of a parallel kinematic structure on the basis of the Stewart platform (hexapod) according to the types of work performed is given. This machining centers (machines), a coordinate-measuring centers, vibrating platform (test stands), simulators (movement), platform stabilization. It is shown that there are technological tasks in which the mechanism of a parallel kinematic structure on the basis of the Stewart platform (hexapod), exactly following the desired trajectory and the orientation position in a certain time interval: with a significant influence of the disturbance from the environment, (machining center - mode in the processing zone, stabilization platform - under the influence of gusts of wind, sea rolling) and with a slight disturbance from the environment (flight training simulator, vibration platform). Almost all types of tasks that are solved by mechanisms of a parallel kinematic structure such as hexapod are implemented in the program control mode. For each type of task, functional charts of the motion control system were proposed and justified by the parallel kinematic structure mechanism on the basis of the Stewart platform and their analysis was carried out. The physical meaning of the vector of program signals is determined depending on the task of the mechanism of the parallel kinematic structure. It is shown that, regardless of the application task, all control systems of parallel structure mechanisms can be classified as multidimensional one or two-loop tracking systems with or without disturbance correction. Based on the deficiencies of tracking systems, it is proposed to create a hexapod control system based on circuits that have potentially greater accuracy of the software signal reproduction due to an increase in the number of degrees of freedom in the choice of the regulator.*

*Ключові слова системи, управління, об'єкт, гексапод, функціональні схеми*  
*Keywords system, control, object, hexapod, functional schemes*

## **Вступ.**

Під просторовим механізмом паралельної кінематичної структури (МПС) або паралельним механізмом розуміють багатоступеневий механізм, що складається з декількох, однотипних кінематичних ланцюгів, замкнених на загальну нерухому основу з одного боку і - на рухому платформу з іншого. Кінематичні ланцюги складаються з жорстких ланок і рухомих вузлів, що з'єднують їх. У зв'язку з тим, що число, вид і порядок кінематичних пар в ланцюгах може бути різним, різноманіття механізмів паралельної структури дуже велике, за оцінками [1] на даному етапі розвитку техніки існує понад 100 видів МПС.

Особливий інтерес представляє механізми паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод), яка має шість однотипних кінематичних ланцюгів (штанг) [2]. Програмно регулюючи довжину штанг, можна управляти положенням вихідної ланки, переміщати його в вертикальному і горизонтальному напрямках, повертати в трьох площинах. Платформа Стюарта (гексапод), має шість ступенів свободи рухомої платформи: три поступальні ступені рухливості (зміщення характерної точки вздовж осей нерухомої системи координат, пов'язаної з нерухомим основою) і три обертальні ступені рухливості (поворот рухомої платформи щодо власних осей рухомої системи координат, пов'язаної з рухомою платформою).

Активне впровадження МПС на основі платформи Стюарта (гексапод) у виробництво до недавнього часу стримував низький рівень обчислювальної техніки, що не дозволяв вирішувати завдання управління механізмами МПС. Механізми паралельної структури здатні забезпечити досить високі динамічні характеристики при відносно невеликій металоємності. Однак це можливо тільки в результаті розвитку швидкодіючих систем автоматики. Дослідження МПС даного класу мають велике значення і дуже актуально, важливою частиною даних досліджень є розробка системи управління рухом механізму, виходячи із заданих вимог, що пред'являються до системи.

## **1. Огляд використання механізму паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод) для вирішення різних завдань**

### **Оброблювальні і координатно-вимірювальні центри**

Ефективність застосування МПС в складі вимірювального обладнання полягає в наступному. За рахунок багатокординатного руху вимірювального щупа можливо здійснювати контроль розмірів деталі з мінімальною кількістю її переорієнтації; вимір складних виробів з поверхнями другого порядку; вимір криволінійних каналів і порожнин у виробах. Використовуючи комп'ютерну обробку отриманих результатів, можливо прискорити процес



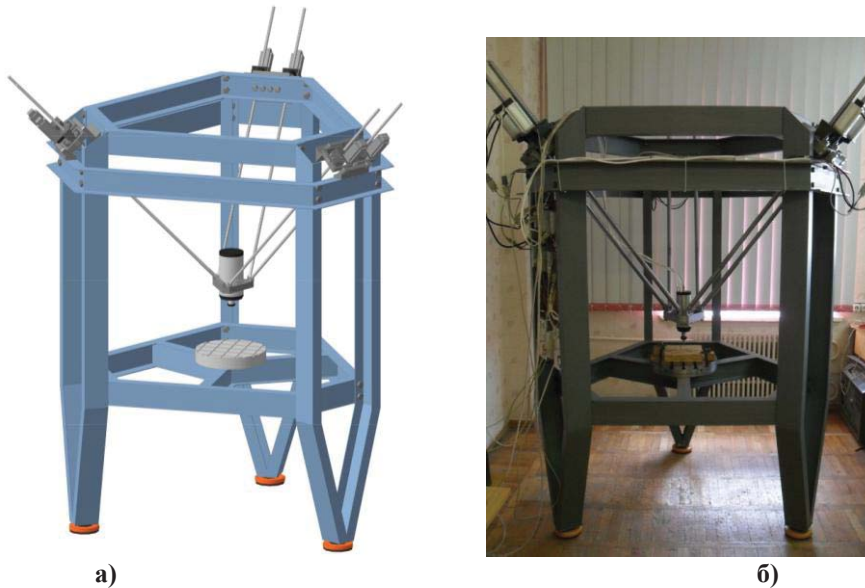
отримання геометричних характеристик вимірюваної деталі з високою точністю.

Оброблювальні центри (верстати) на основі гексаподу призначені для фасонної обробки з високою точністю виробів методами фрезерування, шліфування, свердління, полірування, а також для виконання операцій гравіювання, розточування, розмітки. Така схема побудови верстатів істотно знижує впливу зовнішнього середовища на точність вимірювань і обробки. Наявність математичного базування об'єктів виключає необхідність орієнтації об'єкта щодо базових поверхонь машини. У верстатах передбачена можливість поєднувати в єдиному технологічному циклі обробку і аналітичний контроль, що важливо при обробці виробів, що деформуються.

При єдиній концепції побудови верстатів на основі гексаподу виробництва різних фірм, вони відрізняються компонуванням, конструктивним виконанням, розташуванням штанг в просторі і функціональними можливостями. В [2, 3] наведені компонування існуючих верстатів з паралельною кінематикою.

Авторами [4] розроблено дослідний зразок верстата з механізмом паралельної структури, до складу якої входять: шість сервосистем змінного струму, однокomp'ютерній варіант системи PCNC (Personal Computer Numerical Control) на основі вільно поширюваного програмного забезпечення з відкритим кодом LinuxCNC на платформі ОС Linux Ubuntu (рис.1). Створена фізична модель може бути застосована для фізичного моделювання просторових механізмів переміщення робочих органів металорізальних верстатів і контрольно-вимірювальних машин з паралельною кінематикою і інших технічних об'єктів.

З наведеного огляду літератури щодо застосування МПС в складі технологічного обладнання можна зробити висновок, що в своїй більшості подібного роду установки (багатокоординатно обробні і координатно-вимірювальні центри) експлуатують в режимі програмного управління. Управління рухом рухомої платформи в вільній зоні виконується в два етапи: спочатку здійснюється управління переміщенням застосуванням швидкодіючих швидкісних алгоритмів з малою точністю (в транспортній зоні) і на другому етапі реалізується більш повільне позиційне керування точним переміщенням (в зоні обробки).



**Рис. 1 Верстат з механізмом паралельної кінематикою на основі гексапод: а) модель, б) фізичний прототип  
Тренажери і симулятори руху різних транспортних засобів**

Механізми паралельної кінематичної структури (МПС) на основі платформи Стюарта (гексапод), застосовуються для побудови тренажерів-симуляторів, їх основним призначенням є імітація руху кабін різних транспортних засобів.

Так в 1965 році надрукована знаменита стаття Стюарта [5], де описується 6 координатна рухома платформа для використання в якості симулятора польотів. У 1967 році Клаус Капель отримав патент на винахід симулятора польотів на основі гексаподу [5].

Заявка на патент і ідея симулятора руху було підтримано компанією Sikorsky Aircraft Division of United Technologies на розробку і проектування симулятора вертольота з 6 ступенями свободи [2]. Так був створений перший в світі симулятор польоту на базі восьмигранного гексаподу.

В даний час, для підготовки пілотів використовують авіаційні тренажери на основі гексаподу, який є основним механізмом для здійснення руху (рис. 2) [6].



Рис. 2 а) приклад конструкції авіаційного тренажера ЛА А320 на основі гексаподу; б) загальний вид комплексного пілотажного тренажера вертольота Мі-17-1V рівня D, згідно JAR FSTD (H) [7]

Авіаційний тренажер - складний апаратно-програмний комплекс, призначений для симуляції польоту повітряного судна і націльний на наземну підготовку пілотів. У авіатренажер імітується динаміка польоту і робота систем повітряного судна за допомогою спеціальних моделей, реалізованих в програмному забезпеченні обчислювального комплексу.

Відзначено, що одним з головних і складних аспектів створення рухомих багатовимірних авіаційних імітаторів і тренажерів, комплексів напівнатурного і натурного моделювання польоту є забезпечення близькості імітованого і збурених рухів, що імітує ЛА. Ця близькість повинна характеризуватися кількісною мірою, причому в процесі розробки імітаторів необхідно прагнути до об'єктивно досяжного екстремуму цієї міри [8].

Платформу Стюарта можливо використовувати в якості симулятора рухомий палуби корабля [9]. Застосування подібних механізмів дозволяє моделювати різні режими зовнішніх збурюючих впливів на рухливу основу, викликаних хвилюванням моря, зміною курсу, крену або дифферента судна, а також їх поєднанням.

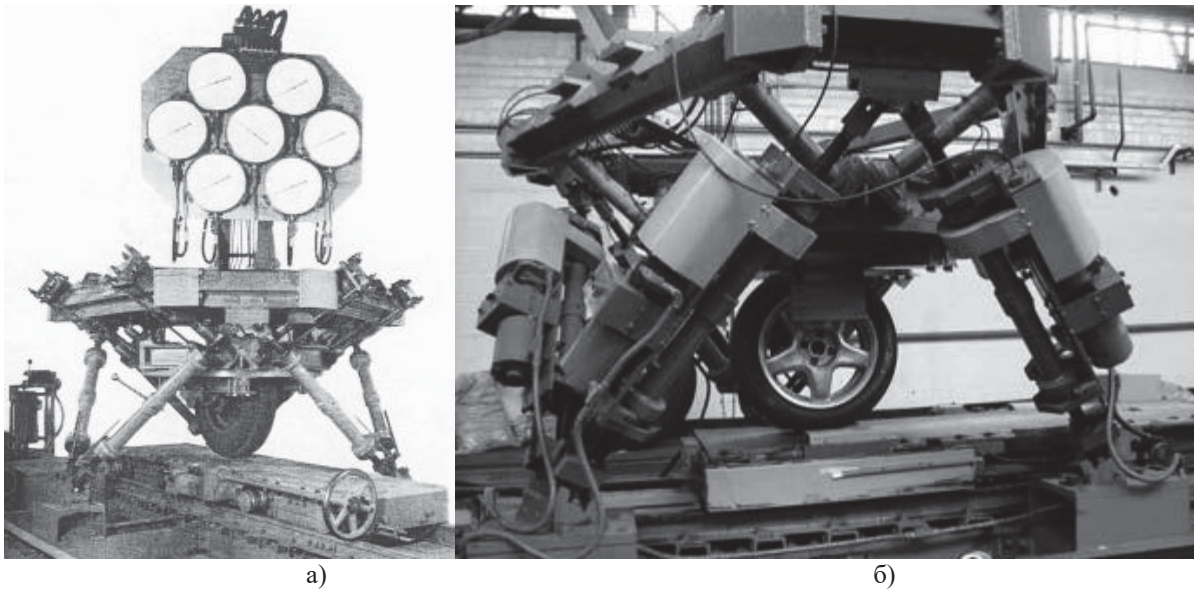
#### **Вібраційні платформи**

Одним з основоположників теорії структурного аналізу і синтезу механізмів паралельної кінематики Еріком Гауфа, був розроблений стенд для випробування покришок коліс. Універсальна машина для випробування шин створювалася для моделювання навантажень на шини в процесі приземлення літаків. Новим в платформі Гауфа було розміщення штанг (рис. 3). Оскільки Гауфа необхідно було відносно велике переміщення платформи, він вибрав симетричне розташування, що утворює просторовий восьмигранник [5]. Машину побудували на початку 50х, а запрацювала вона в 1954 році. Хоча початкова конструкція передбачала використання загальних шарнірів на основі і рухомій платформі, приводи в кінці були приєднані окремо.

Якщо проаналізувати роботу вібраційної платформи, то можна зробити висновок, що вона працює за заздалегідь відомим вхідним впливом. Задається відоме програмне управління, в результаті дії якого отримуємо відомості про об'єкт випробування. Система управління вібраційної платформи повинна з достатньою точністю відтворити програмний рух за відсутності впливу зовнішніх сил.

#### **Стабілізаційні платформи (механізми орієнтації і позиціонування)**

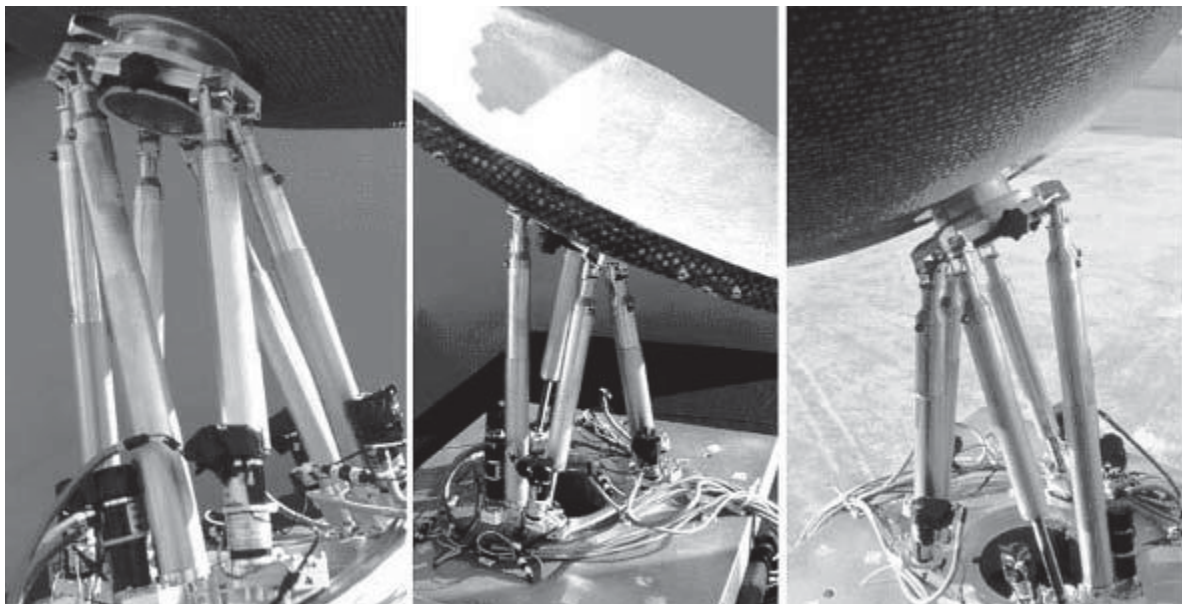
Різні модифікації механізму Стюарта застосовуються для позиціонування активних поверхонь дзеркал телескопів. Слід згадати, застосування МПС в якості пристрою для наведення антен, вперше запропоновано групою дослідників з університету Кентербері (рис.4) [10].



**Рис. 3** Машина Гауфа для випробування шин: а) варіант з ручною зміною положення платформи; б) варіант з електроприводами

Практично у всіх побудованих останнім часом наземних телескопах (Telescopio Nazionale Galileo, University of Arizona MMT, обидва з яких розроблені ADS International, UKIRT, ESO VISTA або GRANTECAN на Канарських островах) в якості вторинної системи вирівнювання дзеркал використовуються гексапод [11].

Прикладом застосування механізму паралельної структури, виконаного у вигляді гексаподу, для забезпечення активної просторової віброзахисту прецизійних корисних навантажень, що встановлюються на космічних апаратах, можуть бути дії, що проведені фірмою MATRA MARCONI SPASE (Франція) за контрактом з ESA [12]. Діюча модель (прототип) багатоцільовий активної ізолюючої системи MAIS (Multi-purpose Active Isolation System) з шістьма ступенями свободи, виконаної у вигляді гексаподу з шістьма активними стрижнями [12].



**Рис. 4.** Приклад використання МПС для управління орієнтацією антени

Як ми бачимо для цього класу платформ характерні два види робіт, це прецизійне позиціонування і стабілізація в певному положенні. Можна зробити висновок, що система управління для таких платформ буде працювати в режимі програмного управління, в якому об'єкт буде з достатньою точністю виконувати рух і в режимі компенсації заздалегідь невідомих зовнішніх впливів.



## 2. Розробка функціональних схем систем управління механізмом паралельної структури, що відповідають відповідним завданням

З наведеного огляду використання механізму паралельної кінематичної структури на основі платформи Стюарта (гексапод) для вирішення різних завдань, можна побачити, що існують технологічні завдання при яких МПС типу гексапод здійснює рух, точно слідуючи бажаній траєкторії і положенню орієнтації в певному часовому інтервалі: при значному впливі, що обурює з боку навколишнього середовища (оброблювальний центр - режим в зоні обробки, стабілізаційна платформа - під впливом поривів вітру, морської качки) так і при незначному впливі, що обурює з боку навколишнього середовища (тренажер льотної підготовки, вібраційна платформа). При цьому практично всі види завдань, які вирішуються МПС типу гексапод здійснюються в режимі програмного управління.

Якщо розглядати гексапод як механізм паралельної кінематичної структури, тобто багатоступеневий, багатокомпонентний і багатозв'язний об'єкт, то виникає ряд складнощів. З урахуванням, яких можна виділити наступні специфічні особливості гексаподу:

- рух робочого органу, забезпечується взаємопов'язаними переміщеннями шести виконавчих приводів і механічних ланок;
- задача управління гексаподу повинна бути вирішена в просторі (знайдено оптимізовані траєкторії руху всіх ланок, включаючи робочий орган) і в часі (визначені і реалізовані бажані швидкості, прискорення і зусилля, що розвиваються для всіх приводів системи);
- параметри збурюючих впливів, прикладених до робочого органу і окремим осях, для багатьох технологічних завдань заздалегідь не визначені;
- складність побудови адекватної математичної моделі гексаподу.

Розглянемо побудований на основі гексапод верстат (рис.1), що складається з трьох нерухомих рамок 1, в кожній з яких за допомогою карданних підвісів 2 шарнірно закріплені по два корпуси 3 з обертовими гайками 4, які утворюють ШВП з гвинтами 5, з'єднаними через карданні шарніри 6 до робочого органу 7 (рис. 5). Координати робочого органу в загальному випадку являє собою вектор  $X = (x, y, z, \alpha, \beta, \gamma)'$ , які прив'язані до рухливої системи координат  $O_p X_p Y_p Z_p$  з центром обертання  $O_p$ . Положення приводів зазвичай задаються у вигляді вектора  $Q = (l_1, l_2, \dots, l_6)'$ , які прив'язані до нерухомої системи координат  $O_b X_b Y_b Z_b$  з центром  $O_b$ . Тоді пряма задача кінематики записується у вигляді

$$\dot{X} = G(\dot{Q}),$$

а зворотна задача кінематики відповідно

$$\dot{Q} = G^{-1}(\dot{X}),$$

де  $G$  – функція, яка описує кінематику механізму паралельної структури.

На підставі вищесказаного, з урахуванням основ теорії автоматичного управління можна запропонувати ряд функціональних схем системи управління гексаподом.

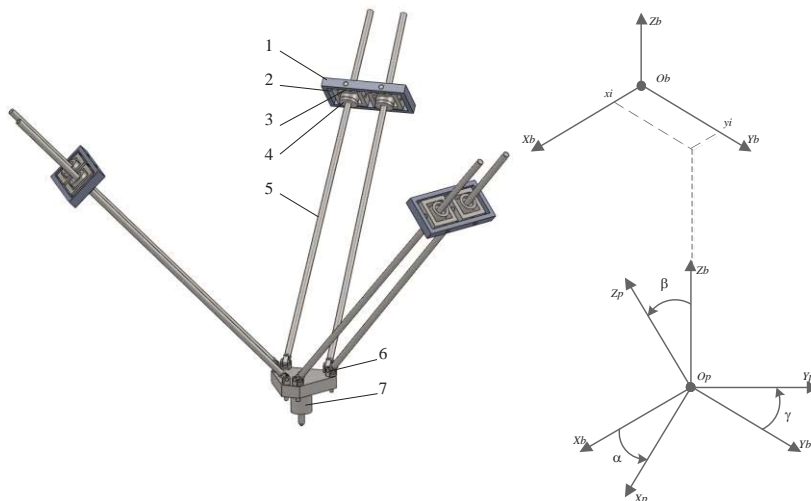


Рис. 5 Спрощена тривимірна модель механізму паралельної структури

Для таких видів об'єктів як оброблювальний центр (верстат), тренажери, імітатори руху, вібраційні платформи, стабілізатори положення, механізми орієнтації і позиціонування та активні віброізолятори функціональні схеми представлені на рисунках 6-9.

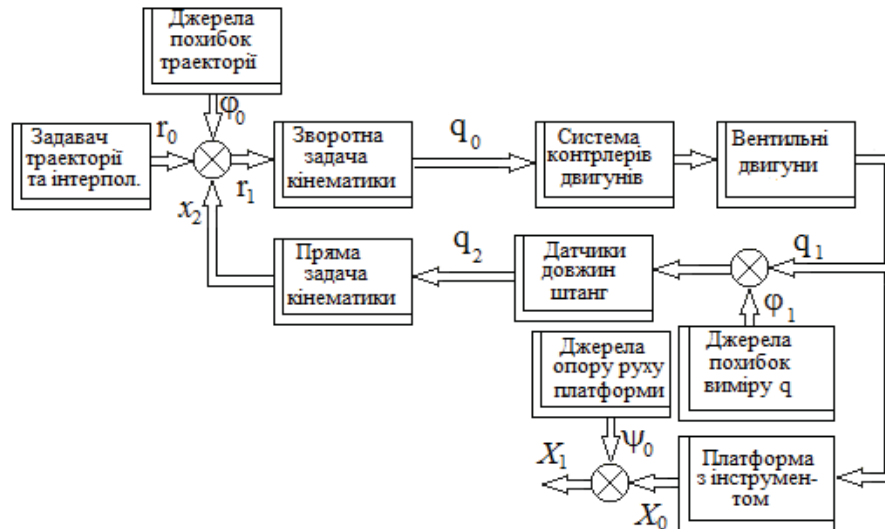


Рис. 6

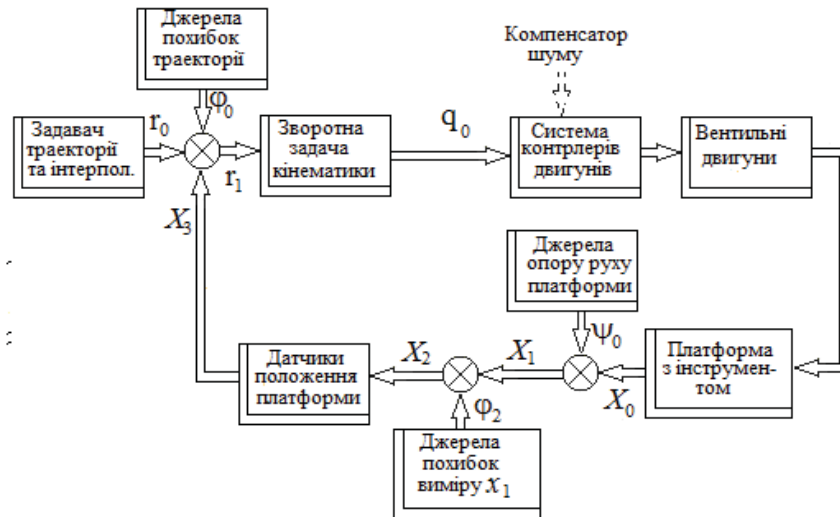


Рис.7

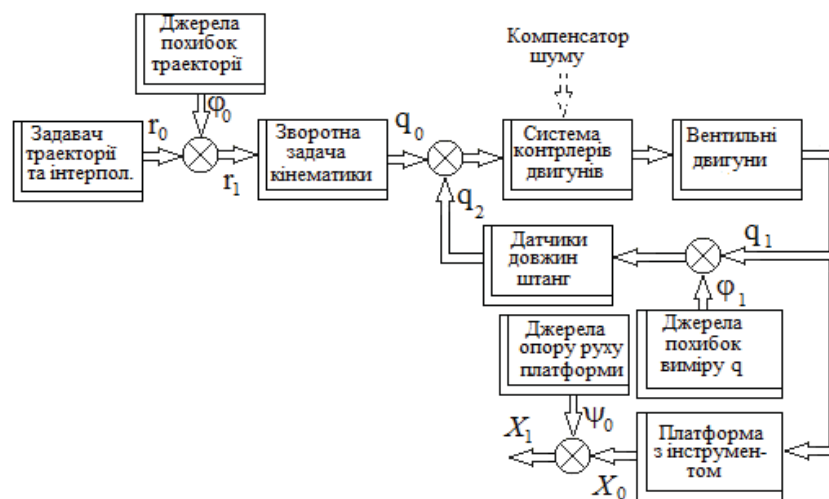


Рис.8

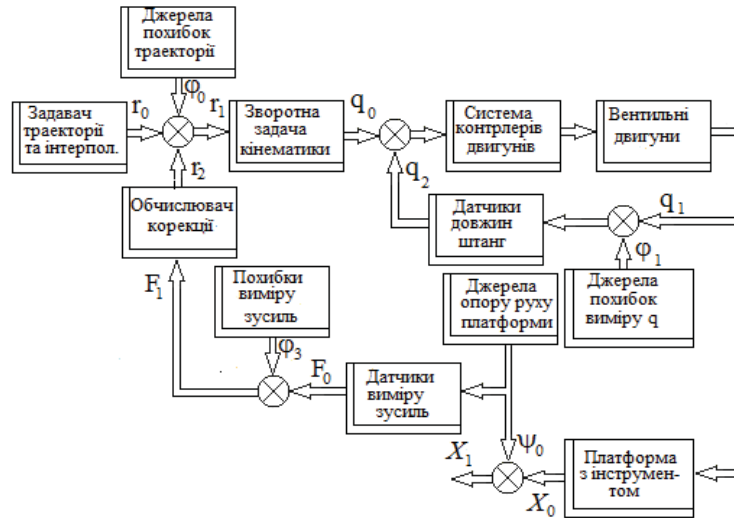


Рис. 9

Для координатно-вимірвального центру на рисунку 10.

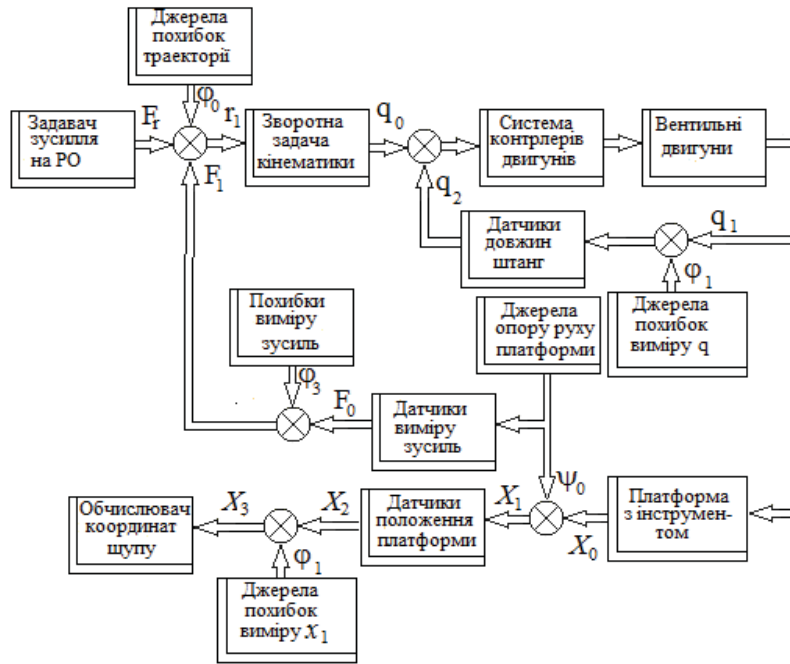


Рис.10

У цих функціональних схемах представлені наступні позначення:

$r_0$  – бажаний вектор програмний сигнал, задана траєкторія руху платформи (6DOF),

$$r_0 = [x_0 \ y_0 \ z_0 \ \alpha_0 \ \beta_0 \ \gamma_0]^T,$$

де  $x_0, y_0, z_0$  – задані координати центру обертання платформи  $O_p$  відносно системи координат, зв'язаної з основою механізму  $O_b X_b Y_b Z_b$  (рис.5);  $\alpha_0$  – заданий кут ристання;  $\beta_0$  – заданий кут тангажу (дифференту);  $\gamma_0$  – заданий кут крену; / - символ транспонування вектору.

В залежності від сфери застосування механізму відбувається зміна фізичного змісту вектору програмних сигналів  $r_0$  (табл. 1).





**Таб. 1 - Фізичний зміст вектору програмних сигналів  $r_0$**

№ П.п.	Призначення	Фізичний зміст компонентів $r_0$
1	Оброблювальний центр	Координати ріжучої поверхні інструменту та його орієнтація
2	Тренажер	Функція зміни положення центру мас та орієнтації об'єкта
3	Імітатор руху	Траєкторія зміни положення центру мас та орієнтації об'єкта
4	Вібраційні платформи	Бажані лінійні та кутові прискорення платформи
5	Стабілізатори	Зміна координат положення рухомої основи механізму відносно нерухомої системи координат
6	Механізми орієнтації та позиціонування	Бажане положення платформи
7	Активні віброізолятори	Зміна координат положення рухомої основи механізму відносно нерухомої системи координат
8	Координатно-вимірювальні центри	Проекції сил на вісі платформи або на вісі штанг.

$\varphi_0$  - вектор похибок завдання програмних сигналів, який виникає внаслідок похибок інтерполяції та інших, які супроводжують формування вектору  $r_1$  на основі вектору  $r_0$  (Формування траєкторії руху)

$$\varphi_0 = [\varphi_x^0 \quad \varphi_y^0 \quad \varphi_z^0 \quad \varphi_\alpha^0 \quad \varphi_\beta^0 \quad \varphi_\gamma^0].$$

$r_1$  - сформований (фактичний) вектор програмний сигналів (значення залежить від схеми та задачі) для першої схеми

$$r_1 = r_0 + \varphi_0 = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad \alpha_1 \quad \beta_1 \quad \gamma_1].$$

$q_0$  - визначений на основі вектору  $r_1$  в результаті розв'язання зворотної задачі кінематики вектор заданих довжин штанг гексаподу

$$q_0 = [l_1^0 \quad l_2^0 \quad l_3^0 \quad l_4^0 \quad l_5^0 \quad l_6^0].$$

$q_2$  - вектор вимірних значень довжин штанг гексаподу

$$q_2 = q_1 + \varphi_1 = [l_1^2 \quad l_2^2 \quad l_3^2 \quad l_4^2 \quad l_5^2 \quad l_6^2],$$

де  $q_1$  - вектор дійсних довжин штанг гексаподу;  $\varphi_1$  - вектор похибок вимірювання довжини штанг.

$X_0$  - вектор незбурених координат платформи відносно системи координат  $O_b X_b Y_b Z_b$ , який виникає при відсутності опору руху платформи

$$X_0 = [x_0^0 \quad y_0^0 \quad z_0^0 \quad \alpha_0^0 \quad \beta_0^0 \quad \gamma_0^0].$$

$\psi_0$  - вектор збурень, які змінюють координати платформи

$$\psi_0 = [\psi_x^0 \quad \psi_y^0 \quad \psi_z^0 \quad \psi_\alpha^0 \quad \psi_\beta^0 \quad \psi_\gamma^0].$$

$X_1$  - вектор дійсних значень координат платформи відносно системи координат  $O_b X_b Y_b Z_b$

$$X_1 = X_0 + \psi_0 = [x_1 \quad y_1 \quad z_1 \quad \alpha_1 \quad \beta_1 \quad \gamma_1].$$

$\varphi_2$  - вектор похибок виміру дійсних значень координат платформи

$$\varphi_2 = [\varphi_x^2 \quad \varphi_y^2 \quad \varphi_z^2 \quad \varphi_\alpha^2 \quad \varphi_\beta^2 \quad \varphi_\gamma^2].$$

$X_3$  - вектор вимірних значень координат платформи

$$X_3 = f(X_1 + \varphi_2) = [x_3 \quad y_3 \quad z_3 \quad \alpha_3 \quad \beta_3 \quad \gamma_3].$$

$F_0$  - вектор проекцій рівнодіючої зусиль та моментів, які супроводжують рух платформи, на вісі системи координат, зв'язаної з платформою

$$F_0 = [f_{0x} \quad f_{0y} \quad f_{0z} \quad m_{0x} \quad m_{0y} \quad m_{0z}],$$

$f_{0x}, f_{0y}, f_{0z}$  - проекції рівнодіючої сил, прикладеної у точці  $O_p$  до платформи, на вісі системи  $O_p X_p Y_p Z_p$ ;

$m_{0x}, m_{0y}, m_{0z}$  - проекції результуючого моменту сил, які діють на платформу, на вісі системи  $O_p X_p Y_p Z_p$ ;

$\varphi_3$  - вектор похибок вимірювання сил та моментів;

$F_1$  - вектор результатів виміру зусиль  $F_0$

$$F_1 = F_0 + \varphi_3 = [f_{1x} \quad f_{1y} \quad f_{1z} \quad m_{1x} \quad m_{1y} \quad m_{1z}].$$

$r_2$  - вектор сигналів корекції положення платформи за зусиллями

$$r_2 = f(F_1) = [\Delta_x \quad \Delta_y \quad \Delta_z \quad \Delta_\alpha \quad \Delta_\beta \quad \Delta_\gamma].$$



Аналіз функціональних схем систем управління механізмами та врахування положень теорії автоматичного управління дозволили визначити, що незалежно від сфери застосування всі системи управління механізмами паралельної структури можуть бути класифіковані як багатовимірні системи, що стежать одне або двоконтурні з корекцією по обуренню чи ні. Як доведено в джерелах [8, 13] традиційні системи, що стежать обмежують можливості підвищення точності виконання заданої траєкторії за рахунок зменшеної кількості ступенів свободи при виборі структури регулятора, оскільки регулятор складається з одного елемента з передавальною функцією  $W$ .

### 3. Шляхи подолання обмежень існуючих систем управління механізмом паралельної структури

Для подолання існуючих недоліків систем управління механізмами паралельної кінематики і максимізації їх якості пропонується виконати кілька дій:

- змінити структурні схеми систем, що стежать на схеми, відповідно до монографіями [8, 13] як володіють потенційно високою точністю відтворення програми (рис. 11, рис. 12 або їх аналоги) за рахунок збільшення ступенів вільності у виборі регулятора;

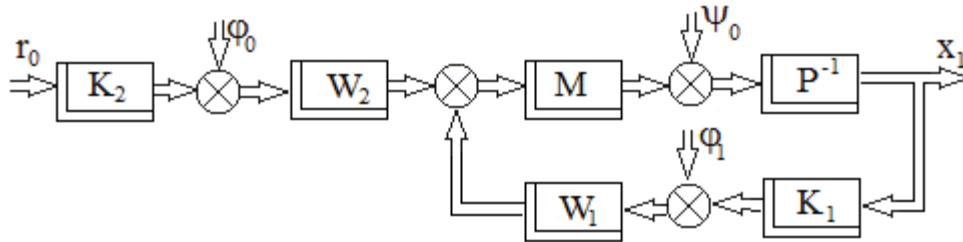


Рис. 11 Структурна схема одноконтурної слідкувальної системи

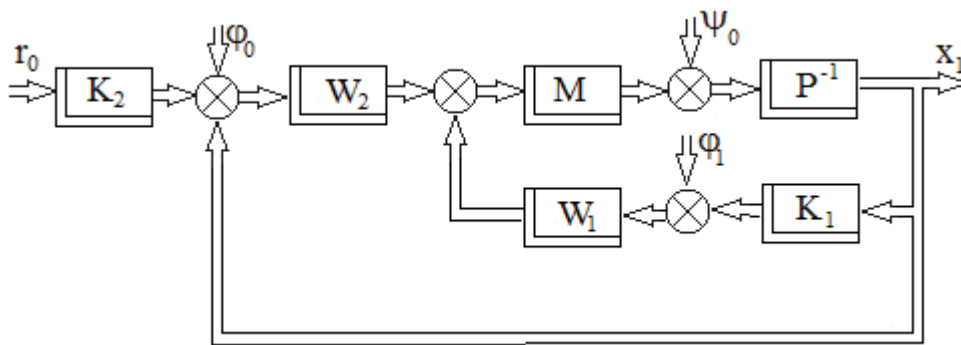


Рис. 12 Структурна схема двоконтурної слідкувальної системи

- з огляду на призначення механізму, його конструкцію і результати ідентифікації динаміки обґрунтувати відмову від подання такого механізму набором автономних одновимірних елементів і визначити моделі динаміки вектора програмних сигналів  $r_0$ ;
- на основі аналізу літературних джерел та в результаті вивчення характеристик шумів вимірювання та динаміки датчиків скласти відповідні математичні моделі;
- визначити лінеаризовану модель динаміки механізму паралельної структури та визначити її зв'язок з координатами платформи;
- на основі диференціального перетворення Пухова Г.Є. спростити алгоритми розв'язку прямої та зворотної задач кінематики;
- відмовитись від оптимізації лише параметрів набору автономних ПД регуляторів;
- визначити структуру та параметри матриць передаточних функцій регуляторів, які враховують динаміку векторів програмних сигналів, збурень та шумів, забезпечують стійкість системі керування, доставляють екстремум обраному критерію якості та володіють робастними властивостями;
- дослідити як змінюються стійкість системи та якість слідкування в результаті дії невизначеностей, щодо характеристик елементів системи керування та сигналів у контурах керування.

### Висновки

Проведений аналіз видів завдань розв'язуваних МПС типу гексапод дав можливість класифікувати його як багатоступеневу, багатокомпонентний і багатозв'язних об'єкт, що діє в режимі програмного керування. Властивості гексаподу як об'єкта керування розкривають ряд особливостей, основних з яких - параметри збурюючих впливів, прикладених до робочого органу і окремим вісям, для багатьох технологічних завдань заздалегідь не визначені; складність побудови адекватної математичної моделі гексаподу.



Проведений аналіз також дозволив запропонувати функціональні схеми керування для кожного виду завдань. Ці функціональні схеми побудовані за принципом одне, двоконтурних систем, що стежать. Виходячи з недоліків систем, що стежать, запропоновано будувати систему керування гексаподом на основі схем, які мають потенційно більшу точність відтворення програмного сигналу за рахунок збільшення числа ступенів вільності у виборі регулятора.

### Література

1. Lung-Wen Tsai. Systematic Enumeration of parallel Manipulators // Technical research report (T.R.98-33).-Institute for system research.-P.1-9 . URL: <https://drum.lib.umd.edu/handle/1903/5951> (дата звернення: 02.05.2018).
2. Merlet, J.-P., Parallel Robots, Springer, 2nd edition, 2006. 394 p.
3. Кузнецов Ю. М., Дмитрієв Д. О., Діневич Г. Ю. Компоновки верстатів з механізмами паралельної структури : монографія. Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т", Херсон. нац. техн. ун-т. К.; Херсон, 2009. 456 с.
4. Розробка фізичної моделі верстата на основі механізму паралельної структури з системою керування приводами переміщення робочого органа: Звіт по НДДКР Кіровоградський національний технічний університет. – № ДР 0109U00210, облік. № 0211U005056. – Кіровоград, 2011. 176с.
5. Hamid D. Taghirad. Parallel Robots. Mechanics and Control. CRC Press; 1 edition, by Taylor & Francis Group, 2013. 533 p.
6. Яглінський В.П., Гутиря С.С. Надійність авіаційного тренажера на основі гексапода при екстремальних навантаженнях. Вісник СевНТУ: зб.наук.пр. Вип. 120/2011. Серія Механіка, енергетика, екологія. Севастополь, 2011. С. 196-205.
7. Комплексные пилотажные тренажеры вертолетов Ми-8МТВ, Ми-171. <http://avia-ts.ua/production/8-kompleksnyu-trenazher-vertoletov-mi-8mtv-i-mi-171.html> (дата звернення: 02.05.2018).
8. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации: Монография. К.: Книжное издательство НАУ, 2006. – 437с.
9. Семенов Ю.Л. Применение машин и механизмов с внутренними входами. Теория механизмов и машин. 2003.-№1.-С.30-54.
10. Dunlop G.R. and Jones T.P. Position analysis of a two DOF parallel mechanism- the Canterbury tracker. Mechanism and Machine Theory, May 1999. №34(4). P.599–614.
11. Su X.S. and others . Singularity analysis of fine-tuning Stewart platform for large radio telescope using genetic algorithm. Mechatronics, June 2003. №13(5) P.413–425.
12. Defendini A., Vaillon L., Trouve F., Rouse Th., Sanctorum B., Griseri G. Technology predevelopment for active control of vibration & very high accuracy pointing systems. Proceedings of 4th ESA International Conference on Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems (Proceedings to appear in spring 2000). 18–21 October 1999. Noordwijk: The Netherlands. 7 p.
13. Алиев Ф.А., Ларин В.Б., Науменко К.И., Сунцев В.Н. Оптимизация линейных инвариантных во времени систем управления: Монография. Ин-т математики АН УССР.- К.: Наук. думка, 1978.- 327с.

### References

1. Lung-Wen Tsai. Systematic Enumeration of parallel Manipulators // Technical research report (T.R.98-33).-Institute for system research.-P.1-9 . URL: <https://drum.lib.umd.edu/handle/1903/5951> (data zvernennya: 02.05.2018).
2. Merlet, J.-P., Parallel Robots, Springer, 2nd edition, 2006. 394 p.
3. Kuznyetsov YU. M., Dmytriyeв D. O., Dinevyч H. YU. Komponovky verstativ z mekhanizmayu paralel'noyi struktury : monohrafiya. Nats. tekhn. un-t Ukrayiny "Kyiv. politekhn. in-t", Kherson. nats. tekhn. un-t. K.; Kherson, 2009. 456 с.
4. Rozrobka fizychnoyi modeli verstata na osnovi mekhanizmu paralel'noyi struktury z systemoyu keruvannya pryvodamy peremishchennya robochoho orhana: Zvit po NDDKR Kirovohrads'ky natsional'nyy tekhnichnyy universytet. – № DR 0109U00210, oblik. № 0211U005056. – Kirovohrad, 2011. 176s.
5. Hamid D. Taghirad. Parallel Robots. Mechanics and Control. CRC Press; 1 edition, by Taylor & Francis Group, 2013. 533 p.
6. Yahlins'ky V.P., Hutyrya S.S. Nadiynist' aviatsiynoho trenazhera na osnovi heksapoda pry ekstremal'nykh navantazhennyakh. Visnyk SevNTU: zb.nauk.pr. Vyp. 120/2011. Seriya Mekhanika, enerhetyka, ekolohiya. Sevastopol', 2011. S. 196-205.
7. Kompleksnyye pilotazhnyye trenazhery vertoletov Mi-8МТВ, Mi-171.<http://avia-ts.ua/production/8-kompleksnyu-trenazher-vertoletov-mi-8mtv-i-mi-171.html> (data zvernennya: 02.05.2018).
8. Azarskov V.N., Blokhin L.N., Zhitetskiy L.S. Metodologiya konstruirovaniya optimal'nykh sistem stokhasticheskoy stabilizatsii: Monografiya. K.: Knizhnoye izdatel'stvo NAU, 2006. – 437s.
9. Semenov YUL. Primeneniye mashin i mekhanizmov s vnutrennimi vkhodami. Teoriya mekhanizmov i mashin. 2003.-№1.-S.30-54.



10. Dunlop G.R. and Jones T.P. Position analysis of a two DOF parallel mechanism- the Canterbury tracker. Mechanism and Machine Theory, May 1999. №34(4). P.599–614.
11. Su X.S. and others . Singularity analysis of fine-tuning Stewart platform for large radio telescope using genetic algorithm. Mechatronics, June 2003. №13(5) P.413–425.
12. Defendini A., Vaillon L., Trouve F., Rouse Th., Sanctorum B., Griseri G. Technology predevelopment for active control of vibration & very high accuracy pointing systems. Proceedings of 4th ESA International Conference on Spacecraft Guidance, Navigation and Control Systems (Proceedings to appear in spring 2000). 18–21 October 1999. Noordwijk: The Netherlands. 7 p.
13. Aliyev F.A., Larin V.B., Naumenko K.I., Suntsev V.N. Optimizatsiya lineynykh invariantnykh vo vremeni sistem upravleniya: Monografiya. In-t matematiki AN USSR.- K.: Nauk. dumka, 1978.- 327s.

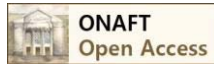
УДК 519.85:004.42

## АРХІТЕКТУРА КЛІЄНТ-СЕРВЕР НА ОСНОВІ ДОДАТКА ВІДДІЛУ АСПІРАНТУРИ ТА ДОКТОРАНТУРИ ОНАХТ

Д.О. Скалій<sup>1</sup>, М.В. Джиджула<sup>2</sup>, Ю.К. Корнієнко<sup>3</sup>, О.С.Бойцова<sup>4</sup>, О.О.Лівенцова<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Одеська національна академія харчових технологій, Одеса, Україна  
ORCID: <sup>3</sup>0000-0003-3630-8384, <sup>4</sup>0000-0001-9994-587X, <sup>5</sup>0000-0001-7409-874X  
Scopus ID: <sup>3</sup>256578764800, <sup>5</sup>6507262177  
E-mail: <sup>1</sup>skaliy.d@gmail.com, <sup>3</sup>yurikkorn@gmail.com, <sup>4</sup>ola\_odessa@ukr.net

Copyright © 2018 by author and the journal “Automation technologies and business - processes.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v10i2.974

*Веб-технології постійно розвиваються, відкриваються нові можливості створення сценарію іншими підходами. Веб-додаток можна розробляти як самостійно – full stack, або по частинах – front end (клієнтська частина) та back end (серверна частина) [1]. Клієнтська частина надає користувачеві візуальної інформації, а серверна частина обробляє, зберігає, захищає дані. Сьогодні для створення веб-серверу для веб-додатка є підхід до архітектури мережевих протоколів під назвою REST.*

*Веб-додаток, побудований з урахуванням REST, приймає термін RESTful. В такому веб-додатку проєктують спосіб з'єднання клієнтської та серверної частин за допомогою прикладного програмного інтерфейсу (API). Дані з серверної частини формуються посиланням необхідного HTTP-запиту і передаються у вигляді об'єкта, який клієнтська частина приймає та відображає у браузері користувача.*

*Веб-додаток Відділу аспірантури та докторантури ОНАХТ, розроблений для автоматизації процесів роботи, був заснований на архітектурі клієнт-сервер, де серверна частина розроблена саме як RESTful API, а для зниження навантаження на з'єднання з сервером та покращення роботи з користувачем клієнтська частина розроблена як односторінковий додаток (SPA).*

**Ключові слова:** веб, веб-додаток, REST, API, сервер, архітектура клієнт-сервер, односторінковий додаток, клієнтська частина, серверна частина

*Web technologies are constantly evolving, opening up new possibilities of creating a scenario by other approaches. The web application can be developed either on its own - full stack, or in parts - front end (client part) and back end (server part) [1]. The client part provides the user with visual information, and the server part processes, stores, protects the data. Today, in order to create a Web server for a Web application, there is an approach to the network protocols architecture called REST.*