

**ABSCHNITT 14.**

DIE EINRICHTUNGEN DER AUTOMATISIERUNGS- UND FERTIGUNGS

**DOI 10.36074/logos-13.12.2024.042**

## **РОЗРОБКА КОМПЕНСАТОРІВ ДЛЯ БАГАТОЗВ'ЯЗНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ АВТОНОМНОГО МОБІЛЬНОГО РОБОТА**

**Кошовий Микола Дмитрович<sup>1</sup>, Ащепкова Наталія Сергіївна<sup>2</sup>**

---

**1.** д-р. техн. наук, професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості

*Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут»  
ім. М.Є. Жуковського, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0000-0001-9465-4467**

**2.** канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри механотроніки

*Дніпровський національний університет ім. О. Гончара, УКРАЇНА*

**ORCID ID: 0000-0002-1870-1062**

---

Поширення застосування автономних мобільних роботів (АМР) в екстремальних умовах обумовлює нові вимоги до їхньої конструкції, динаміки та систем керування. Для швидкого реагування та адаптації до поточних умов у робочій зоні доцільно передбачити можливість складання конструкції АМР за агрегатно-модульним методом. При цьому кожна платформа матиме декілька варіантів шасі та навісного обладнання (маніпулятор, щуп, бур, ківш і т.п.).

Система керування розглянутих АМР є багатовимірною і передбачає у загальному випадку три шини керування для платформи, шасі та навісного обладнання. По кожній шині командні впливи по каналах зв'язку передаються на виконавчі пристрої (колеса, стабілізатори, приводи кінематичних пар маніпулятора). Взаємозв'язок каналів керування виникає за рахунок динамічних особливостей об'єкту [1] і визначається варіантом конструкції АМР. Для подолання взаємозв'язку у кожний канал керування потрібно додати послідовний компенсатор.

Якщо номенклатура шасі та навісного обладнання відома, то на етапі проектування можна заздалегідь розрахувати потрібні передаточні функції послідовних компенсаторів для кожного каналу системи керування.

Таким чином, розробка методу розрахунку послідовних компенсаторів для системи керування АМР є актуальною науково-технічною задачею.

Об'єктом дослідження є система керування автономного мобільного робота оснащеного антропоморфним маніпулятором з чотирма ступенями рухливості [2]. Схема конструкції АМР з маніпулятором наведена на рис. 1.

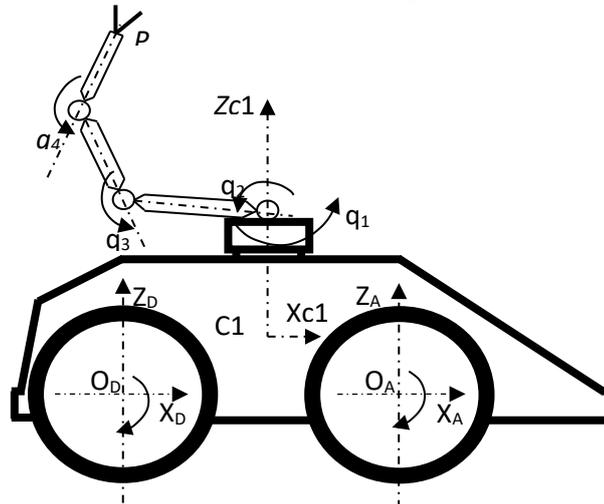


Рис. 1. Схема конструкції автономного мобільного робота з маніпулятором

Конструкція складається з повнопривідної чотирьохколісної платформи АМР, та антропоморфного маніпулятора складеного з кільця, що обертається навколо вертикальної вісі, та стрижневих ланок – руки, з'єднаних ротаційними кінематичними парами п'ятого класу.

Для аналізу динамічних особливостей системи представимо об'єкт керування як механічну систему «носій - перенесено тіло» [3]. Ланки маніпулятора – перенесені тіла, платформа – несуче тіло.

Результати досліджень наведені в [2] доводять, що значення відцентрових моментів інерції системи при відносному русі маніпулятора сумірні значенням осьових моментів інерції системи, навіть якщо маса рухомих елементів конструкції менша, ніж 10% маси платформи.

Результати математичного моделювання та аналізу динаміки АМР змінюваної конфігурації наведені в [2, 4] демонструють взаємозв'язок каналів керування обумовлений недиагональністю і нестационарністю тензору інерції.

Динаміку та керуваність чотирьохколісного повнопривідного автономного мобільного робота детально досліджено у [5]. Методи аналізу й синтезу багатозв'язних систем керування наведено у [6, 7]. Для робіт в екстремальних апріорно невизначених умовах доцільно застосовувати узгоджені дії групи АМР [8, 9]. Недоліки існуючих методів керування групою АМР обумовлені неузгодженістю алгоритмів керування з динамічними особливостями окремих роботів [10].

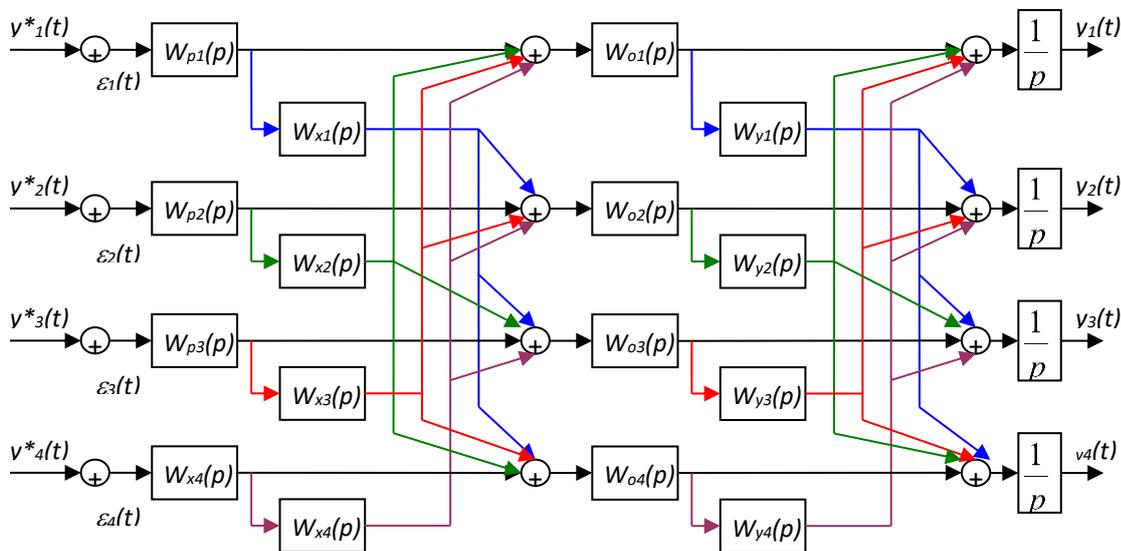
Для подолання взаємозв'язку у кожний канал керування потрібно додати послідовний компенсатор. Якщо номенклатура шасі та навісного обладнання

**ABSCHNITT 14.**

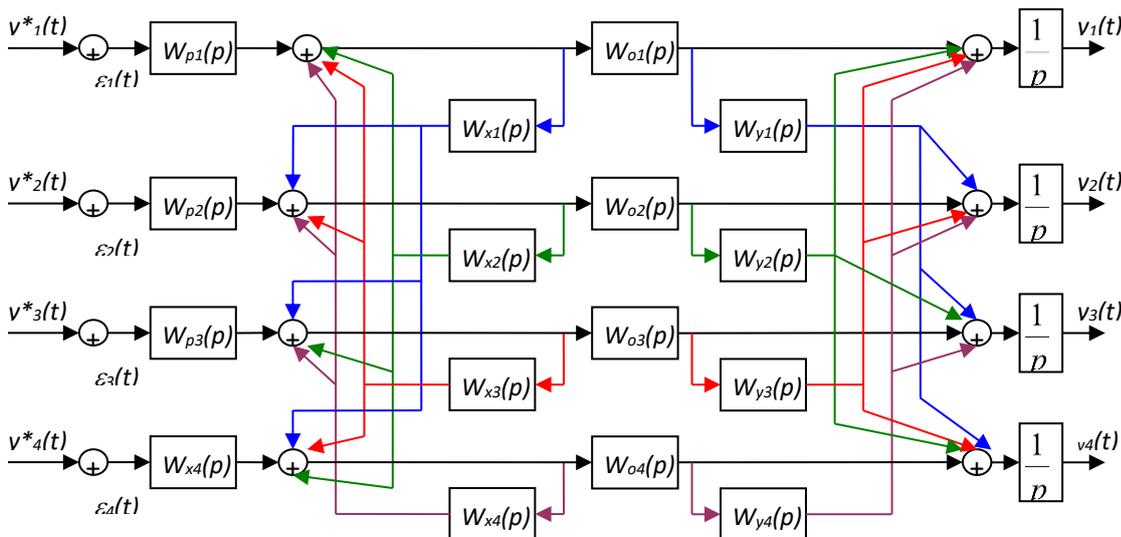
**DIE EINRICHTUNGEN DER AUTOMATISIERUNGS- UND FERTIGUNGS**

відома, то на етапі проектування можна заздалегідь розрахувати передаточні функції послідовних компенсаторів для кожного каналу системи керування.

Для розглянутого прикладу конструкції автономного мобільного робота з маніпулятором визначено передаточні матриці компенсаторів із прямими та оберненими перехресними зв'язками. Отримані структурні схеми багатозв'язних систем керування з компенсаторами (рис.2, 3) дозволяють провести дослідження стійкості та здійснити синтез адаптивних алгоритмів керування.



**Рис. 2. Структурна схема багатозв'язної системи керування із прямими перехресними зв'язками в компенсаторі**



**Рис. 3. Структурна схема багатозв'язної системи керування із зворотними перехресними зв'язками в компенсаторі**

Запропоновано метод визначення передавальних функцій компенсаторів для забезпечення автономності каналів керування.

Система керування групи АМР генерує команди на стратегічному, тактичному та оперативному рівні. За рахунок взаємозв'язку каналів керування в об'єкті виникає похибка. Нехтування перехресним зв'язком каналів керування призводить не лише до руйнування окремого мобільного робота, але й обумовлює невиконання місії групою.

#### Висновки

Запропоновано метод синтезу компенсаторів для систем керування з прямим та зворотним перехресним зв'язком.

Результати досліджень можна застосовувати при розробці алгоритмів групового керування АМР.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ:

- [1] Ashhepkova, N.S. (2022). Construction of a mathematical model of the dynamics of an autonomous mobile robot of variable configuration. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, – Kharkiv. – December, 2022. –Vol. 6 №7 (120). – P. 30 – 44. doi.org/10.15587/1729-4061.2022.269840
- [2] Ashhepkova, N.S. (2022). Analysis of inertia tensor of autonomous mobile robot. Technology Audit and Production Reserves. – Kharkiv. – February, 2022. – Vol.63. № 1-2. – P. 24 – 34. doi: 10.30890/2567-5273/2021-15-02-066
- [3] Березін Л.М. Теоретична механіка. Навч. посібник / Л.М. Березін, С.О. Кошель. – Київ: Центр навчальної літератури, 2019. – 218 с.
- [4] Zbrutsky, A., Koshevoy, N. and Ashhepkova, N. Analysis of the Dynamics and Controllability of Autonomous Mobile Robot with a Manipulator/ In book "Recent Developments in Automatic Control System". – River Publishers, 2022 – P. 121 – 144.
- [5] Kurfess, T.R. (2018). Robotics and Automation Handbook; CRC Press: Boca Raton, FL, USA; ISBN 978-1-4200-3973-3.
- [6] *Developments in Automatic Control Systems, River Publishers Series in Automation, Control and Robotics, River Publishers, Gistrup, Denmark, 2022, 452 p.*
- [7] Попович М.Г. Теорія автоматичного керування /М.Г. Попович, О.В. Ковальчук// –К.: Либідь, 2007. – 656 с.
- [8] Rubtsov, V.I., Mashkov, K.J. and Konovalov, K.V. (2021) Multi-level Control System for Intelligent Robot That is Part of a Group. Mekhanotronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie. Vol.22 (1), P.610-615. doi: 10.17587/mau.22.610-615.
- [9] Kurochkin, S.Yu. and Tachkov, A.A. (2021) Methods of Formation Control for a Group of Mobile Robots (a Review). Mekhanotronika, Avtomati-zatsiya, Upravlenie. Vol.22 (6), P.304-315. doi: 10.17587/mau.22.304-315.
- [10] Kenzin, M., Bychkov, I. and Maksimkin, N. (2020) Coordinated Recharging of Heterogeneous Mobile Robot Team during Continuous large Scale Missions. International Conference on Control, Decision and Inforvation Technologies (CoDIT), 2020, P.745-750, doi: 10.1109/ CoDIT49905.2020.9263974.