



УДК 65.012.7, 519.6.035.7, 519.687.7, 62-523.8

**VISUALIZING THE CONTROL ALGORITHM FOR FOUR MECANUM WHEELS****ВІЗУАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ЧОТИРМА МЕКАНУМ КОЛЕСАМИ****Kotvytskiy A.T. / Котвицький А.Т.***cand. of ph.-math. sc., assoc. prof. / к.ф.-м.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8283-505X

**Horenko D.V. / Горенко Д.В.***Automation and computer-integrated technologies /**Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології*

ORCID: 0009-0004-6910-4622

*V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Svobody Sq., 4, 61022**Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, м. Свободи, 4, 61022*

**Анотація.** У цій роботі досліджується інноваційна рухома платформа прямокутної конструкції, яка обладнана чотирма меканум-колесами, які забезпечують їй можливість рухатися в довільно заданому напрямку. Цей тип коліс особливо корисний у робототехніці та застосовується для забезпечення маневреності та точного керування.

Метою дослідження було побудова математичної моделі даної платформи, що дозволяє визначити швидкості обертання кожного колеса залежно від заданого напрямку руху платформи та модуля швидкості її руху. Це дозволяє ефективно керувати рухомою платформою і досягати необхідної точності в її переміщенні.

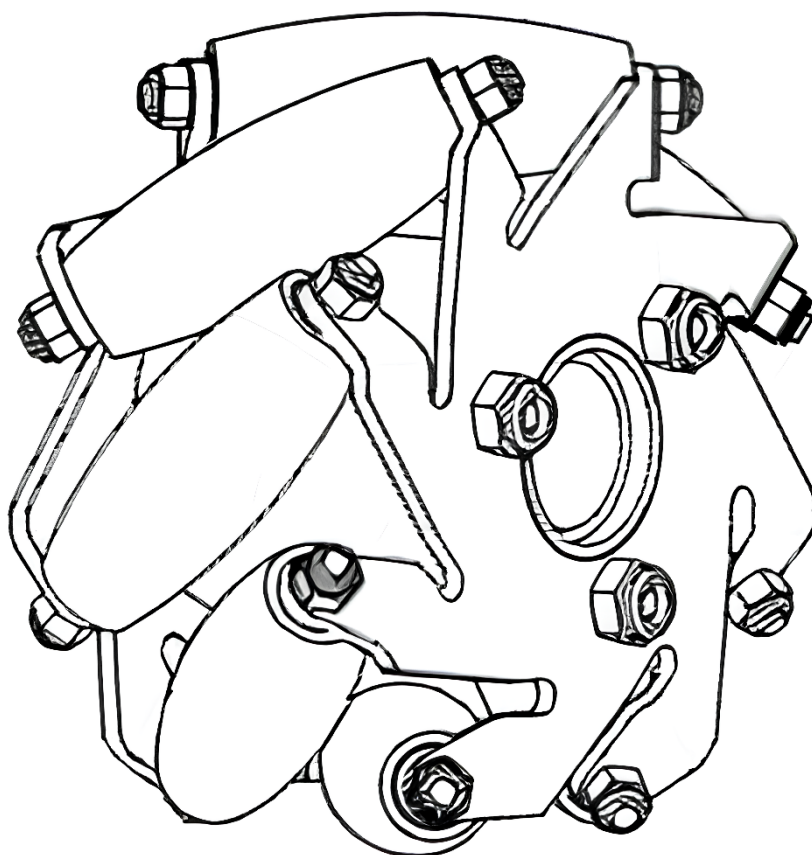
На основі розробленої математичної моделі було створено інтерактивну програмну модель. Ця модель є інструментом візуалізації алгоритму управління даною платформою. Вона дозволяє користувачам наочно побачити, як зміна параметрів руху впливає на роботу механізму і які швидкості обертання коліс необхідні досягнення певного напрямку руху.

**Ключові слова:** рухома платформа, меканум-колесо, візуалізація алгоритму керування, Wolfram Mathematica.

**Вступ.** Використання мобільних рухомих платформ все більше входить у різні аспекти людської діяльності. Одним із завдань, що ставиться перед розробниками таких платформ, є підвищення маневреності. Це завдання можна вирішити різними способами, наприклад, установкою багатьох провідних поворотних коліс [1, 2], проте така конструкція дуже ускладнює технічне обслуговування та значно збільшує ціну на готовий виріб. У нашій роботі ми розглядатимемо платформу яка має чотири меканум-колеса.

Меканум-колесо винайшов шведський інженер компанії «Mecanum AB» Бенг Ілон у 1973 році, і вже у 1975 році він отримав патент у США на свій винахід. Ці колеса, які можна також зустріти під назвами "колесо Ілона" або "меканум-колесо", були створені для того, щоб транспортні засоби могли легко рухатись у різні боки або обертатись на місці з мінімальною силою тертя. Це вдалося завдяки особливій конструкції колеса, яка дозволяла маневрувати з незвичайною легкістю та ефективністю.

Меканум-колесо складається з основного колеса (див. рисунок 1), по зовнішньому колу якого рівномірно розташовані незалежні один від одного роликів під кутом  $45^\circ$  до осі основного колеса. Така конструкція надає колесу три ступені вільності: обертання навколо основної осі, обертання роликів та обертання навколо точки контакту ролика з поверхнею.



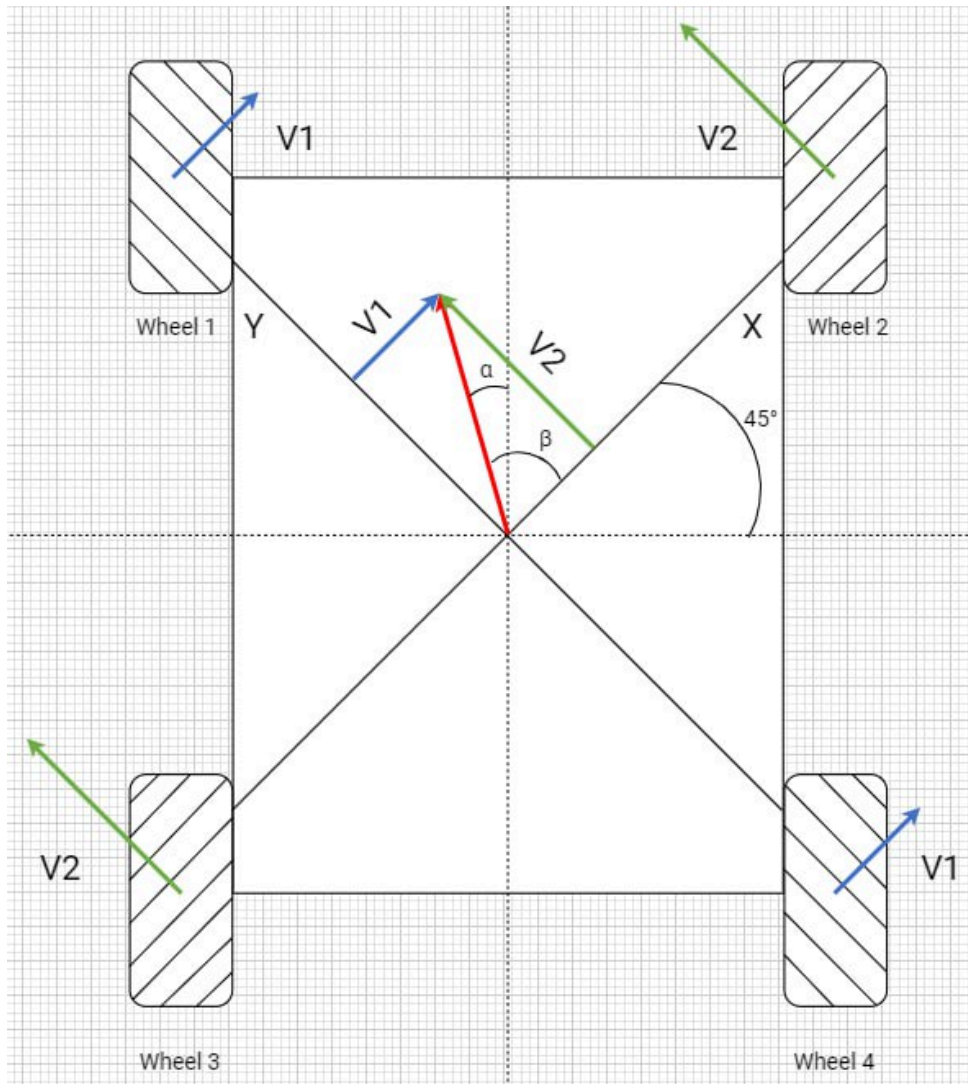
**Рисунок 1 – Конструкція меканум-колеса**

Керуючи швидкістю та напрямом обертання кожного з коліс, транспортний засіб, оснащений меканум-колесами, може рухатися під будь-яким кутом — не лише вперед-назад, праворуч-ліворуч але і діагонально та навколо своєї осі. Таким чином, в цьому випадку, платформа без повороту може зразу рухатись в заданому довільному напрямку, це є дуже важливою перевагою в умовах обмеженого простору. Меканум-колеса стали широко використовуватися з початком росту та розвитку роботів. Однак опис платформ на цих колесах або занадто математичний [3, 4] і підходить для професіоналів математиків, або занадто простий [5, 6], який більше підходить для школярів середніх класів. Представлена робота покликана прокласти місток між цими двома підходами. І зробити керування платформою на меканум колесах зрозумілим для студентів технічних спеціальностей.

#### **Математична модель.**

Розглянемо рухома платформу яка складається з чотирьох меканум коліс, схема розташування яких показана на рисунку 2.

Будемо вважати, що перше та друге меканум колеси є передні, а третє та четверте задні колеса. Також зауважимо, що перше та третє колеса розташовані однаково, якщо враховувати розташування роликів. На рисунку вони схематично позначені невеликими відрізками під кутом 45 градусів до осі обертання колеса. Таке розташування коліс призведе до того, що при їх обертанні напрямку руху платформи буде складатися з двох векторів  $\vec{v}_1$  і  $\vec{v}_2$ , де перша швидкість (сині стрілки) це швидкість яку отримує платформа при обертанні першого і четвертого коліс, а друга швидкість (зелені стрілки) - від другого і третього коліс.



**Рисунок 2 – Модель платформи на меканум колесах**

Таким чином платформа, як ціле, буде рухатися зі швидкістю

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2, \tag{1}$$

яка зображена на рисунку 2 червоною стрілкою.

Для зручності виберемо осі координат під кутом 45 градусів (див. рисунок 2), тоді швидкості  $\vec{v}_1$  і  $\vec{v}_2$  будуть також відповідними компонентами для повної швидкості  $\vec{v}$ . Будемо вказувати напрямок руху платформи за допомогою кута  $\alpha$ , який вимірюватимемо від вертикалі вліво для позитивних значень цього кута і негативних для відхилення вправо. Тоді при русі платформи прямо вперед, цей кут дорівнює нулю, якщо платформа рухається одночасно вперед і вліво, то кут позитивний і відповідно, якщо вперед і праворуч, то негативний. Під час руху суворо назад, кут дорівнює як +180 градусів, так і -180 градусів.

За умовами завдання вважається, що кут  $\alpha$  і модуль швидкості  $|\vec{v}|$  нам задається. Завдання ставиться таким чином, що потрібно розрахувати відповідні швидкості  $\vec{v}_1$  та  $\vec{v}_2$ . З рисунку 2 знаходимо

$$\begin{aligned} v_1 &= v \cdot \cos\beta \\ v_2 &= v \cdot \sin\beta' \end{aligned} \tag{2}$$



де  $\beta = \alpha + 45^\circ$ .

Будемо вважати, що зв'язок між кутовою швидкістю  $\omega_i$  обертання колеса та швидкістю  $v_i$ , яка передається платформі має вигляд

$$v_i = \zeta \omega_i R, \quad (3)$$

де  $i = \{1,2\}$ , а  $\zeta$  - безрозмірний коефіцієнт, який знаходиться експериментально і залежить від багатьох чинників.

### Програмна модель.

Побудована математична модель дозволила нам розробити інтерактивну програмну модель в середовищі Wolfram Mathematica [7, 8], в якій за допомогою спеціальних засобів можна змінювати в заданих межах параметри  $\alpha$  і швидкість  $|\vec{v}|$  та бачити, як при цьому повинні змінюватися швидкості  $\vec{v}_1$  та  $\vec{v}_2$  (див. рисунок 3).

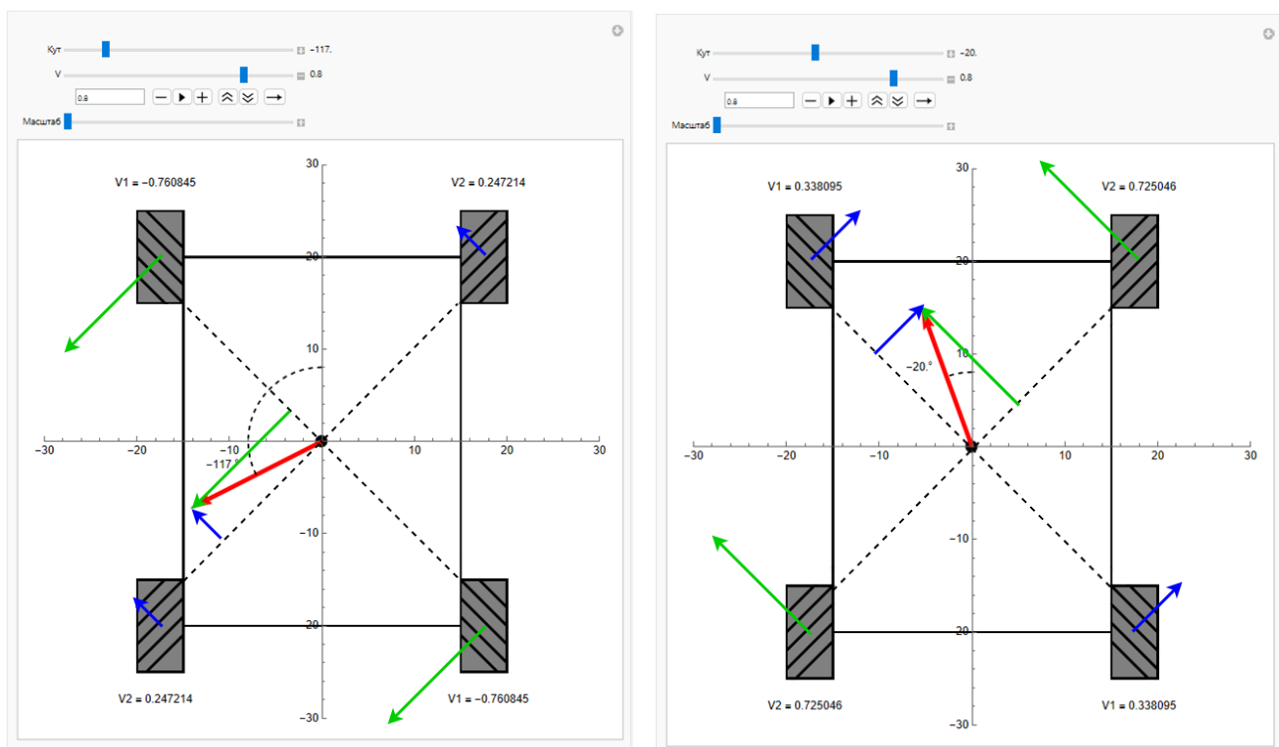


Рисунок 3 – Інтерактивна програмна модель платформи

### Висновки.

В роботі була розглянута рухома платформа на чотирьох механум-колесах, завдяки яким платформа може рухатися з довільної точки в будь-якому заданому напрямку. Було побудовано математичну модель цієї платформи на базі якої було створено інтерактивну програмну модель на мові Wolfram Language для візуалізації алгоритму управління швидкостями механум коліс. Створену модель рекомендується використовувати студентам при вивченні курсу «Робототехнічні системи».

### Література:

1. Penglei Dai, Javad Taghia, Stanley Lam, Jay Katupitiya Integration of sliding mode based steering control and PSO based drive force control for a 4WS4WD vehicle



// Auton Robot. – 2018. – V.42. – P.553–568. DOI: 10.1007/s10514-017-9649-6

2. Kotvytskiy A.T., Jasinski Ja. A. Программная модель подвижной платформы с четырьмя ведущими поворотными колесами // Scientific Trends And Trends In The Context Of Globalization, Umeå, Sweden (2021) №93, p.537-552 DOI 10.51582/interconf.21-22.12.2021.057

3. Hendzel Z., Rykała Ł. Modelling of dynamics of a wheeled mobile robot with mecanum wheels with the use of Lagrange equations of the second kind // Int. J. of Applied Mechanics and Engineering. – 2017. - V.22, №1. - P.81-99.

4. Zeidis I., Zimmermann K. Dynamics of a four-wheeled mobile robot with Mecanum wheels // Journal of Applied Mathematics and Mechanics. – 2019. V.99, №12. – e201900173

5. Mecanum wheel [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum\\_wheel](https://en.wikipedia.org/wiki/Mecanum_wheel) (дата звернення – 09.12.2023).

6. The Brilliant Engineering of Mecanum Wheels! [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: <https://www.youtube.com/watch?v=noqBUEgyQ8A> (дата звернення – 05.11.2023).

7. Wolfram: computation meets knowledge. Wolfram: Computation Meets Knowledge [Электронный ресурс]. – режим доступа: URL: <https://www.wolfram.com> (дата звернення – 09.05.2023).

8. Wolfram S. Elementary introduction to the wolfram language. Wolfram Media, Incorporated, 2016. 328 p.

**Abstract.** *This paper explores an innovative rectangular moving platform equipped with four mecanum wheels, enabling it to move in any specified direction. Mecanum wheels are particularly valuable in robotics for their maneuverability and precise control.*

*The aim of this study was to construct a mathematical model for this platform, facilitating the determination of each wheel's rotation speed based on the desired direction and the platform's movement speed modulus. This enables effective control of the platform and ensures the required movement accuracy.*

*An interactive software model was developed using the established mathematical model. This tool visualizes the platform's control algorithm, allowing users to observe how adjustments to movement parameters influence the mechanism's operation and the necessary wheel rotation speeds to achieve a desired direction of movement.*

**Key words:** *Moving Platform, Mecanum Wheel, Control Algorithm Visualization, Wolfram Mathematica.*

Статтю надіслано: 19.03.2024 р.

© Котвицький А.Т.