



УДК 621.86

**RESEARCH OF ALGORITHMS AND EQUIPMENT FOR MOVEMENT OF
MOBILE ROBOTS USING COMPUTER SIMULATION****ДОСЛІДЖЕННЯ АЛГОРИТМІВ ТА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕМІЩЕННЯ
МОБІЛЬНИХ РОБОТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ****Mikhailov E.P. / Михайлов Є.П.,***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0009-0008-8946-7999

Lingur V.M. / Лінгур В.М.,*c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-7240-2848

Antikhovich D.S. / Антихович Д. С.,*student / студент***Vasylenko O.P. / Василенко О.П.,***student / студент**Odesa Polytechnic National University, Odesa, Shevchenka avenue, 1, 65044**Національний університет «Одеська політехніка», проспект Шевченка, 1, 65044*

Анотація. Проведений аналіз існуючих засобів переміщення мобільних роботів, які можна використовувати для розробки алгоритмів керування переміщенням робота. Розглянуті можливості комп'ютерного моделювання з метою дослідження алгоритмів та обладнання засобів переміщення як самого робота, так і його окремих ланок. Розроблені алгоритми та засоби переміщення мобільних роботів з використанням різних виконавчих пристроїв та урахуванням траєкторії руху. Розглянуті можливості використання отриманих результатів для дистанційного проведення лабораторним та практичних занять. Результати роботи використовувались для створення комп'ютерних моделей мобільних роботів при проведенні лабораторних та практичних занять.

Ключові слова: мобільний робот, транспортний засіб, алгоритми переміщення, засоби переміщення, система керування, виконавчі пристрої.

Вступ

В наш час все частіше застосовується дистанційне навчання, тому дуже важливо здійснити розробку засобів для проведення практичних і лабораторних занять в умовах, коли неможливе використання відповідного обладнання або лабораторних стендів. Так для проведення практичних та лабораторних занять з використанням робототехнічних пристроїв потребується відповідне устаткування та програмне забезпечення, що робить проведення таких занять у дистанційному режимі вкрай проблематичним. Одним із можливих рішень цієї задачі є використання засобів для комп'ютерного моделювання для дослідження робототехнічних пристроїв у віртуальному середовищі. Такі засоби дають можливість здійснити реалістичну симуляцію поведінки роботів і дозволяють студентам проводити дослідження безпосередньо у домашніх умовах. Для проведення дистанційного навчання, треба заздалегідь створювати відповідні завдання, які студенти можуть виконувати дистанційно за допомогою своїх комп'ютерів. Особливу увагу треба надавати безкоштовним засобам проектування та моделювання робототехнічних пристроїв, що значно спрощує їх використання для досить великої кількості віддалених споживачів,



У роботі розглянуті можливості використання симуляторів UnoArduSim та CorreliaSim для проведення практичних та лабораторних занять, під час виконання яких здійснюється дослідження засобів переміщення колісних мобільних роботів.

1. Аналіз існуючих засобів переміщення мобільних роботів

Важливим елементом автономних мобільних роботів (AMR) та автоматизованих транспортних засобів (AGV) є пристрої, за допомогою яких здійснюється переміщення мобільних роботів у визначену позицію згідно з відповідною траєкторією.

Виходячи з механізму переміщення мобільні роботи можуть бути з довільною або примусовою траєкторією переміщенням. У мобільних роботів з довільною траєкторією переміщення пересування робота обмежується лише природними перешкодами.

Мобільні роботи з примусовою траєкторією переміщення здійснюють пересування по спеціальним направляючим (наприклад, по рейкам або спеціальним засобам переміщення). Такі роботи забезпечують більш високу точність позиціонування за рахунок механічного обмеження траєкторії та потребують відносно прості пристрої позиціонування, тому частіше використовуються на виробництві з невеликим шляхом переміщення [1].

Мобільні роботи можна поділити на виробничі, транспортні та спеціальні. Вони можуть бути повністю автономними, або працювати разом з оператором в інтерактивному режимі.

Мобільні роботи можуть мати різні засоби пересування, такі як колісні, гусеничні та крокуючі. Існують також мобільні роботи, що повзують, плавають (плаваючі та підводні дрони) і літають (безпілотні літальні апарати БПЛА).

У даній роботі обмежимося колісними мобільними роботами.

Колісні мобільні роботи поділяють на голономні та неголономні.

У мобільних колісних роботах застосовують різні поєднання ведучих, рульових, опорних та ведучих рульових коліс, що дає можливість створити як голономні, так і неголономні мобільні роботи. Неголономні мобільні роботи для зміни напрямку руху потребують здійснити поворот, а голономні - можуть переміщуватися у будь якому напрямку без розвороту.

2. Аналіз алгоритмів переміщення мобільного робота

Розглянемо, як здійснюється переміщення мобільного робота на прикладі мобільного робота з диференціальним приводом, який має два мотора, по одному на кожне колесо. Зміна напрямку руху здійснюється за рахунок різних швидкостей коліс. Крім того на траєкторію переміщення впливає відстань між колесами W .

Для прямолінійного руху колеса повинні обертатися з однаковими швидкостями.

Для того, щоб робот розвернувся на місці, необхідно встановити швидкості однаковими по модулю, але спрямованими протилежно.

Інші комбінації швидкостей призводять до руху за дугою кола.

Схема для розрахунку параметрів переміщення транспортних засобів з диференціальним приводом для повороту наліво наведені на (Рисунку 1).

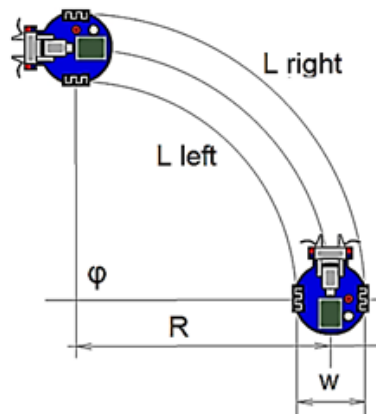


Рисунок - 1 Рух за дугою кола

Для розрахунку використовуються такі позначення, $L\ left$ – шлях переміщення лівого колеса, $L\ right$ – шлях переміщення правого колеса, R – радіус кола повороту, w – відстань між колесами, φ – кут повороту. Визначення шляху переміщення найчастіше здійснюється за допомогою засобів одометрії, які здійснюють вимірювання переміщення за допомогою даних, отриманих із сенсорів руху, наприклад, у вигляді послідовності імпульсів на виході фотоімпульсних сенсорів [3].

На (Рисунку 1) видно, що шлях переміщення лівого $L\ left$ та правого $L\ right$ коліс, а також кут φ і радіус повороту мають таку залежність:

$$L\ left = (R - w/2) * \varphi,$$

$$L\ right = (R + w/2) * \varphi.$$

Звідси маємо таке рівняння:

$$\varphi = L\ left / (R - w/2) = L\ right / (R + w/2).$$

Після нескладних перетворень отримаємо таку залежність для визначення радіусу повороту R від шляху переміщення коліс $L\ right$ та $L\ left$:

$$\begin{aligned} R &= w (L\ left + L\ right) / 2 (L\ right - L\ left) = \\ &= w (1 + L\ right / L\ left) / 2 (L\ right / L\ left - 1). \end{aligned} \quad (1)$$

Оскільки швидкість і шлях переміщення пов'язані такою залежністю:

$$V = L / t,$$

то отримаємо залежність для визначення радіусу повороту R від швидкості переміщення або обертання коліс $V\ right$ та $V\ left$:

$$\begin{aligned} R &= w (V\ left + V\ right) / 2 (V\ right - V\ left) = \\ &= w (1 + V\ right / V\ left) / 2 (V\ right / V\ left - 1). \end{aligned} \quad (2)$$

Для переміщення по колу з радіусом R треба встановити таке відношення між швидкостями переміщення або обертання коліс:

$$V\ right / V\ left = (R + w/2) / (R - w/2). \quad (3)$$

Аналогічні залежності можна знайти для інших схем переміщення.

Далі розглянемо, як використовувати отримані залежності при комп'ютерному моделюванні для встановлення траєкторії переміщення мобільних роботів.

3. Дослідження засобів комп'ютерного моделювання мобільних роботів

Засоби комп'ютерного моделювання мобільних роботів детально



розглянуті у матеріалах [4, 5], де було показано, що детальне дослідження мобільних роботів на основі комп'ютерного моделювання можна здійснити за допомогою таких симуляторів, як UnoArduSim та CoppeliaSim (V-REP). Різниця між ними полягає в тому, що симулятор UnoArduSim дає можливість створювати моделі для реального апаратно-програмного комплексу Arduino, який знайшов широке використання у різних робототехнічних пристроях, а симулятор CoppeliaSim має велику кількість готових моделей реальних стаціонарних та мобільних роботів та додаткових пристроїв, а також дозволяє створювати свої діючі моделі досить складних робототехнічних комплексів та їх елементів. Але цей симулятор має обмежені можливості для використання засобів програмування систем керування, що використовуються безпосередньо для керування роботами.

Розглянемо особливості вказаних засобів комп'ютерного моделювання.

Програмний засіб UnoArduSim є безкоштовним симулятором контролера Arduino, який дає можливість здійснити виконання програми в реальному часі без наявності самої плати Arduino [6, 7, 8]. При цьому є можливість перегляду ходу виконання програми. UnoArduSim призначений для створення та налагодження програм для контролера Arduino і містить набір віртуальних пристроїв вводу та виводу ('I/O' Devices), які можна налаштовувати і підключати до віртуального контролера Arduino. На (Рисунку 2) наведені позначення пристроїв введення цифрових (а) та аналогових (б) даних, а також виконавчих пристроїв, а саме двигун постійного струму (в), серводвигун (г) та кроковий двигун (д).

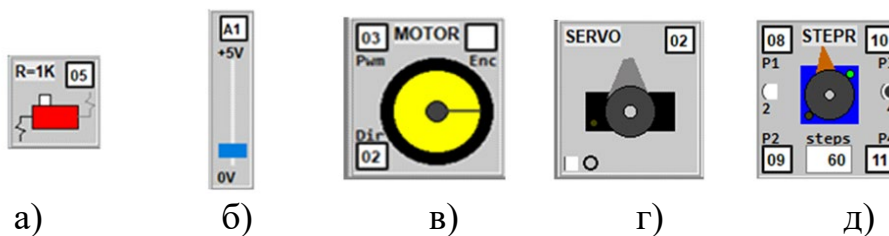


Рисунок - 2 Пристрої введення даних та виконавчі пристрої

Платформа CoppeliaSim використовується для швидкої розробки алгоритмів, моделювання автоматизації виробництва, швидкого створення прототипів і перевірки, навчання, пов'язаного з робототехнікою і багато іншого [9, 10]. Інтерфейс платформи CoppeliaSim (V-REP) має досить великий набір інструментів за допомогою яких можна здійснювати моделювання робототехнічного обладнання, крім того є бібліотека з різними моделями стаціонарних та мобільних роботів. На (Рисунку 3) наведений інтерфейс платформи CoppeliaSim (V-REP) з бібліотекою мобільних роботів у режимі симуляції.

Платформа CoppeliaSim (V-REP) має різні моделі роботів та окремих компонентів з ручним керуванням, наприклад, дві моделі мобільного робота KUKA YouBot, які наведена на (Рисунку 5). Для одної моделі у режимі симуляції здійснюється автоматично переміщення робота по траєкторії, яку можна встановлювати шляхом корегування програми, що буде розглянуто далі.



Для другої моделі у режимі симуляції запускається ручне керування переміщенням робота та усіх ланок маніпулятора.

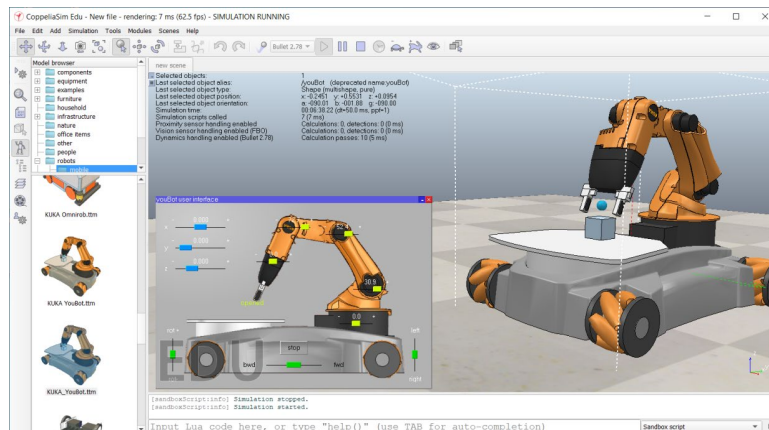


Рисунок - 3 Інтерфейс програми CoppeliaSim (V-REP) у режимі симуляції

4. Розробка моделей пересування мобільного робота

Розглянемо моделі пересування мобільного робота за допомогою симулятора UnoArduSim з використанням різних виконавчих пристроїв.

Модель засобу переміщення на основі двигунів постійного струму наведена на (Рисунку 4).

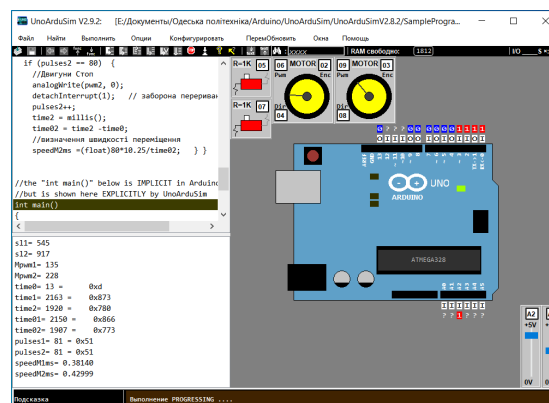


Рисунок - 4 Модель засобу переміщення на основі двигунів постійного струму

Джерело: [5]

Вказана модель має два двигуна постійного струму, за допомогою яких створений диференційний привод. Приводи коліс мають входи керування швидкістю обертання за допомогою напруги з широтно-імпульсною модуляцією (Pwm) та зміни напрямку обертання (Dir), а також вихід (Enc), на який поступають сигнали з імпульсного датчика переміщення, що видає 8 імпульсів на одне обертання (або 16 змін стану). За допомогою енкадера можна здійснити визначення шляху або швидкості переміщення.

Цю модель можна використовувати для дослідження швидкості обертання двигунів від параметру сигналу з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ), який має діапазон від 0 до 255, за допомогою симулятора Q2WDBotSim, що входить у склад симулятора UnoArduSim. Результат наведений на (Рисунку 5).

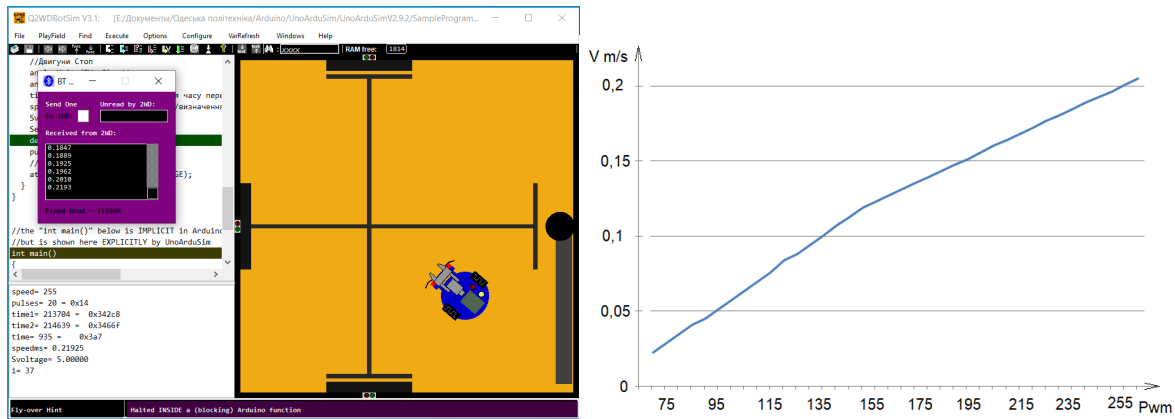


Рисунок - 5 Визначення залежності швидкості переміщення від сигналу ШІМ

Для дослідження переміщення мобільних роботів можна використати моделі мобільних роботів KUKA YouBot з чотирма всіспрямованими ведучими колесами.

У скетчі для останній версії CoppeliaSim, можна визначити такі переміщення, які встановлені функцією setMovement():

Аналіз скетчу дозволив визначити відповідність параметрів з напрямком руху, а саме:

- setMovement(0,0.5,0) -- переміщення вправо
- setMovement(0.5,0,0) -- переміщення вперед
- setMovement(0,-0.5,0) -- переміщення наліво
- setMovement(-0.5,0,0) -- переміщення назад
- setMovement(0.5,0.5,0) -- переміщення вперед-вправо
- setMovement(-0.5,-0.5,0) -- переміщення назад-наліво
- setMovement(-0.5,0.5,0) -- переміщення назад-направо
- setMovement(0.5,-0.5,0) -- переміщення вперед-наліво
- setMovement(0,0,0.5) – поворот за годинниковою стрілкою
- setMovement(0,0,-0.5) – поворот проти годинникової стрілки
- setMovement(0,0,0) – стоп

Шляхом зміни скрипту керування можна змодельовати переміщення по траєкторії «коло» (Рисунок 6, а) та переміщення по траєкторії «квадрат» (Рисунок 6, б).

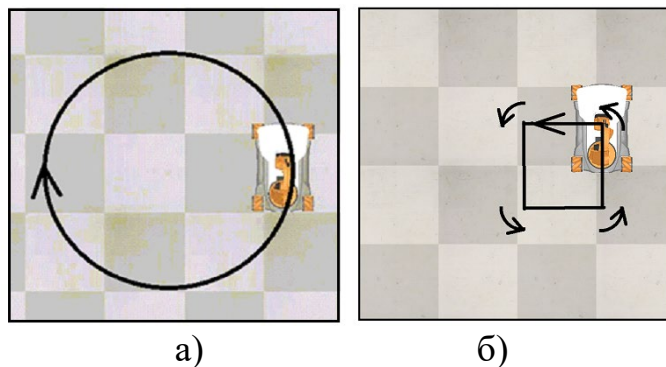


Рисунок - 6 Переміщення по траєкторії «коло» (а) та «квадрат» (б)
Джерело: [5]



За допомогою мобільного робота Pioneer 3-DX можна проводити дослідження визначення радіусу переміщення по колу від швидкості кожного з коліс, яке встановлюються у скетчі (Рисунок 14), де, наприклад, швидкість другого колеса вдвічі більша, ніж у першого. У скетчі це виглядає так:

$$v_{\text{Left}} = v_0 \quad v_{\text{Right}} = v_0 * 2$$

Результат симуляції переміщення по колу з означеними параметрами наведений на (Рисунку 7).

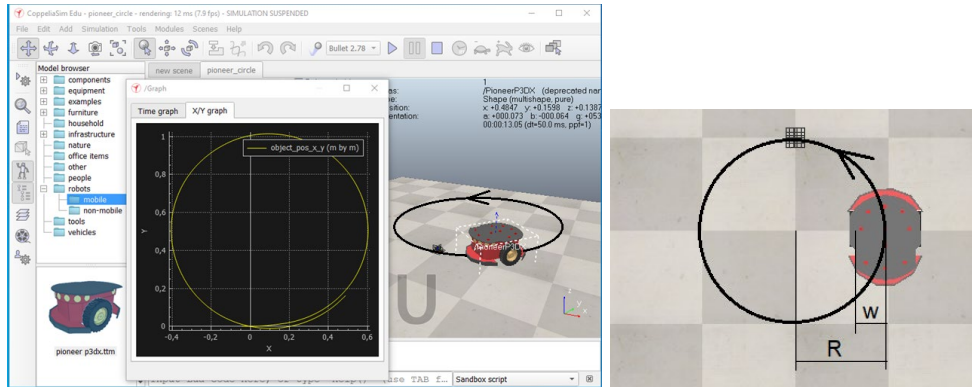


Рисунок – 7 Результат симуляції переміщення по колу

Джерело: [5]

На (Рисунку 8) наведені результати симуляції визначення перешкод за допомогою ультразвукових сенсорів під час переміщення мобільного робота.

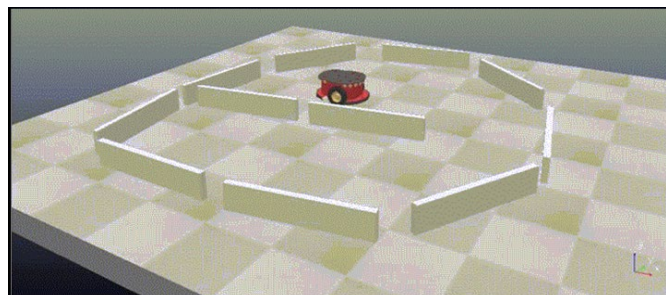


Рисунок - 8 Результат симуляції визначення перешкод

Джерело: [5]

На (Рисунку 9) наведені результати симуляції керування швидкістю обертання коліс робота за допомогою слайдерів.

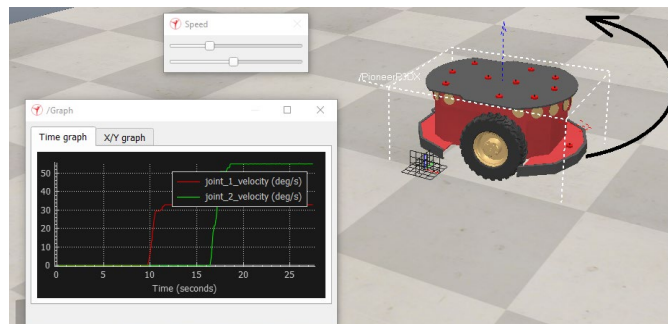


Рисунок - 9 Результат симуляції керування швидкістю обертання коліс робота

Джерело: [5]



Наведені результати моделювання засобів переміщення мобільних роботів використовувались для дистанційного навчання під час проведення лабораторних та практичних занять.

Висновки

В результаті проведеного аналізу існуючих засобів переміщення мобільних роботів були визначені залежності, які дозволяють здійснювати переміщення мобільних роботів по вказаним траєкторіям.

Розглянуті можливості моделювання за допомогою симуляторів UnoArduSim та CoppeliaSim.

Наведені залежності параметрів руху транспортних засобів від засобів переміщення. Розроблені алгоритми переміщення транспортного засобу.

Результати роботи використовувались для при проведенні лабораторних та практичних занять.

Література:

1. Михайлов, Є. П. Навчальний посібник з дисципліни "Мобільні роботи" : для студентів за фахом 131 - Прикладна механіка – спеціалізація - Мехатроніка та пром. роботи / Є. П. Михайлов ; Одес. нац. політехн. ун-т. – Одеса, 2016. – 238 с.

2. Інтернет ресурс. Automated guided vehicle. URL: https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Automated_guided_vehicle&oldid=1087463869 (дата звернення 09.06.2022).

3. Інтернет ресурс. Одометрія. / URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D1%96%D1%8F> (дата звернення 27.09.2023).

4. Розробка засобів для проведення практичних та лабораторних занять з робототехнічними пристроями в умовах дистанційного навчання / Є. П. Михайлов, В. М. Лінгур, В. С. Борисов, О. С. Панфіленко, К. С. Махновський // SWorldJournal. - 2023. - Iss. 20, Part 1. - P. 21-28.

5. Михайлов, Є. П. Комп'ютерне конструювання елементів машин : навч. посіб. для здобувачів бакалаврів : спеціальність 131 - Прикладна механіка, освітні програми: Мехатроніка та промислові роботи, Інженерія логістичних систем; спеціальність 133 – Галузеве машинобудування, освітня програма Підйомно-транспортні, дорожні, меліоративні машини і обладнання / уклад. Є. П. Михайлов. - Одеса : Нац. ун-т "Одес. політехніка", 2023. - 233 с.

6. Інтернет ресурс. UnoArduSim V2.9.2 Release plus Q2WDBotSim. URL: <https://sites.google.com/site/unoardusim/recent-announcements/v2-9-2-release-plus-q2wdbotsim> (дата звернення 15.09.2023).

7. Інтернет ресурс. ARDUINO.EDUCATION. URL: <https://www.arduino.cc/education> (дата звернення 15.09.2023).

8. Blum J. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry John Wiley & Sons, Inc., 2013. — 385 с.

9. Інтернет ресурс. COPPELIA ROBOTICS. URL: <https://coppeliarobotics.com/> (дата звернення 28.09.2023).

10. Інтернет ресурс. CoppeliaSim User Manual. URL:



<https://www.coppeliarobotics.com/helpFiles/index.html> (дата звернення 28.09.2023).

Abstract. *An analysis was made of existing means of moving mobile robots, which can be used to develop algorithms for controlling the movement of the robot. The possibilities of computer modeling for studying the algorithms and equipment of the means of movement of both the robot itself and its individual links are considered. Algorithms and methods for moving mobile robots using various actuators and taking into account the trajectory of movement have been developed. The possibilities of using the results obtained for remote laboratory and practical classes are considered. The results of the work were used to create computer models of mobile robots during laboratory and practical classes.*

Keywords: *mobile robot, vehicle, movement algorithms, means of movement, control system, executive devices.*

Стаття відправлена: 14.10.2023

© Михайлов Є.П.