

А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник, І.С. Березкін, П.М. Павлов

**МАТЕМАТИЧНЕ І ПРОГРАМНО-АПАРАТНЕ  
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТРЕНАЖЕРНОЇ УСТАНОВКИ  
З ПРОСТОРОВИМИ ПРИВОДАМИ РУХУ**

*Анотація. У статті розглянуто програмно-апаратне забезпечення тренажерної установки для підготовки фахівців транспортної галузі. Визначено алгоритм розв'язання задач про положення, швидкості та прискорення ланок мехатронної системи графічним і аналітичним методом. Розроблено повнорозмірну геометричну модель тренажерної платформи з симуляцією руху, за допомогою контролера Motion Capture, у середовищі Autodesk 3D Max.*

*Ключові слова: тренажерна платформа, мехатронна система, кінематика, моделювання.*

**Вступ**

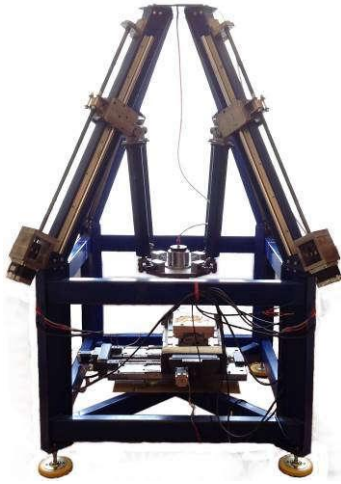
Симулятори руху транспортними засобами використовуються у багатьох галузях людської діяльності: від підготовки спеціалістів до індустрії розваг. На сьогодні можна виділити три різні типи транспортних тренажерів: мототренажери, автотренажери, автобусні симулятори, трекові симулятори і т.д., кожен з яких призначений для підготовки водіїв відповідної галузі [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

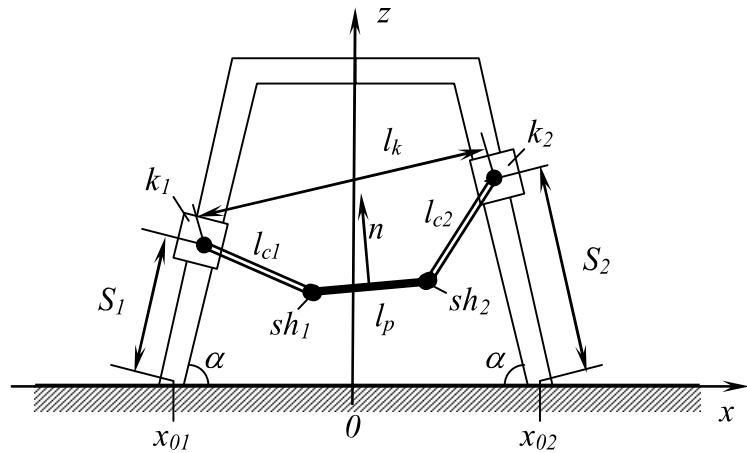
У транспортних тренажерах відносні переміщення кабіни транспортного засобу і дорожнього полотна разом з навколишнім середовищем досягаються шляхом застосування різних багаторухливих просторових механічних систем, в основі яких лежать робототехнічні комплекси. У зв'язку з потребою навчання та перевірки навичок осіб, які задіяні у керуванні транспортними засобами, необхідно забезпечити відтворення реальних умов і навантажень.

Дослідження, на самперед, базується на методах побудови планів основних кінематичних параметрів та надає можливість визначати потрібні конструктивні і швидкісні параметри приводів на стадії проектування в ракурсі рішення прямої задачі кінематики.

В якості приводів крісла тренажера прийнято пірамідальну каркасну установку з МПС. Кінематична схема симетричної установки з двома направляючими штангами приведена на рис. 1.



а) зовнішній вигляд



б) кінематична схема

Рисунок - 1 Просторова система приводів каркасного компонування

Геометричні розміри елементів установки задаються на стадії проектування і виготовлення  $l_{c1}$ ,  $l_{c2}$ ,  $l_p$  - довжини стержнів (балочних елементів)  $c_1$ ,  $c_2$  і майданчика  $p$ , на якому встановлюється робочий інструмент;  $\alpha$  - кут нахилу консолей (направляючих штанг) до горизонтальної поверхні. Відомими вважаються відстань між опорами  $d = -x_{01} = x_{02}$ , а також первинні положення  $S_{01}$  і  $S_{02}$  кареток  $k_1$  і  $k_2$  [2].

Основоючись на розв'язанні прямої задачі кінематики, можна дати оцінку граничним можливостям переміщення майданчика з робочим органом. Для аналізу динаміки (можливих швидкостей переміщення елементів каркасної установки), доцільно застосовувати графоаналітичний метод.

Розглянемо спрощену схему каркасної установки для випадку  $l_p = 0$ ,  $\alpha = 90^\circ$ . Приклади побудови планів швидкостей ланок МПС і визначення вектору швидкості вихідної ланки  $\vec{V}_k$  для різних випадків співвідношення та напрямку  $\vec{V}_A$  і  $\vec{V}_B$  наведено на рис. 2.

Такі МПС з двома координатами стали традиційними у виробництві маніпуляторів та 3d-принтерів з паралельними напрямними, замкненим кінематичним ланцюгом і приводними каретками А і В [3].

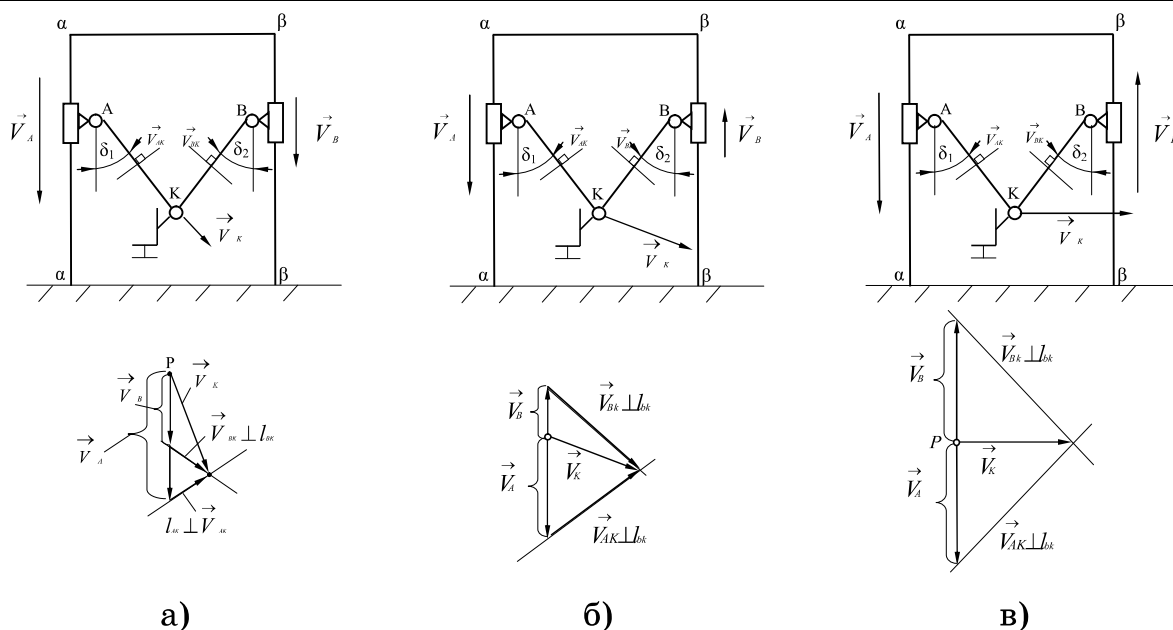


Рисунок - 2 Плани швидкостей ланок МПС і вектору швидкості вихідної ланки  $\vec{V}_k$  для різних випадків: а)  $\vec{V}_A \downarrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A > \vec{V}_B$ ; б)  $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A > \vec{V}_B$ ; в)  $\vec{V}_A \downarrow \uparrow \vec{V}_B$ ,  $\vec{V}_A = \vec{V}_B$

Побудова планів імовірних швидкостей має відповідати векторним рівнянням:

$$\begin{aligned} \vec{V}_K &= \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \quad \vec{V}_K = \vec{V}_A + \vec{V}_{AK}; \quad \vec{V}_A + \vec{V}_{AK} = \vec{V}_B + \vec{V}_{BK}; \\ \vec{V}_A &\parallel \alpha - \alpha; \quad \vec{V}_{AK} \perp l_{AK}; \quad \vec{V}_B \parallel \beta - \beta; \quad \vec{V}_{BK} \perp l_{BK}. \end{aligned} \quad (1)$$

Пряму задачу кінематики з відповідними векторами  $V_A$  і  $V_B$  можна вирішити в наступній послідовності:

$$\begin{aligned} 1) \vec{V}_A &\rightarrow \vec{V}_{AK}; \quad 2) \vec{V}_B \rightarrow \vec{V}_{BK}; \\ 3) \vec{V}_{AK} \cap \vec{V}_{BK} &; \quad 4) p \rightarrow \vec{V}_{AK} \cup \vec{V}_{BK} = \vec{V}_K. \end{aligned} \quad (2)$$

При розв'язуванні зворотної задачі кінематики шуканими параметрами є  $V_A$  і  $V_B$ , а заданими  $V_K$ , а побудова здійснюється за алгоритмом у зворотній послідовності.

### Постановка завдання

Метою дослідження є визначення процедур проектування і засобів забезпечення працездатності та керування мехатронними системами відтворення складних рухів для тренажерної техніки з приводами просторової конструкції.

Програмна та апаратна реалізація геометричної і математичної моделі механічної складової і мобільної тренажерної платформи

Для комп'ютерного розв'язку задач кінематики та моделювання роботи просторових симуляторів руху пропонується створення ієрархічно зв'язаної моделі в середовищі 3D Studio max з використанням математичного зв'язку усіх ланок і їх складових, який програмується на мові MaxScript [5].

Створено повнорозмірну геометричну модель механічної складової приводів просторового компонування тренажерної платформи для симуляції руху екіпажів мобільних машин (рис. 3).

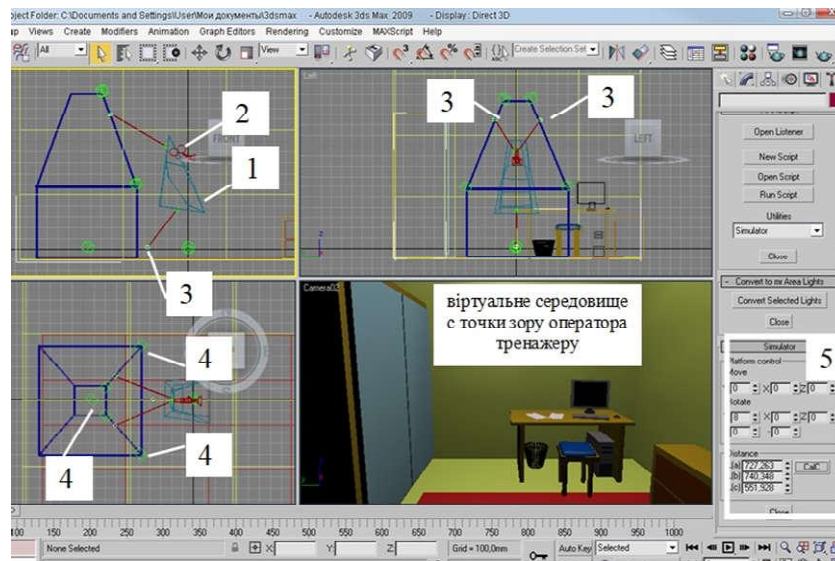


Рисунок - 3 Ієрархічно-зв'язана комп'ютерна модель просторової системи приводів для керування тренажером: 1 – рухома платформа (крісло оператора); 2 – камера, 3 – рухомі каретки; 4 – крокові двигуни; 5 – створене на мові MaxScript додаткове меню для керування рухом оператора і розрахунку l – координат

В результаті моделювання, а саме переміщення та обертання крісла (рухої платформи) в інтерактивному режимі розраховуються значення l-координат та присвоюються змінним Distance (рис.4-б), які можуть бути подані на драйвери крокових двигунів мехатронної системи для відпрацювання. Параметри руху платформи відображаються у додатковому меню Simulator, розробленому за допомогою мови MaxScript Таким чином, забезпечується необхідне віртуальне пересування і орієнтація оператора.

Для подання сигналів з зовнішнього пристрою керування рухою платформою з кріслом оператора можна запропонувати стандартний програмний контролер Motion Capture середовища 3D Studio Max.

Присвоївши контролер Motion Capture треку, користувач натискає по треку правою клавішею миші та вибирає команду Properties зі з'явившогося контекстного меню, після цього відкривається діалогове вікно Motion Capture (див. рис. 4). Використовуючи це діалогове вікно, можливо визначити прилад, який буде керувати показниками треку, а саме переміщенням вздовж, або обертанням навколо осей X, Y, Z.

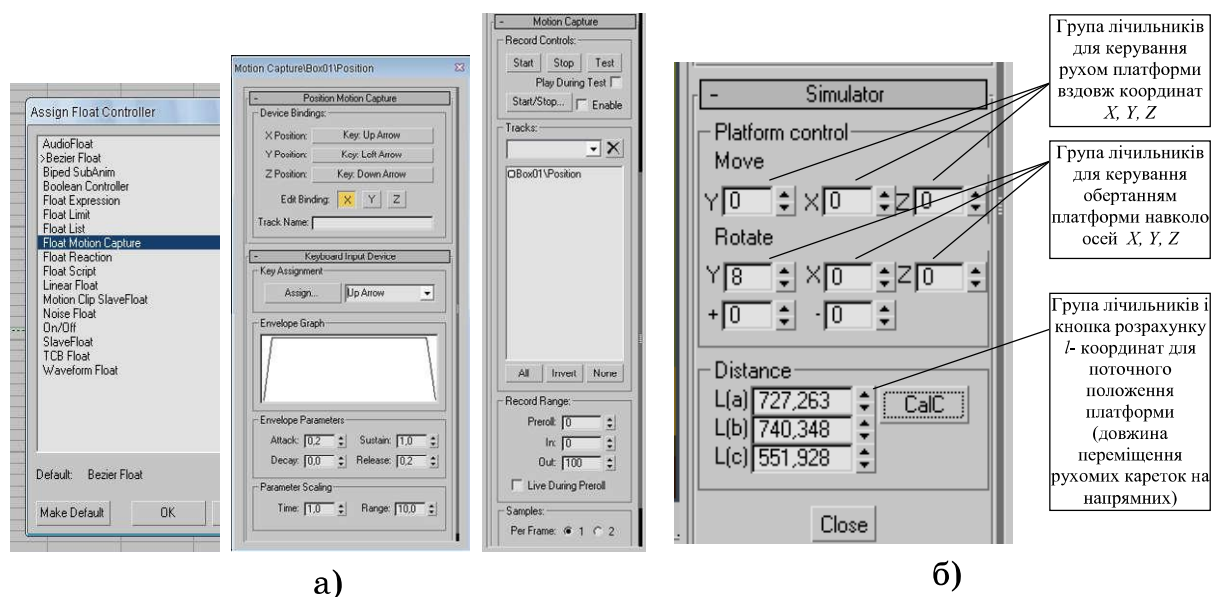
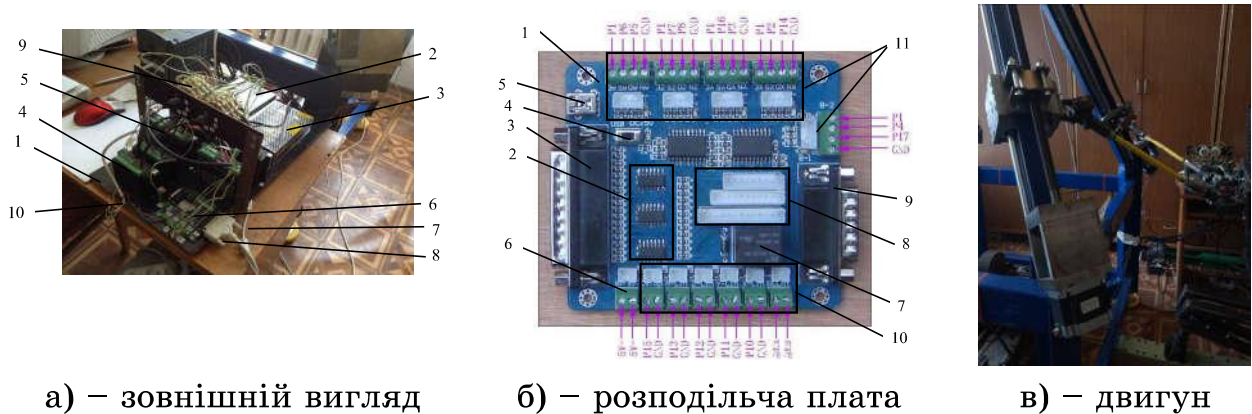


Рисунок - 4 Елементи інтерфейсу середовища 3D Studio Max: а - присвоєння контролера Motion Capture; б - вікно програми керування моделі рухомої платформи

Використовуючи контролер Motion Capture (захоплення руху), можливо керувати трансформацією об'єкта за допомогою зовнішнього приладу, наприклад миші, клавіатури, джойстику, або MIDI-приладу (рис. 5). З метою збору даних о русі, цей контролер використовують разом з засобом Motion Capture.

Система керування (рис. 5, а) складається з основи 1, на якій встановлено блоки живлення з напругою 45В та 24В (поз. 2 та 3 відповідно), які живлять чотири драйвери типу CW5045 для керування кроковими двигунами моделі 34H280-45-4A з передачею гвинт-гайка і рухомою кареткою та два менш потужних драйвери типу CW7030 (поз. 4 та 5, відповідно), а також розподільчу плату 6 з живленням від USB-кабелю 7 та сигнальним кабелем LPT 8. Режими роботи тренажера обираються пакетними перемикачами 9 з чотирма фіксованими положеннями. Розподільча плата з'єднується з драйверами за рахунок кабелів 10.



а) – зовнішній вигляд      б) – розподільча плата      в) – двигун

Рисунок - 5 Система керування рухом платформи тренажера

Ключовим елементом системи є розподільча плата (рис. 5, б) з вказаними номерами каналів LPT-порта (plugs and pins). На монтажній платі 1 розташований ряд мікросипів 2 з опторозв'язкою від LPT-порта 3. Також на платі є перемикач живлення 4 від USB-роз'їма 5 або зовнішнього блока живлення через роз'їм 6. Присутня можливість керування тренажером завдяки іншим пристроям plugs and pins через COM-роз'їм 9. Входи сигналів розташовані на конекторах 10, а виходи до драйверів на конекторах 11 [4].

Досліджено діапазон кутів нахилу оператора, який складає від 0 до 30 градусів навколо осей координат (рис. 6). Швидкість переміщень кареток задається в діапазоні 0.6 м/хв - 1.8 м/хв, яким відповідає кутова швидкість крісла 0.52 рад/хв - 1.6 рад/хв навколо осей.



а) – крен на  $+15^\circ$

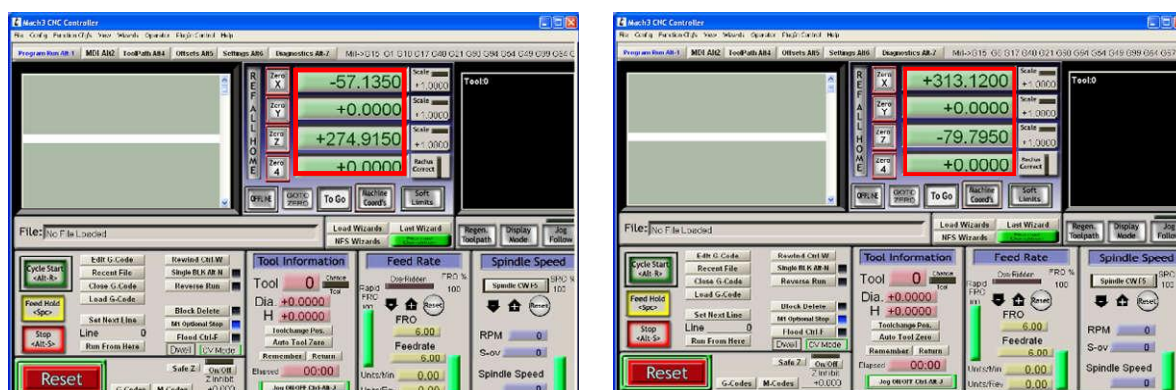


б) – крен на  $-15^\circ$

Рисунок - 6 Наглядне зображення діапазону кутів нахилу дослідного зразка

Для керування апаратною частиною використано безкоштовну програму Mach3 (рис. 7).

Для крайніх положень крісла дослідного зразка тренажеру зафіксовано керовані координати, які відпрацьовують крокові двигуни просторової мехатронної системи.



а) – при повороті на  $+15^\circ$

б) – при повороті на  $-15^\circ$

Рисунок - 7 Інтерфейс програми Mach3

і зафіксовані у ньому координати

Переміщення робочого органу задається верхнім рівнем управління, який складається з персонального комп'ютера і керує кожним електродвигуном за допомогою окремого драйвера.

Датчики, розміщені на приводах та елементах конструкції установки, разом складають інформаційно-вимірвальну підсистему, яка відстежує параметри роботи каркасної установки і відправляє дані на верхній рівень управління [6].

### Висновки

Виконаний аналіз сучасних систем тренажерів і тренувальної техніки для екіпажів мобільних машин свідчить про розвиток мехатронних систем з застосуванням конструкцій просторових приводів для відтворення або симуляції складних переміщень несучих платформ з оператором та безпосереднім зв'язком системи керування і відповідним інтегрованим впливом на хід переміщень платформи. Створену ієрархічну 3D – модель тренажерної системи у середовищі 3dStudioMax, що програмно керована кодом MaxScript, можна застосувати з метою інтерактивного керування контролером Motion Capture від зовнішніх пристроїв.

Експериментально встановлено, що робочі параметри виготовленого тренажерного стенду, дозволяють зміну кутів обертання (нахилу) у діапазоні 0.6 м/хв. - 1.8 м/хв. та діагональних швидкостей ланок в межах від 0.52 рад/хв. до 1.6 рад/хв. навколо осей. Отримані

діапазони кутів та швидкостей дозволяють ефективно відтворити роботу багатьох видів мобільних машин.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Біліченко В.В. Аналіз підходів до класифікації автотренажерів для підготовки водіїв / В.В. Біліченко, В.В. Рациборинський // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Вип. №46. - Луцьк, 2014. - С. 29 – 37.

2. Рудакова Г.В. Розробка спеціалізованого програмного забезпечення для проектування каркасних установок з механізмами паралельної структури / Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, С.В. Ревенко // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 4(63). – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 38 – 43.

3. Дмитрієв Д.О. Застосування графоаналітичного методу для аналізу кінематики механізмів паралельної структури і викладання дисципліни теорія механізмів і машин / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, О.О. Сафьяник // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу», випуск 3. – Херсон: ХНТУ, 2017.- С. 67 – 71.

4. Учебная программа по мультимедийным и развлекательным приложениям компании Autodesk. Без автора. — Пер. с англ. — М.: Вильямс, 2006. — 256 с.

5. Кеба П.В. Програмно-апаратне забезпечення і моделювання обробки на верстатах з механізмами паралельної структури / П.В. Кеба, С.М. Півень // Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки – 2016. – № 3 (78). – С. 12 – 19.

6. Лебеденко Ю. О. Інформаційно - вимірвальна підсистема багатоприводної каркасної установки з механізмами паралельної структури / Ю.О. Лебеденко, А.А. Омельчук, О.О. Сафьяник // Вісник Херсонського національного технічного університету. Вип. 3(62). Т.1. – Херсон: ХНТУ, 2017. - С. 317 – 322.