

**Пількевич І.А., професор кафедри
комп'ютерно-інтегрованих технологій та кібербезпеки, д.т.н., професор
Омельчук І.А., викладач кафедри електротехніки та електроніки
Мірошніченко С.І., викладач кафедри
комп'ютерно-інтегрованих технологій та кібербезпеки
Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова**

РОЗРОБКА СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ КУРСОВОЇ СТІЙКОСТІ НАЗЕМНИХ РОБОТИЗОВАНИХ КОМПЛЕКСІВ КОЛІСНОГО ТИПУ

Інтенсивний розвиток сучасних інформаційних систем створює умови для розробки та впровадження засобів, що дозволяють автоматизувати й дистанціювати, і тим самим більш ефективно реалізувати процеси управління. Разом зі зростаючою складністю систем і використовуваних у них інформаційних технологій збільшується їх функціональність та можливості щодо використання. Розробка та втілення новітніх систем передачі даних, зокрема відео потоку в реальному часі, дозволила створити систему керування з «ефектом присутності» (FPV дрони) як для літальних апаратів, так і для наземних роботизованих комплексів.

Хоча розвиток сучасних технологій зумовлює стрімке впровадження в різних галузях діяльності широкого спектра роботизованих дистанційно керованих систем різноманітного призначення, однак недостатньою мірою висвітлено проблеми автоматизації процесів керування цими комплексами шляхом функціонування мобільних роботів на рівнях управління оператором та адаптації їх до умов використання в конкретних умовах місцевості.

Останнім часом з'явилося кілька потужних світових шкіл та проєктів, наприклад ROS (Robot Operating System), підтримкою та розвитком якого займається відомий американський Стенфордський університет, а також окремі фахівці з усього світу [1]. Також багато наукових закладів військового та цивільного спрямування працюють над розробкою та вдосконаленням наземних роботизованих комплексів. Так, у публікаціях науковців Національного університету «Львівська політехніка» та Національної академії сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного [1] виділено основні напрямки застосування мобільних роботизованих комплексів. Наведено класифікацію систем за функціональним призначенням. Проаналізовано шляхи підвищення оперативності роботизованих систем та викладено методику формування рівнянь динаміки руху даних комплексів. Також у СЕО/СТО ТОВ «Конструкторське бюро «Роботікс»» [2] було досліджено передумови активізації процесу розробки мобільних роботів на початку XXI сторіччя. Наведено перелік факторів, що безпосередньо впливають на інтенсифікацію розвитку робототехніки. Автором запропоновано систему класифікації бойових наземних роботизованих комплексів у розрізі масогабаритних характеристик та ступеня їх автономності, описано особливості кожного виду класифікації.

У віснику Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського [3] опубліковано статтю, у якій наведено розробку програмно-апаратного забезпечення для управління мобільною робототехнічною платформою на базі мікроконтролера ESP8266 з використанням програмно-апаратних способів реалізації, також було проведено аналіз наявних систем управління мобільними роботами.

Основною метою роботи є розробка та впровадження системи стабілізації курсової стійкості роботизованих комплексів у процесі руху та маневрування. В основу системи покладено принцип вимірювання відцентрової сили, що діє на рухомий апарат, порівняння її з розрахунковими параметрами, а також алгоритм селекції позаштатних ситуацій, що можуть виникнути в процесі виконання маневрів на конкретному дорожньому покритті та рельєфі в місці виконання різноманітних завдань. В основу алгоритму покладено аналіз значення відцентрових сил та побудову лінії прогнозного тренду щодо їх поведінки на правій та лівій поворотній цапфах комплексу. На основі цих даних проводиться програмний аналіз стабільності траєкторії, або обирається варіант реагування на поведінку колісного агрегату на зміну траєкторії, що були спричинені характеристиками дорожнього покриття, які є непрогнозованими та непередбачуваними в конкретних умовах.

У роботі [4] було показано, що швидкість повороту керованих коліс в несталій стадії повороту чинить суттєвий вплив на керованість автомобілів й одну з її властивостей. У автомобілів з недостатньою керованістю в початковий момент входження в поворот з'являються від'ємні значення кутового прискорення і кутової швидкості в площині дороги, що покладено в основу запропонованого методу. Його реалізовано шляхом встановлення на поворотних цапфах роботизованого комплексу давачів відцентрового прискорення та постійного контролю його вимірюваного значення з наступним порівнянням розрахункового параметра й вимірюваного. На рис. 1 зображено спосіб визначення

найменшого радіуса повороту рухомого агрегату, роботизованого комплексу, а також його залежність від кута повороту передніх коліс.

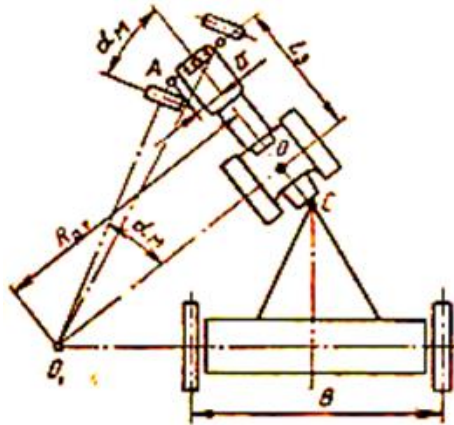


Рисунок 1 – Визначення найменшого радіуса повороту

Аналіз рис. 1 показує, що найменший радіус повороту машини можна визначити за такою формулою, м:

$$R_{0.T} = L_d \cdot \operatorname{ctg} \alpha_m + a, \quad (1)$$

де L_d – довжина колісної бази (подовження колісна база) машини;

α_m – кут маневру (повороту рульового колеса);

a – половина відстані між осями поворотних цапф, м.

Під час руху на опори та колеса рухомого комплексу діють сили реакції, які залежать від швидкості, ваги та багатьох інших факторів [5]. Також є залежність від кута повороту керуючих коліс, що доводить наявність прямої математичної залежності між масогабаритними параметрами рухомого агрегату, його швидкістю та силами реакції, що діють на нього в процесі виконання маневру.

Таким чином, вимірявши сили реакції, можна вирахувати оптимальні кути повороту для забезпечення допустимих сил реакції для конкретного маневру або розрахувати максимальну допустиму швидкість для виконання цього маневреного руху.

Крім того, на основі результатів замірів сил реакції на початку маневру є можливість побудувати лінію тренду для даного конкретного моменту руху з прогнозуванням розвитку подій. Отже, маючи масив замірів на початку маневру, можна математично спрогнозувати розвиток події та поведінку рухомого апарата (рис. 2).

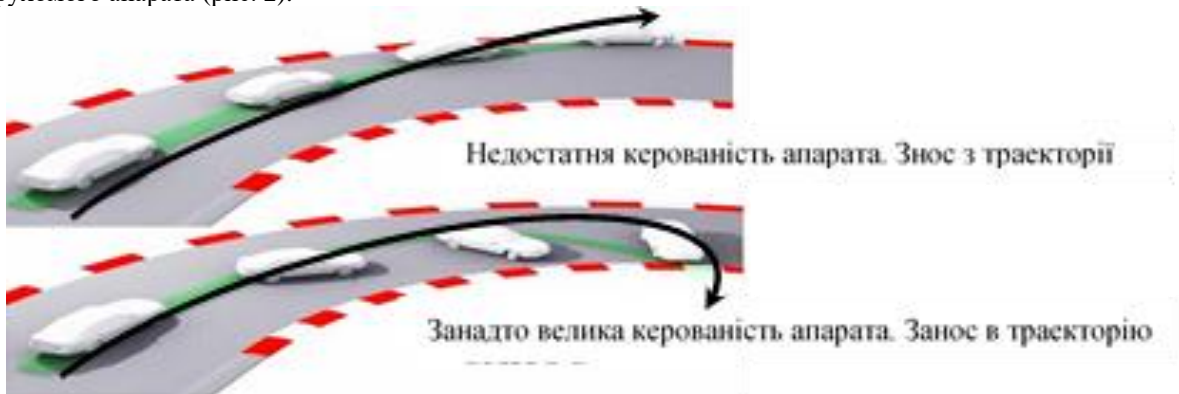


Рисунок 2 – Варіанти відхилення від траєкторії руху

Математичний апарат та методика прогнозування розвитку сил реакції під час виконання маневру, що пропонується. На сьогоднішній день методи статистичного моделювання широко використовуються в економічних розрахунках та прогнозах. Так, джерело [6] присвячене побудові статистичних моделей зі змінними параметрами для прогнозування нестационарних часових рядів, експонентного згладжування – одного з найпростіших і розповсюдженіших прийомів вирівнювання ряду, в основі якого лежить розрахунок експонентних середніх.

Враховуючи, що використання вимірювань під час руху рухомого агрегату є циклічним, результати вимірювань, отримані під час руху, можуть бути розглянуті як дискретний стохастичний часовий ряд із

певним кроком, який в умовах конкретної дорожньої обстановки також є різним і визначає поведінку рухомого об'єкта в конкретний момент часу. Очевидно, що для кожного відрізка шляху і маневру цей ряд є індивідуальним.

Як вказано в [6], експонентну середню S_t можна виразити через значення часового ряду x :

$$\begin{aligned} S_t &= \alpha x_t + \beta S_{t-1} = \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \beta^2 S_{t-2} = \dots = \\ &= \alpha x_t + \alpha \beta x_{t-1} + \alpha \beta^2 x_{t-2} + \dots + \alpha \beta^l x_{t-l} + \dots + \beta^N S_0 = \dots = \\ &= \alpha \sum_{i=0}^{N-l} \beta^i x_{t-i} + \beta^N S_0, \end{aligned} \quad (2)$$

де N – кількість членів ряду;

S_0 – деяка величина, що характеризує початкові умови для першого застосування формули при $t = 1$;

α – параметр згладжування, $\alpha = \text{const}$, $0 \leq \alpha \leq 1$; $\beta = 1 - \alpha$.

Отже,

$$S_t = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i x_{t-i}. \quad (3)$$

Таким чином, величина S_t є зваженою сумою всіх членів ряду, причому вага падає експоненційно залежно від давнини (віку) спостереження. Це й пояснює, чому величина S_t названа експонентною середньою.

Тому, використовуючи дану математичну модель, можна з великим ступенем імовірності спрогнозувати розвиток сил реакції при виконанні маневру в конкретних умовах і застосувати завчасно дії щодо коригування курсу рухомого агрегату.

Такими діями може бути або швидка коригуюча зміна положення керованих коліс, або коригування курсової стійкості динамічним способом.

Динамічний спосіб здійснення повороту може бути реалізований такими трьома варіантами: швидкісним, силовим і комбінованим [7]. Під час швидкісного способу поворот здійснюють шляхом розгону коліс зовнішнього борту машини, а в ході силового – шляхом збільшення крутних моментів дотичних реакцій на колесах зовнішнього борту.

Крім того, є можливість стабілізації курсу шляхом визначення необхідних кутів повороту і кутових швидкостей повороту передніх керованих коліс в разі стабілізації курсового кута шляхом повороту останніх у бік заносу під час руху автомобіля в тяговому і гальмівному режимах [8].

Висновок. Використовуючи запропонований метод, можна значно покращити тактико-технічні характеристики наземних рухомих роботизованих комплексів, таких як: маневреність, прохідність та надійність, – оскільки забезпечення стійкості агрегату в ході виконання маневру є ключовим показником під час виконання ним поставлених завдань.

Література

1. Перспективи використання мобільних роботизованих комплексів в широкому спектрі вирішення задач мілітарного спрямування / Зінько Р. В., Ванкевич П. І., Черненко А. Д. та ін. // Збірник наукових праць Військової академії. Одеса, 2018. Вип. № 1 (9). С. 17–27. http://zbirnyk.vaodessa.org.ua/images/zbirnyk_9/03.pdf
2. Кириченко І. В. Наземні роботизовані комплекси: основи та майбутнє // Молодий вчений. № 12 (100). С. 16–20. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-12-100-4>
3. Розробка програмного забезпечення управлінням мобільним роботом / Мошенський А. О., Олещенко Л. М., Новак Д. С. та ін. // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Київ, 2022. Том 33 (72), № 5. С. 129–134. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.5/18>
4. Сіренко Ю. В. Дослідження та обґрунтування ефективних прийомів використання польових агрегатів: дис. на здобуття ступеня доктора філософії за спец. 133 – Галузеве машинобудування / Сумський національний аграрний університет. Суми, 2021. 199 с.
5. Бобошко О. А. Наукові основи підвищення показників маневреності автомобілів: дис. на здобуття ступеня доктора технічних наук за спец. 05.22.02 – Автомобілі і трактори / Харківський нац. автомобільно-дорожній університет. Харків, 2019. 332 с.
6. Моцик С. Р. Адаптивні моделі короткострокового прогнозування часових рядів : кваліфікаційна робота ... бакалавра за спец. 124 – Системний аналіз / КНУ імені Тараса Шевченка. Київ, 2022. 58 с.
7. Carlos E. and Ferro E. Technical Overview of Brake Performance Testing for Original Equipment and Aftermarket Industries in The US and European Markets // Link Tech. Rep. FEV2005-01. 2005. P. 1–27.
8. Спосіб визначення опору повітря при русі гальмівних дисків: Патент на винахід № 121929. Заявл. 10.08.2020 / Кравченко К. О., Хаусер В., Герліці Ю. та ін. // Бюл. № 15. 2020.