

УДК 631.37

DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-82-90

ПЕРСПЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ КЕРОВАНOSTІ КОЛІСНИХ МАШИН

Журавель Д. П., д.т.н.,

ORCID 0000-0002-6100-895X

Бондар А. М., к.т.н.,

ORCID 0000-0002-4761-9084

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

Постановка проблеми. Одним із головних напрямків підвищення продуктивності тракторів в сільському господарстві є максимальне використання їх тягово-потужнісних властивостей [1]. Це можливо тільки при збільшенні робочих швидкостей енергетичного засобу. Однак робота на підвищених швидкісних режимах призводить до погіршення стабільності технологічних процесів у зв'язку зі збільшенням чутливості рульового керування, так як зі збільшенням швидкості колісної машини необхідно збільшувати і передавальне відношення рульового механізму, а зі зменшенням швидкості, відповідно, зменшувати [1-3]. Відзначимо, що під чутливістю розуміється інтенсивність відгуку об'єкта керування на одиничний керуючий вплив. Для керування напрямком руху транспортного засобу чутливість рульового керування є відношення зміни кутової швидкості машини до кута повороту рульового колеса, яке його викликало.

Нині відсутня така сільськогосподарська техніка, рульове керування якої повністю відповідало б цим вимогам. Тому актуальними є дослідження, спрямовані на створення рульових управлінь сільськогосподарських машино-тракторних агрегатів (МТА), що працюють на підвищених швидкісних режимах і забезпечують адаптивність передавального відношення рульового механізму в залежності від швидкості руху.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз традиційних систем керування руху мобільних машин показує, що вони як об'єкт керування, є інтегратором зі змінними параметрами. Можна запропонувати більш ергономічний спосіб керування мобільними машинами, в рульове керування яких вбудована диференціальна ланка [4]. Практично це означає, що напрямок руху машини повинен бути пов'язаний із положенням рульового колеса. Для оцінки керованості нових типів рульових управлінь були проведені дослідження, які

показали наступне: рульове керування за положенням забезпечує на порядок більш високу точність відстеження траєкторії руху і дає можливість знизити передавальне відношення рульового механізму [4,5]. Спрощення керування в цьому випадку знижує час реакції водія вдвічі, на порядок збільшує точність відстеження траєкторії. Маневреність колісної машини є її важливою експлуатаційною властивістю, яка визначає ефективність використання і безпеку руху [6-8].

Максимальний кут повороту керуючих коліс зазвичай не перевищує $40 \dots 55^\circ$. Максимальний кут повороту рульового колеса в кожну сторону в існуючих конструкціях рульових управлінь становить $1,5 \dots 3,0$ обороти [9-12].

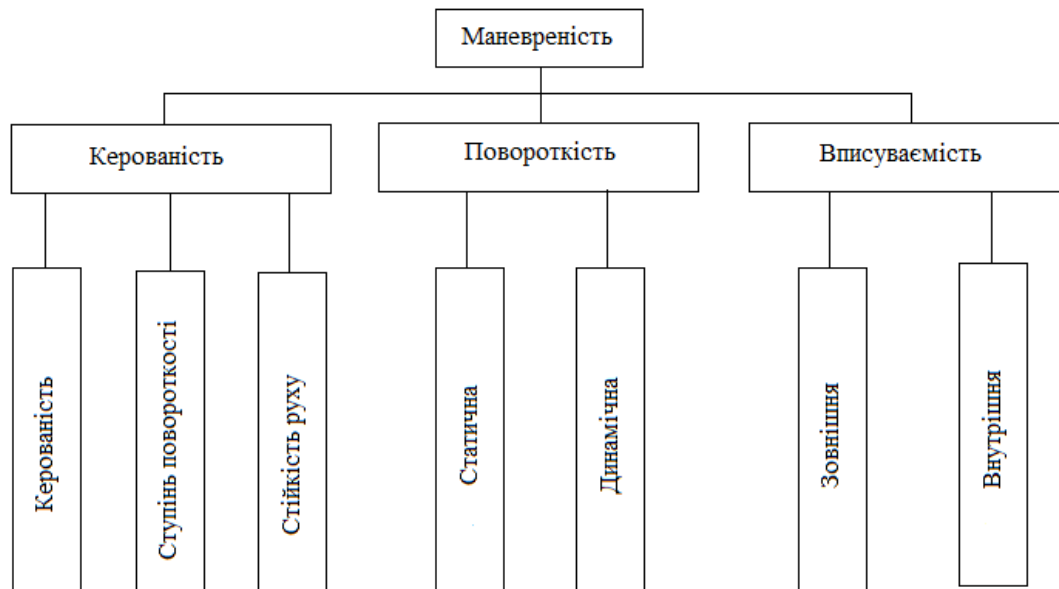


Рис. 1. Структура властивостей маневреності колісних МТА

В рамках існуючих механічних схем рульових приводів чутливість задається передавальним співвідношенням рульового керування W , як правило незмінним ($W = \text{const}$) [1,3]. Передавальне співвідношення, це відношення кута повороту рульового колеса до кута повороту керованих коліс шасі. Для зручності при маневруванні передавальне відношення бажано знизити, а в транспортному (швидкісному) - підвищити. Таке технічне рішення широко поширене практично на всіх видах колісної техніки. Це пов'язано з тим, що виготовлення рульового керування з нелінійної характеристикою значно дорожче ніж з лінійної. Відомо, що тихохідні машини мають передавальне відношення рульового керування $4 \dots 6$, а у швидкісних автомобілів до 30. При проектуванні рульового керування передавальне відношення вибирається досить великим, щоб забезпечити стійкість руху на підвищених швидкостях. Це призводить

до незручностей при маневруванні. Широко відомі спроби непрямого подолання цього технічного протиріччя в рамках механічних схем. Наприклад, технічні рішення, в основі яких лежить введення не лінійності в кінематичну схему рульового приводу. У межах малих відхилень керованих коліс від нейтрального положення призначається велике передавальне співвідношення, тому що це характерно для швидкісних режимів. Великі відхилення керованих коліс характерні для маневрування, тому з ростом цієї величини передавальне співвідношення знижується [13-16]. Однак не можна не відзначити, що такий підхід не знімає повністю суті технічного протиріччя, в основі якого лежить лінійна залежність чутливості від швидкості руху.

Формулювання мети статті. Метою статті є дослідження способу руху колісної машини під час виконання технологічних операцій, а також контроль відхилення від заданої траєкторії на підвищених швидкісних режимах роботи.

Основна частина. Значне поліпшення керованості машин можливо на основі використання сучасних досягнень автоматики. Таким чином, пропонується варіант рульового приводу який забезпечує високу керованість транспортних засобів на всіх швидкісних режимах [17-20].

З цією метою було проаналізовано рух колісної машини вздовж базової лінії (рис. 2).

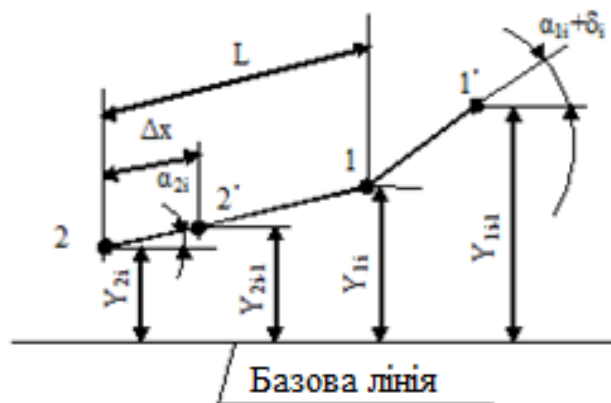


Рис. 2. Схема руху колісної машини вздовж базової лінії

Наведена схема переміщення колісної машини вздовж базової лінії дозволяє провести кінематичний аналіз становища елементів кузова, рами, керуючих і ведучих коліс, а також дає можливість розробити дискретну математичну модель адаптивного рульового керування.

Дискретна математична модель традиційного рульового керування в даному випадку має вигляд:

$$\begin{cases} \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W}; & \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ \alpha_{2i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{2i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{2i} \cdot \Delta x \end{cases} \quad (1)$$

де: V - швидкість руху МТА, м/с;

W - передавальне співвідношення рульового механізму;

Δt - крок квантування за часом (0,05 с);

δ - значення збурюючого кута уведення еластичних шин, рад.

Під час руху колісна машина відхиляється від заданої траєкторії в результаті впливу на нього зовнішніх факторів, що збурюють. Це призводить до того, що оператору постійно доводиться виконувати коригувальні дії рульовим колесом. При впровадженні адаптивної схеми рульового керування передавальне співвідношення розраховується наступним чином:

$$W_i = W \left(1 + \frac{V}{V_0} \right), \quad (2)$$

де: V_0 - рекомендована швидкість руху МТА при виконанні сільськогосподарських операцій (const), м/с.

З огляду на рівняння (2), систему (1) можливо записати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ W_i = W \left(1 + \frac{V_i}{V_0} \right); \\ \alpha_{1i} = \frac{\alpha_i}{W_i}; \\ \alpha_{2i} = \frac{(Y_{1i-1} - Y_2)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + (\alpha_{2i} + \alpha_{1i} + \delta_i) \cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + \alpha_{2i} \cdot \Delta x. \end{cases} \quad (3)$$

Структура кермового привода з таким апаратним забезпеченням дозволяє гнучко й ефективно управляти транспортним засобом з використанням різних алгоритмів керування.

Виконання експериментальних досліджень забезпечувалось розробленим гідрооб'ємним рульовим керуванням з постійною чутливістю, гідравлічна схема якого наведена на рисунку 3.

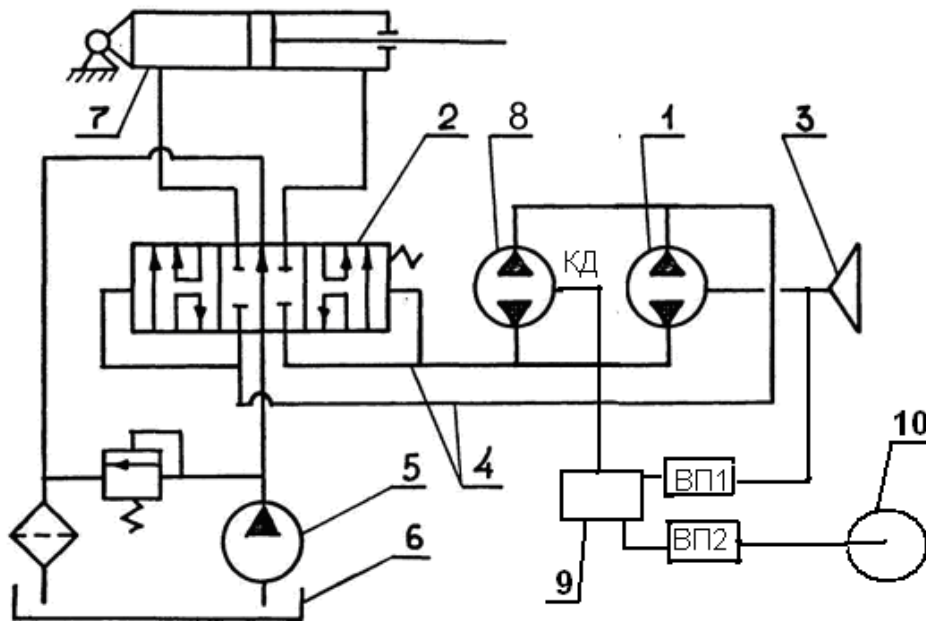


Рис. 3. Схема гідрооб'ємного рульового керування з постійною чутливістю

1 – основний насос-дозатор; 2 – гідравлічно-керований золотник; 3 – рульове колесо; 4 – гідравлічні канали основного та корегуючого насосів-дозаторів; 5 – живлючий насос; 6 – картер; 7 – гідроциліндр рульового механізму; 8 – корегуючий насос-дозатор із кроковим двигуном; 9 – сервопривод; 10 – керуюче колесо

Висновки. Аналіз роботи колісної машини свідчить про необхідність застосування рульового керування в якому передавальне співвідношення рульового механізму може змінюватися в залежності від умов роботи.

В результаті проведених досліджень стало зрозумілим, що необхідно визначати межі оптимальних режимів роботи і знаходити технологічні прийоми, що дозволяють значно підвищити продуктивність праці. У зв'язку з переходом до комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів стабільність сільськогосподарських процесів набуває першочергового значення.

Список використаних джерел:

1. Бондарь А. Н. Пути повышения качества отслеживания траектории мобильных машин. *Motrol. Commission of motorszation and energetycs in agriculture*. Lublin, 2015. Vol. 17, № 9. P. 3-8.
2. Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивец Г. І. Дослідження адаптивної роботи рульового управління транспортного засобу в швидкісному режимі. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції: матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (21-22 червня 2019 р.): у 2-х ч. / ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 203-204.*
3. Журавель Д. П., Бондар А. М. Обґрунтування показників експлуатаційної надійності енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 467-473.*
4. Журавель Д. П., Бондар А. М. Несправності рульового керування та їх наслідки. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 478-479.*
5. Журавель Д. П., Бондар А. М. Технологія ремонту рульових рейок. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 537-538.*
6. Данов Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей. Москва: Телеком, 2002. 224 с.
7. Цизь І. Є., Тарасюк В. В. Ремонт сільськогосподарських машин: конспект лекцій. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. 181 с.
8. Вахламов В. К. Автомобили. Конструкция и элементы расчета. Москва: Академия, 2006. 480 с.
9. Сідашенко О. І., Науменко О. А. Ремонт машин та обладнання: підручник. Київ: Агроосвіта, 2014. 665 с.
10. Черновол М. І., Власенко М. В., Наливайко В. М. Обладнання ремонтних підприємств. Київ: Урожай, 1996. 272 с.
11. Анализ и перспективы развития мехатронных систем управления торможением колеса / В. Г. Бутылин и др. *Мехатроника. Механика. Автоматика. Электроника. Информатика*. 2000. № 2. С. 33-38.
12. Buzzi B. F., Romero N. N., Martins D., de Souza Vieira R. Dimensional Synthesis of a Two-Axles Steering System. *Multibody Mechatronic Systems. MuSMe 2021. Mechanisms and Machine Science*. 2021. Vol. 94. P. 57-64. DOI: 10.1007/978-3-030-60372-4_7.

13. Rajeshkumar L., Bhuvaneswari V., Palanivel B. C., Sandeep Kumar S. Design and Optimization of Static Characteristics for a Steering System in an ATV / L. Rajeshkumar et al. 2020 *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 954. 012009.
14. Wang X.-C., Chen X., Ge Z.-J., Ma R. Position Control of Gas Rudder Steering Gear Based on Extended State Observer. 2020 *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*. 2020. Vol. 1, № 10. P. 2341-2347.
15. Xu B., Miao J. Design and Mechanical Characteristics of External Prestressed Reinforcement. Wuhan Ligong Daxue Xuebao (Jiaotong Kexue Yu Gongcheng Ban). 2020 *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*. 2020. Vol. 44, № 5. P. 881-885, 891.
16. Design of Automatic Steering System Based on Direct Connection of DC Motor and Full Hydraulic Steering Gear / Y. Yang et al. 2020 *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 51, № 8. P. 44-54, 61.
17. Bhalerao S., Paramane A., Chavan A. Design and Development of Steering System for Formula-Styled Vehicle. *Reliability and Risk Assessment in Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. P. 275-283. DOI: 443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-981-15-3746-2_25.
18. Tuan N. X., Dinh H. T., Van Bang N. Research on Dynamic Modelling for Hydraulic Power Automotive Steering Systems with Nonlinear Friction. *Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol. 104. P. 620-627. DOI: 443.webvpn.fjmu.edu.cn/10.1007/978-3-030-37497-6_71.
19. Muenster M., Lehner M., Rixen D. Requirement derivation of vehicle steering using mechanical four-poles. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 133. 106231. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.07.012.
20. Lee B. Development of hybrid power steering system for commercial vehicle. 2020 *SAE Technical Papers 2019-March*. URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-1415/> (дата звернення: 13.11.2020).

ПЕРСПЕКТИВНИЙ СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ КЕРОВАНOSTІ КОЛІСНИХ МАШИН

Журавель Д. П., Бондар А. М.

Анотація

У статті розглянуто перспективний спосіб контролю напрямком руху мобільних машин. Розглянуто найбільш перспективні рішення, які дозволяють отримувати адаптивне передавальне співвідношення рульового механізму в залежності від умов руху мобільної машини. Визначено, що основним експлуатаційним показником колісної машини є її маневреність. Розроблена кінематична схема, яка дає наочне уявлення про те, як розташовується острів машини. Розроблена дискретна математична модель адаптивного рульового управління колісної машини, яка дозволяє змінювати передавальне відношення рульового механізму в залежності від швидкості руху. Її аналіз показує, що ефективність роботи колісної машини зростає - збільшується технологічна швидкість роботи. При цьому агротехнічні вимоги знаходились в межах допустимих норм.

Ключові слова : маневреність, керованість, колісна машина, рульовий механізм, базова лінія, траєкторія руху, передаточне відношення, математична модель.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОСТИ КОЛЕСНЫХ МАШИН

Журавель Д. П., Бондарь А. Н.

Аннотация

В статье рассмотрен перспективный способ контроля направлением движения мобильных машин. Рассмотрены наиболее перспективные решения, которые позволяют получать адаптивное передаточное соотношение рулевого механизма в зависимости от условий движения мобильной машины. Определено, что основным эксплуатационным показателем колесной машины является её маневренность. Разработана кинематическая схема, которая дает наглядное представление о том, как располагается острив машины. Разработана дискретная математическая модель адаптивного рулевого управления колесной машины, которая позволяет изменять передаточное отношение рулевого механизма в зависимости от скорости движения. Её анализ показывает, что эффективность работы колесной машины растет - увеличивается технологическая скорость работы. При этом агротехнические требования находились в пределах допустимых норм.

Ключевые слова : маневренность, управляемость, колесная машина, рулевой механизм, базовая линия, траектория движения, передаточное отношение, математическая модель.

ADVANCED PERFORMANCE OF PERFORMANCE OF CEROVATION OF WHEEL MACHINES

D. Zhuravel, A. Bondar

Summary

The article discusses a promising way to control the direction of movement of mobile agricultural machines. The most promising solutions are considered that make it

possible to obtain an adaptive gear ratio of the steering mechanism depending on the conditions of movement of a mobile machine when performing agricultural operations. It has been determined that the main operational indicator of a wheeled vehicle is its maneuverability. The indicators of maneuverability are analyzed and its components are determined: controllability, understeer, fit. Moreover, each indicator consists of sublevels, which also affect the overall maneuverability of a wheeled vehicle. It was found that the maximum angle of rotation of the steering wheels does not exceed $40 \dots 55^\circ$, and the angle of rotation of the steering wheel in each direction is 1.5 ... 3.0 turns. As a result of the analysis of the movement of a wheeled vehicle along the "baseline", a kinematic diagram has been developed, which gives a visual representation of how the frame of the vehicle, steering and driving wheels are located. This analysis allowed the development of a discrete mathematical model of traditional wheel vehicle steering. However, such steering does not meet all the requirements for the quality of trajectory tracking at various speed modes. Therefore, a discrete mathematical model of adaptive steering of a wheeled vehicle was developed, which allows you to change the gear ratio of the steering mechanism depending on the speed of movement. Analysis of this mathematical model shows that the efficiency of the wheeled vehicle is growing. This became possible because it became possible to significantly increase the technological speed of the machine and at the same time maintain all agrotechnical requirements for the work performed.

Key words : maneuverability, controllability, wheeled vehicle, steering mechanism, base line, motion trajectory, gear ratio, mathematical model.