

Налобіна О.О., Голотюк М.В., Бундза О.З., Шимко А.В., Михайлов А.О.  
*Національний університет водного господарства та природокористування*

## ЗАДАЧА РУХУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО РОБОТА НА ПОВОРОТАХ

У сільськогосподарському виробництві зростає попит на машини та обладнання дія якого характеризується порівняно не великою енергоємністю та високою продуктивністю. Задовольнити попит сільськогосподарських виробників у таких технічних засобах можливо лише за рахунок запровадження інноваційних технічних розробок, зокрема роботів і робототехнічних комплексів, які сприяють заощадженню трудових ресурсів та підвищенню продуктивності виконання робіт, виконанню роботи у важкодоступних місцях.

Низькі темпи запровадження роботів у сільськогосподарське виробництво пояснюються недостатнім вивченням доцільності їхнього впровадження та ефективності використання робототехніки в порівнянні з традиційними технологіями ведення сільського господарства. Відсутні також теоретичні розробки з даної проблеми, методичні рекомендації щодо впровадження робототехніки. Крім того не налагоджено системної підготовки кадрів для обслуговування даного виду техніки. Тому на даний час є потреба у розробці теоретичних основ проектування і застосування робототехніки у сільськогосподарському виробництві, методик визначення доцільності впровадження даної техніки, оцінювання її ефективності.

У статті наголошено на важливості запровадження роботів і роботизованих комплексів у сільськогосподарському виробництві. Окреслено основні задачі, які ефективно можуть бути вирішені із запровадженням робототехніки.

Проаналізовано рух робота на гусеничному ході під час здійснення повороту. Отримано рівняння руху робота під час здійснення повороту, визначення швидкості центру мас робота, радіусу повороту.

В основу проведених авторами досліджень покладено праці вітчизняних і закордонних вчених з проблеми запровадження інновацій у сільському господарстві, зокрема роботів і робото технічних комплексів.

**Ключові слова:** сільське господарство, інновації, робот, рух, поворот.

### ВСТУП

Зростання чисельності населення, підвищення попиту на продукти харчування, зниження доступності робочої сили в сільському господарстві, зростання витрат на сільське господарство - все це стимулює масову автоматизацію промисловості в галузі сільського господарства.

Протягом останніх років світового розвитку сільськогосподарського виробництва, техніки для виконання технологічних операцій проблема роботизації набула важливого значення та стала однією з центральних ланок у нових концептуальних підходах до організації робіт як у галузі рослинництва, так й в тваринництві.

Під роботизацією сільськогосподарського виробництва, сільськогосподарської техніки та спеціальної техніки, що використовується для інтенсифікації технологічних процесів, будемо розуміти комплекс взаємопов'язаних техніко-технологічних, наукових, організаційно-економічних заходів, спрямованих на забезпечення:

- механізації та автоматизації робіт;
- зниження собівартості сільгоспвиробництва;
- моніторинг та прогнозування;
- покращення якісних показників виробництва;
- зниження екологічного навантаження сільгоспвиробництва;
- підвищення конкурентоспроможності середніх та дрібних сільськогосподарських виробників;
- підвищення безпеки виробництва.

Використання роботів дозволяє скоротити перевитрату матеріалів, а також збільшує врожайність за рахунок більш точної обробки землі.

Застосування робототехніки у сільському господарстві також сприяє вирішенню задачі покращення умов праці працівників, зменшення проявів травматизму та професійних захворювань особливо за умов виконання небезпечних, важких, монотонних робіт.

Під час збору врожаю час має вирішальне значення, оскільки деякі культури необхідно збирати швидко. Таким чином, виникає потреба в залученні великої кількості працівників за досить короткий період часу, що створює реальну проблему для підтримки зайнятості на постійній основі [1]. Це завдання намагаються вирішити компанії – розробники робототехніки.

Серед світових лідерів виробників роботів для сільськогосподарського виробництва французькі компанії Naïo Technologies і RobAgri, Boston Dynamics — американська інженерна компанія, Бельгійська компанія Ostinion.

Проте впровадження робототехніки в сільському виробництві утруднюється через відсутність теоретичних розробок, недостатньо глибоке обґрунтування переваг використання робототехніки в порівнянні з традиційними технологіями ведення сільського господарства, відсутність методик проектування, рекомендацій щодо впровадження.

З урахуванням зазначеного, розробка теоретичних основ проектування та застосування робототехніки у сільському господарстві є актуальною задачею, яка потребує вирішення.

#### **АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ**

Роботи, в основному, являють собою транспортну платформу, яка являє собою раму, що кріпиться на колесах з пневматичними шинами (рис. 1), або гусеницях з підресореними котками на якій розташовано засоби керування та робочі органи (рис. 2). Відомі також крокуючі роботи (рис. 3).



Рис. 1- Робот для прополювання бур'янів



Рис. 2 -Робот для збирання полуниці



Рис. 3- Робот компанії Boston Dynamics

Аналіз конструкцій роботів викладено у роботах [2, 3, 4, 5].

Зокрема Шанигіним С.В. [5] проведено огляд сільськогосподарських роботів, сформульовано принципи їхньої побудови. Автор обґрунтував необхідність проведення досліджень у галузі проектування пристроїв пересування сільськогосподарських роботів та маніпуляторів з урахуванням параметрів сільськогосподарських технологічних процесів.

Плаксін І.Є., Трифанов А.В., Плаксін С.І. [4] наводять класифікацію сільськогосподарських роботів і роботизованих комплексів. Наведена класифікація дозволяє системазувати чинні рішення щодо проектування роботів, обґрунтувати напрямки їхнього удосконалення.

Окремі дослідження, які пов'язані з запровадженням роботів в сільському господарстві, викладено у роботах Черненко А.Б., Чернікова Н.С., Багінського Н.А. [5]; Choi K. H., Han S. K., Park K., Kim K. and Kim S. [6]; Tillett, N. D., Hague, T., Grundy, A. C., & Dedousis, A. P. [7]; Павленка В. І. [8]. Дані дослідження створили потрібну базу для розробки нових методик розрахунку сільськогосподарських машин і роботів.

Разом із тим багато питань, які пов'язані з функціонуванням роботів не розроблено. Це пояснює вибір теми, цілі та задач нашого дослідження.

### ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Встановити основні фактори, які впливають на процес інтенсифікації запровадження роботів і роботизованих комплексів у сільськогосподарському виробництві та проаналізувати рух гусеничного робота за умови його повороту.

### РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

З метою поглибленого аналізу проблем запровадження роботів у сільськогосподарських господарствах виконаємо систематизацію факторів впливу на даний процес. Проведення систематизації дозволить окреслити напрямки проведення досліджень та підвищити ефективність використання роботів.

Фактори впливу можна об'єднати у три групи:

- економічні;
- організаційні;
- науко-практичні.

До першої групи можна віднести:

- високу вартість інноваційної техніки,
- обмеженість у фінансових засобах.

До другої:

- відсутність кваліфікованих кадрів для встановлення та обслуговування.

До третьої:

- відсутність теоретичних основ проектування роботів та розробки технологічних процесів із їхнім застосуванням.

В даний час для створення роботів використовують колісні, крокові та гусеничні рушії. Розглянемо робот із гусеничним рушієм, які мають перевагу до застосування на місцевостях із нестійкими ґрунтовими умовами та мають вищу прохідність.

Під час зміни напрямку руху (поворот) будемо мати нерівномірність розподілу навантажень на гусеницях мобільного робота. Одна з них буде більш навантаженою, навантаження на іншу зменшиться. Під час повороту виникає момент  $M_{II}$ , який протидіє й сприяє подоланню моменту опору повороту  $M_p$  (рис. 4).

На схемі, поданій на рис. 4, прикладаємо сили  $F_1$  і  $F_2$  відповідно до гусениць 1 та 2, де 1-забігаюча гусениця, а 2 – відстаюча в момент повороту. За таких умов буде виконуватись умова:  $\omega_{x_1} > \omega_{x_2}$ .

Центр мас робота- $O_1$  може співпадати з геометричним центром –  $S$ , але за рахунок несиметричного розташування закріпленого обладнання  $O_1$  зміщується відносно  $S$ . Величина зміщення позначена  $x_{O_1}$ . Центр і радіус повороту позначено  $O_{пов}$  та  $R$  відповідно.

Для здійснення повороту обидві гусениці повинні подолати опір. Позначимо силу опору ґрунту -  $F_{оп}$ .

Поворот розглядаємо як рух по горизонтальній поверхні у системі координат  $xOy$  (рис. 4). Переносна система координат позначена  $x_1O_1y_1$ , де  $O_1$  - центр мас роботу.

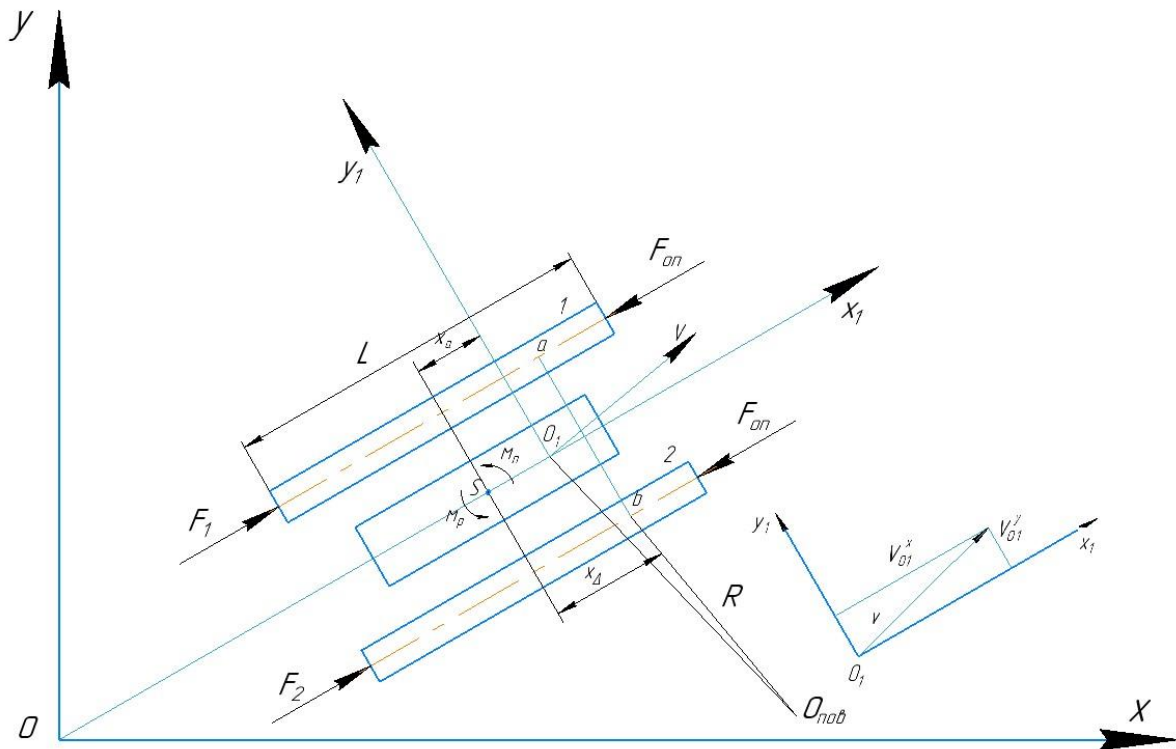


Рис. 4 - Схема до дослідження повороту.

Рух робота під час здійснення повороту можна описати наступними диференціальними рівняннями:

$$\begin{cases} m \frac{dv}{dt} = (F_1 + F_2) - F_{оп}; \\ I_z \frac{d\omega}{dt} = (F_1 - F_2) \cdot B + M_p, \end{cases} \quad (1)$$

де  $m$ -маса роботу;

$B$ - відстань між осями гусениць;

$\omega$ - кутова швидкість повороту, яку визначасмо як  $\frac{d\alpha}{dt}$ , тут  $\alpha$  – кутове переміщення;

$I_z$ - момент інерції відносно вертикальної осі;

Згідно [9] маємо

$$M_p = -M_n = \frac{\mu GL}{4}, \quad (2)$$

де  $\mu$ -коефіцієнт опору повороту.

Прийmemo, що довжина гусениці  $L$ , вага роботу  $G$ . З урахуванням цього система рівнянь (1) набуде вигляду

$$\begin{cases} m \frac{dV}{dt} = (F_1 + F_2) - f \cdot G; \\ I_z \frac{d\omega}{dt} \omega = (F_1 - F_2) \cdot B - \frac{\mu GL}{4}. \end{cases} \quad (3)$$

Розглянемо яким чином зв'язана кутова швидкість повороту з величиною радіусу повороту та швидкістю переміщення робота вздовж поверхні поля.

На рис. 4 швидкість переміщення  $V_{O_1}$ ; вектор якої прикладемо у центрі мас робота. Розкладемо швидкість на дві складові  $V_{O_1}^x$  і  $V_{O_1}^y$ . Вектори даних складових швидкостей направлені відповідно вздовж осей  $x_1$  та  $y_1$  (рис. 4).

Маємо:

$$\begin{cases} V_{O_1}^2(t) = [V_{O_1}^x(t)]^2 + [V_{O_1}^y(t)]^2; \\ V_{O_1}^x(t) = 0,5r_3[\omega_{x2}(1 - \delta_2) + \omega_{x1}(1 - \delta_1)]; \\ V_{O_1}^y(t) = -[x_\Delta - x_{O_1}]\omega, \end{cases} \quad (4)$$

де  $r_3$  – радіус ведучої зірочки або котка за умови використання еластичної гусениці;

$\omega_{x2}$  – миттєва кутова швидкість, прикладена до ведучої зірочки або котка (за умови використання еластичної гусениці) 2 (рис. 4);

$\omega_{x1}$  – миттєва кутова швидкість, прикладена до ведучої зірочки або котка (за умови використання еластичної гусениці) 1 (рис. 4);

$\omega$  кутова швидкість робота під час повороту, яка визначиться

$$\omega = \{\omega_{x1}(1 - \delta_1) - \omega_{x2}(1 - \delta_2)\} \quad (5)$$

тут  $\delta_1, \delta_2$  – коефіцієнти проковзування

Визначимо радіус повороту робота  $R$  навкруги точки  $O_{пов}$

$$R = \frac{V_{O_1}^x(t)}{\omega}, \quad (6)$$

Врахувавши друге рівняння системи (4) та рівняння (5), маємо

$$R = \frac{0,5r_3[\omega_{x2}(1 - \delta_2) + \omega_{x1}(1 - \delta_1)]}{\{\omega_{x1}(1 - \delta_1) - \omega_{x2}(1 - \delta_2)\}}. \quad (7)$$

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Отримані залежності, дозволяють проаналізувати рух робота на повороті, які можна використати для розрахунку характеристик роботу з гусеничною ходовою системою.

Встановлено, що запровадження інноваційної робототехніки у сільському господарстві потребує не лише створення науково-практичних основ її розроблення, а й запровадження наступних заходів:

- аналіз відомих моделей сільськогосподарських роботів із метою порівняння ефективності їхнього застосування в господарствах України та формування банку пропозицій аграріям;
- прогнозування об'ємів інвестицій на запровадження роботів;
- організація навчання кадрів для обслуговування даного виду техніки;
- розробка і запровадження державної програми надання субсидій на розробку вітчизняних моделей та закупівлю роботів.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1.Агроном. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.agronom.com.ua/roboty-v-silskomu-gospodarstvi-shho-nas-chekaye-u-majbutnomu/>.
- 2.Ларкин Е.В. Моделирование измерительно-информационной системы, имитирующей управление движением наземного объекта./ Е.В. Ларкин, А.В. Пушкин// Известия ТулГУ. Сер. Вычислительная техника. Информационные технологии. Системы управления. – 2004. - т. 1 (3). - Вычислительная техника. - С. 117–123.
- 3.Бурдаков С.Ф. Системы управления движением колесных роботов. / С.Ф. Бурдаков, Р.Э. Стельмаков, И.В. Мирошкин - Санкт Петербург: Наука, 2001. - 227 с.
- 4.Плаксин И.Е. Анализ применения автоматизированных роботизированных комплексов в сельском хозяйстве./ И.Е. Плаксин, А.В. Трифанов., С.И. Плаксин//АгроЭкоИнженерия, 2018. № 4(97). С. 73-82.
- 5.Шаныгин С.В. Роботы, как средство механизации сельского хозяйства//Известия вузов. Машиностроение, 2013. № 3. С. 39-42.
- 6.Choi K. H., Han S. K., Park K., Kim K. and Kim S., *Vision based guidance line extraction for autonomous weed control robot in paddy field*, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2015, pp. 831-836, doi: 10.1109/ROBIO.2015.7418873.
- 7.Tillett, N. D., Hague, T., Grundy, A. C., & Dedousis, A. P. (2008). *Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision*. Biosystems Engineering, 99(2), 171-178. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.09.026
- 8.Павленко В. І. Дистанційний модуль управління мобільним роботом сільськогосподарського призначення КП З. Розроблення інтелектуальної складової мобільного робота сільськогосподарського призначення : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / В. І. Павленко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки – Харків, 2021 – 81 с.

## REFERENCES

- 1.Agronomist. [Electronic resource]. – Available at: <https://www.agronom.com.ua/roboty-v-silskomu-gospodarstvi-shho-nas-chekaye-u-majbutnomu/>.
- 2.Larkin E.V. *Modeling of a measuring and information system that simulates the motion control of a ground object*. / E.V. Larkin, A.V. Pushkin // News of TulGU. Ser. Computer Engineering. Information Technology. Control systems. - 2004. - v. 1 (3). -Computer Engineering. - P. 117–123. (Rus.).
- 3.Burdakov S.F. *Motion control systems for wheeled robots*. / S.F. Burdakov, R.E. Stelmakov, I.V. Miroshkin - St. Petersburg: Nauka, 2001. - 227 p. (Rus.).
- 4.Plaksin I.E. *Analysis of the use of automated robotic complexes in agriculture*. / I.E. Plaksin, A.V. Trifanov., S.I. Plaksin//AgroEcoEngineering, 2018. No. 4(97). pp. 73-82. (Rus.).
- 5.Shanygin S.V. *Robots as a means of agricultural mechanization*//Izvestiya vuzov. Mashinostroenie, 2013. No. 3. P. 39-42. (Rus.).
- 6.Choi K. H., Han S. K., Park K., Kim K. and Kim S., *Vision based guidance line extraction for autonomous weed control robot in paddy field*, 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), 2015, pp. 831-836, doi: 10.1109/ROBIO.2015.7418873.
- 7.Tillett, N. D., Hague, T., Grundy, A. C., & Dedousis, A. P. (2008). *Mechanical within-row weed control for transplanted crops using computer vision*. Biosystems Engineering, 99(2), 171-178. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.09.026
- 8.Pavlenko V. I. Pavlenko; Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv. nat. University of Radioelectronics - Kharkiv, 2021 - 81 p. (Ukr.).

### **O. Nalobina, M. Holotyiuk, O. Bundza, A. Shymko, A. Mikhailov . The task of an agricultural robot during the passing of turns.**

In agricultural production, there is a growing demand for machines and equipment which operation is characterized by relatively low energy consumption and high productivity. The demand of agricultural producers for such technical means can be met through the introduction of innovative technical developments, in particular, robots and robotic complexes. They contribute to saving labor resources, increasing the productivity of work and performing work in hard-to-reach places.

The low rate of introduction of robots in agricultural production is explained by the insufficient study of the feasibility of their implementation and the effectiveness of using robotics in comparison with

traditional agricultural technologies. There are also no theoretical developments on this problem or methodical recommendations for the introduction of robotics. In addition, systematic training of personnel for maintenance of this type of equipment has not been established. Therefore, there is a need to develop the theoretical foundations of designing and using robotics in agricultural production. It is also worth developing methods for determining the expediency of implementing this equipment and evaluating its effectiveness.

The article emphasizes the importance of introducing robots and robotic complexes in agricultural production. There were outlined the main tasks that can be effectively solved with the introduction of robotics.

It was analyzed the movement of the robot on the crawler tracks during the passing of turns. It was received the equation of motion of the robot passing turns, the determination of the speed of the center of mass of the robot and the turning radius. The works of domestic and foreign scientists on the problem of introducing innovations in agriculture, particularly, robots and robotic complexes, are the basis of the research carried out by the authors.

**Key words:** agriculture, innovation, robot, movement, turn.

*НАЛОБИНА Олена Олександрівна*, доктор технічних наук, професор кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [o.o.nalobina@nuwm.edu.ua](mailto:o.o.nalobina@nuwm.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-1661-7331>.

*ГОЛОТЮК Микола Віталійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua](mailto:m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3661-4437>.

*БУНДЗА Олег Зіновійович*, кандидат технічних наук, доцент кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [o.z.bundza@nuwm.edu.ua](mailto:o.z.bundza@nuwm.edu.ua) , <https://orcid.org/0000-0003-3770-0273>.

*ШИМКО Андрій Володимирович*, кандидат технічних наук, ст.. викл. кафедри будівельних, дорожніх, меліоративних, сільськогосподарських машин і обладнання, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [a.v.shymko@nuwm.edu.ua](mailto:a.v.shymko@nuwm.edu.ua) , <https://orcid.org/0000-0002-2525-2787>.

*МИХАЙЛОВ Артем Олександрович*, аспірант, Національний університет водного господарства та природокористування, e-mail: [mykhailov\\_m16@nuwm.edu.ua](mailto:mykhailov_m16@nuwm.edu.ua) .

*Olena NALOBINA*, Doctor of Technical Sciences, Professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department, National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: [o.o.nalobina@nuwm.edu.ua](mailto:o.o.nalobina@nuwm.edu.ua) , <https://orcid.org/0000-0003-1661-7331>.

*Mykola HOLOTIUK*, PhD in Engineering, associate professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: [m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua](mailto:m.v.holotiuk@nuwm.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3661-4437>.

*Oleh BUNDZA*, PhD in Eng., associate professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department, National University of Water and Environmental Engineering, email: [o.z.bundza@nuwm.edu.ua](mailto:o.z.bundza@nuwm.edu.ua), <https://orcid.org/0000-0003-3770-0273>.

*Andrii SHYMKO*, PhD in Engineering, associate professor of Building, Road, Reclamation, Agricultural Machinery and Equipment department National University of Water and Environmental Engineering, e-mail: <https://orcid.org/0000-0002-2525-2787> .

*Artem MIKHAILOV*, graduate student, National University of Water and Environmental Engineering, email: [mykhailov\\_m16@nuwm.edu.ua](mailto:mykhailov_m16@nuwm.edu.ua) .

DOI 10.36910/automash.v2i19.912