

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/article\_5ce292ca6fa530.67486694

<sup>1</sup>Круглова Т.Н., <sup>1,\*</sup>Власов А.С.<sup>1</sup>Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова  
Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132

\*E-mail: sasha-vlasov-1993@mail.ru

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛНОПРИВОДНЫМ ЧЕТЫРЕХКОЛЕСНЫМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ

**Аннотация.** Современной тенденцией развития сельского хозяйства является его повсеместная роботизация. В настоящее время активно внедряются различные конструкции роботов, призванные заменить человека при выполнении различных задач. Большинство из этих роботов представляют собой колесную мобильную платформу, для которой необходимо обеспечить высокую маневренность и точность управления. Решить эту задачу можно с помощью разработки оптимальных высокоточных алгоритмов управления, для исследования которых целесообразно использовать математическую модель мобильно сельскохозяйственного робота. В данной статье приведены результаты моделирования движения четырехколесного полноприводного мобильного робота с дифференциальным приводом, который перемещается по полю прямоугольной формы по траектории «змейка», которая является оптимальной по быстродействию.

**Ключевые слова:** сельскохозяйственный мобильный робот, дифференциальный привод, математическое моделирование, алгоритмы управления.

**Введение.** В настоящее время мобильные роботы нашли широкое применение в различных областях человеческой жизни. Наиболее часто применяются трех [1–3] и четырех колесные роботы, имеющие различные типы приводов колес. Наиболее универсальными и применимыми для нужд сельского хозяйства являются роботы с дифференциальным приводом. Известно достаточное количество научных работ, рассматривающих вопросы управления такими роботами с контролем угла поворота [4,5], но без конкретного заданного маршрута, что весьма актуально при проектировании адаптивных роботизированных систем в сельском хозяйстве. Разработка высокоточных алгоритмов планирования маршрута и управления мобильным роботом позволит обеспечить максимальную производительность сельскохозяйственной техники, а также минимизировать потребление энергоресурсов.

Также существуют разработки математических моделей для формирования траектории и планирования пути [6], где определение местоположения мобильного робота играет важную роль в обеспечении быстрого и плавного отслеживания перемещений. Для достижения поставленной цели целесообразно использовать специализированный контроллер, основанный на методах обратного шага и подхода Ляпунова [7]. Для разработки высокоточной мехатронной системы [8] с оптимизацией производительности целесообразно выполнить разработку и исследование

имитационной модели планирования и формирования траектории перемещения мобильного робота. В данной статье представлены результаты по разработке алгоритма управления в составе полноприводного мобильного робота с дифференциальным приводом. Предложенная модель может быть модифицирована для включения любой другой стратегии управления или кинематики.

**Методика.** Рассмотрим кинематическую модель четырехколесного полноприводного робота (рис. 1) нашедшего наиболее широкое применение для нужд сельского хозяйства. Такой робот использует все четыре колеса для движения:

- $V_L$  – левое переднее колесо, линейная скорость которого обозначена как  $V_{BL}$ ;
- $V_R$  – правое переднее колесо, линейная скорость которого обозначена как  $V_{BR}$ ;
- $A_L$  – левое заднее колесо, линейная скорость которого обозначена как  $V_{AL}$ ;
- $A_R$  – правое заднее колесо, линейная скорость которого обозначена как  $V_{AR}$ .

Так как мобильный робот оснащен дифференциальным приводом, контроль маневрированием устройства осуществляется путем увеличения или уменьшения скорости на одном из двигателей [9]. Следовательно, для четырехколесного мобильного робота, в отличие от трехколесного, линейная скорость левого (1) и правого привода (2) будет выглядеть:

$$V_L = \frac{V_{BL} + V_{AL}}{2} \quad (1)$$

$$V_R = \frac{V_{BR} + V_{AR}}{2} \quad (2)$$

Таким образом управление будет осуществляться, используя полный привод мобильного робота. Теперь рассмотрим алгоритм управления данным устройством, который движется по траектории «змейка» (рис. 2).

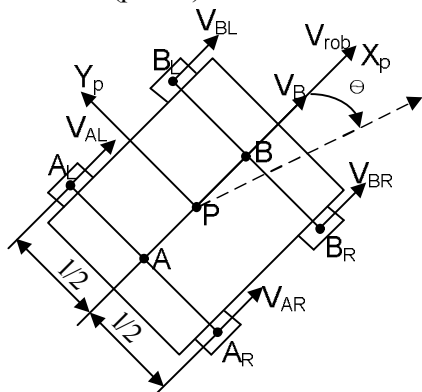


Рис. 1. Кинематическая схема полноприводного четырехколесного мобильного робота

Разработка алгоритма проводилась с учетом вышеизложенного метода управления и кинематики мобильного робота. На рис. 2 представлена блок-схема алгоритма для одного цикла движения по траектории типа «змейка». Когда мобильный робот находится в начальном положении рабочей области, начинается движение вперед с заданной скоростью с условием что  $V_L = V_R$ . Затем после достижения правой границы поля следует развернуть устройство на угол равный 180 градусов (левый поворот) относительно положения при прямолинейном движении и на расстояние равное ширине робота. Когда заданный угол достигнут, необходимо продолжать прямолинейное движение до левой границы поля, где мобильный робот должен совершить правый поворот тем самым угол поворота должен принять значение 0 градусов, приняв исходное положение, но с координатой Y равной  $2 * L$ . Затем следует произвести прямолинейное движение до правой границы поля для расчета ошибки позиционирования мобильного робота и степени отклонения угла поворота от заданного курса.

Управление роботом осуществляется с помощью контроля скорости колес [10] (рис.1), приводящихся в движение двигателями постоянного тока с независимым возбуждением, математическая модель которых имеет следующий вид (3):

$$\begin{cases} \frac{dI_{я}}{dt} = \frac{U - c \cdot \omega_d - I_{я} \cdot R}{L} \\ \frac{d\omega_d}{dt} = \frac{c \cdot I_{я} - M_c}{J} \end{cases} \quad (3)$$

где  $U$  – напряжение на двигателе;  $c$  – электромеханическая постоянная двигателя;  $I_{я}$  – ток якоря;  $R$  – сопротивление обмотки якоря;  $J$  – момент инерции двигателя;  $M_c$  – момент статической нагрузки на двигатель;  $\omega_d$  – угловая скорость двигателя.

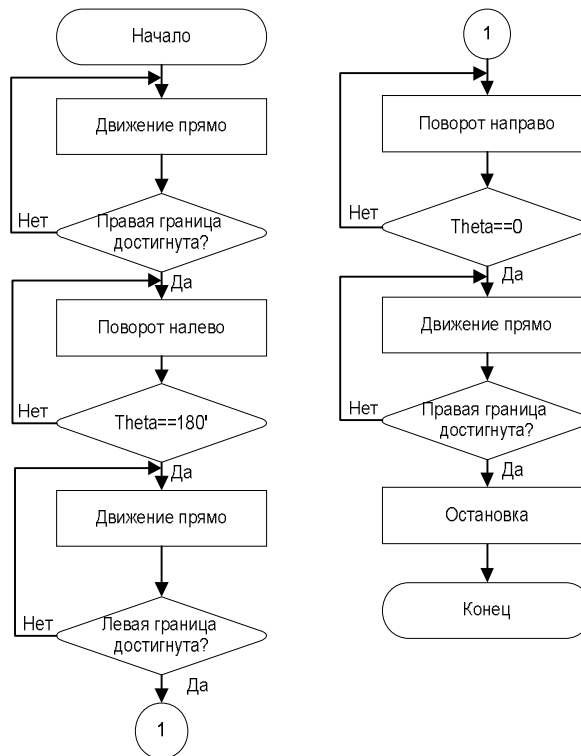


Рис. 2. Блок-схема алгоритма для движения по траектории «змейка»

Тогда математическая модель левого дифференциального привода [11] может быть записана согласно (4):

$$\begin{cases} \frac{dI_{яBL}}{dt} = \frac{U_1 - c \cdot \omega_{BL} - I_{яBL} \cdot R}{L} \\ \frac{d\omega_{BL}}{dt} = \frac{c \cdot I_{яBL} - M_c}{J} \\ \frac{dI_{яAL}}{dt} = \frac{U_2 - c \cdot \omega_{AL} - I_{яAL} \cdot R}{L} \\ \frac{d\omega_{AL}}{dt} = \frac{c \cdot I_{яAL} - M_c}{J} \\ V_L = \frac{\omega_{BL} \cdot r + \omega_{AL} \cdot r}{2} \end{cases} \quad (4)$$

где  $\omega_{BL}, \omega_{AL}$  – угловая скорость левого переднего и заднего колеса соответственно;  $I_{яBL}, I_{яAL}$  – ток якоря левого переднего и заднего двигателя соответственно. Для правого привода система дифференциальных уравнений будет выглядеть аналогично.

Кинематическая модель мобильного робота [12] имеет следующий вид (5):

$$\begin{cases} \frac{dX_p}{dt} = \left(\frac{V_L + V_R}{2}\right) \sin(\theta) + x_0 \\ \frac{dY_p}{dt} = \left(\frac{V_L + V_R}{2}\right) \cos(\theta) + y_0 \\ \frac{d\theta_{rob}}{dt} = \left(\frac{V_R - V_L}{L}\right) + \theta_0 \end{cases} \quad (5)$$

где  $X_p$  – координата X;  $Y_p$  – координата Y;  $V_{BR}, V_{BL}$  – линейные скорости правого и левого привода мобильного робота;  $L$  – ширина мобильного робота;  $\theta$  – угол поворота мобильного робота;  $[x_0, y_0]$  – начальные координаты, которые равны  $[0,0]$ .

Объединив системы дифференциальных уравнений 4 и 5, получим математическую модель вида (6):

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{dI_{яBL}}{dt} &= \frac{U_1 - c \cdot w_{BL} - I_{яBL} \cdot R}{L} \\
 \frac{dw_{BL}}{dt} &= \frac{c \cdot I_{яBL} - M_c}{J} \\
 \frac{dI_{яAL}}{dt} &= \frac{U_2 - c \cdot w_{AL} - I_{яAL} \cdot R}{L} \\
 \frac{dw_{AL}}{dt} &= \frac{c \cdot I_{яAL} - M_c}{J} \\
 V_L &= \frac{w_{BL} \cdot r + w_{AL} \cdot r}{2} \\
 \frac{dI_{яBR}}{dt} &= \frac{U_1 - c \cdot w_{BR} - I_{яBR} \cdot R}{L} \\
 \frac{dw_{BR}}{dt} &= \frac{c \cdot I_{яBR} - M_c}{J} \\
 \frac{dI_{яAR}}{dt} &= \frac{U_2 - c \cdot w_{AR} - I_{яAR} \cdot R}{L} \\
 \frac{dw_{AR}}{dt} &= \frac{c \cdot I_{яAR} - M_c}{J} \\
 V_R &= \frac{w_{BR} \cdot r + w_{AR} \cdot r}{2} \\
 \frac{dX_p}{dt} &= \left( \frac{V_L + V_R}{2} \right) \sin(\theta) + x_0 \\
 \frac{dY_p}{dt} &= \left( \frac{V_L + V_R}{2} \right) \cos(\theta) + y_0 \\
 \frac{d\theta_{rob}}{dt} &= \left( \frac{V_R - V_L}{L} \right) + \theta_0
 \end{aligned} \right. \quad (6)$$

где  $I_{BR}$  и  $I_{AR}$  – ток правого переднего и заднего двигателя соответственно,  $w_{BR}$  и  $w_{AR}$  – угловая скорость правого переднего и заднего привода соответственно,  $L$  – ширина робота.

**Проведение исследований на разработанной модели.** Для исследования данной модели, разработана имитационная модель полноприводного мобильного робота с дифференциальным приводом в пакете Simulink Matlab [13–15] (рис. 3), которая состоит из следующих блоков:

1) *Algorithm* – блок, в котором реализуется управление мобильным роботом по траектории

змейка с учетом текущего положения и угла поворота по обратной связи, где вход  $L$  это ширина робота;

2) *Motors\_control* – блок, реализующий управление приводами, подробное описание которого показано на рис. 4;

3) *Kin\_and\_Din\_MR* – блок, в котором производится расчет нагрузки и данных о положении в пространстве мобильного робота, и по обратной связи передает эти данные в блок *Algorithm*.

Блок *Motors\_control* реализует управление четырьмя приводами по принципу дифференциала как показано на рис. 1, таким образом, следует, что:

1) *Drive\_1* и *Drive\_3* – блоки, реализующие двигатели постоянного тока с независимым возбуждением и ПИД регулятором для левого привода;

2) *Drive\_2* и *Drive\_4* – блоки, реализующие двигатели постоянного тока с независимым возбуждением и ПИД регулятором для правого привода.

А также блоков 1, 2, 3 и 4, которые переводят линейную скорость в угловую, и блоки *LLL* и *RRR* отвечают за установку скорости для дифференциального привода на левую и правую часть соответственно.

Моделирование данной системы напрямую зависит от блока *Algorithm*, который генерирует диаграмму-задатчик для дифференциального привода, она представлена на рисунке 5. Диаграмма-задатчик формирует сигнал для установки требуемой скорости согласно алгоритму.

Результатами моделирования являются данные об изменении линейной и угловой скоростях (рис. 4), а также изменение нагрузки, которое свидетельствует о изменении скорости на приводах робота. На рис. 7 приведена полученная траектория движения мобильного робота с дифференциальным приводом, который осуществляет поворот на месте, поэтому важным параметром является ширина робота, которая в данном случае была равна 10 см.

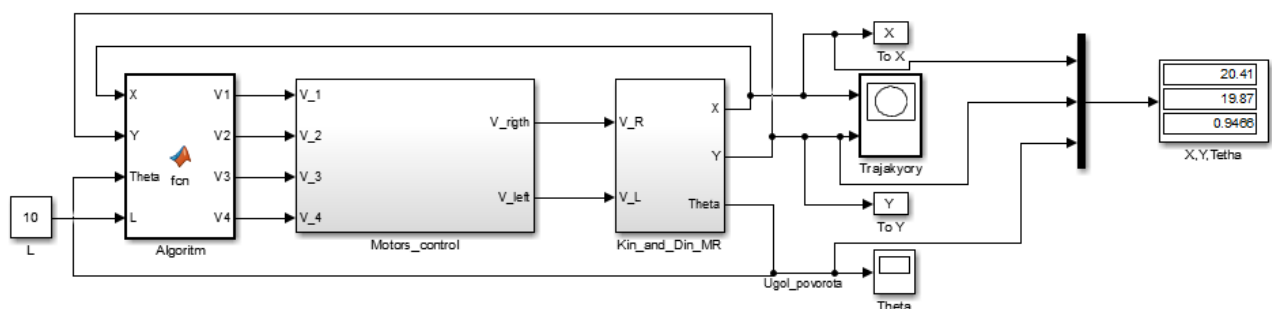


Рис. 3. Математическая модель мобильного робота с расчетом его координат

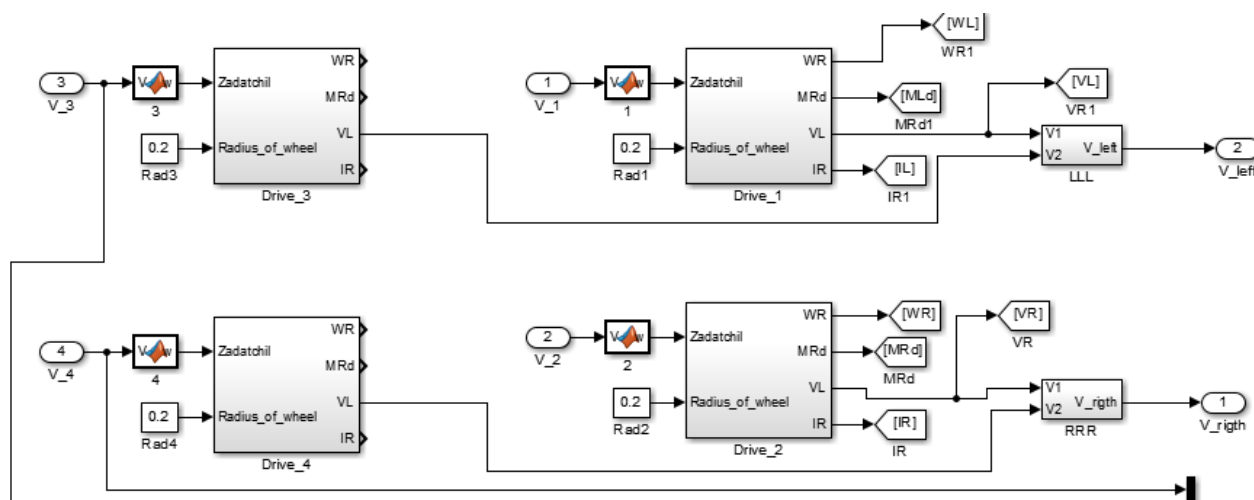


Рис. 4. Содержание блока Motors\_control

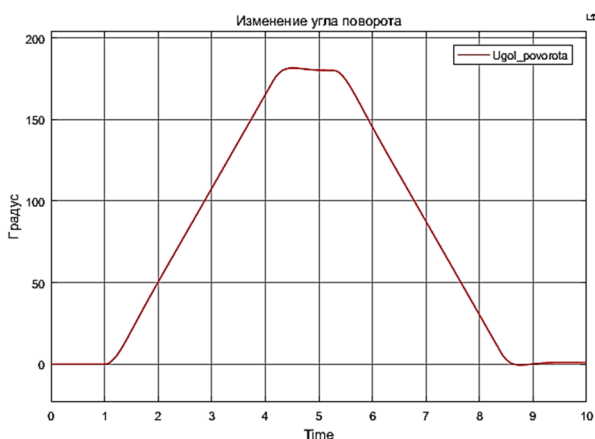


Рис. 5. Изменение угла поворота мобильного робота

Из графика на рисунке 5 следует, что было совершено два поворота и возврат к значению угла поворота как в исходном состоянии.

На графике (рис.6) показаны основные параметры модели, изменяющиеся во времени:

- 1) Диаграмма задатчик это сигнал, использующийся для установки необходимой скорости движения;
- 2) Изменение линейной скорости правого и левого привода;
- 3) Изменение момента нагрузки на двигателя;
- 4) Изменение тока двигателей.

Теперь рассмотрим результаты моделирования более подробно. В момент времени от 0 до 1 секунды мобильный робот движется со скоростью 20 см/с, таким образом за одну секунду было пройдено 20 см, что видно на рисунке 7. Также в течении движения будет изменятся ток и момент нагрузки двигателей мобильного робота при изменении скорости. В момент времени от 1 до 4.14 секунд происходит поворот налево, что видно по изменению скорости на правом и левом приводе и углу поворота на рисунке 5. Таким образом поворот завершится, когда угол будет ра-

вен 180 градусов относительно положения мобильного робота перед поворотом. Далее после достижения необходимого угла происходит движение вперед в момент времени от 4.14 до 5.26 секунд со скоростью 20 см/с. С 5.26 до 8.35 мобильный робот поворачивает направо, пока угол поворота не будет равен нулю, затем с 8.35 до 9.5 происходит прямолинейное движение, пока не будет достигнута правая граница поля, после этого мобильному роботу дана команда остановиться.

На рисунке 7 представлен результат работы данного алгоритма. Траектория мобильного робота прошла из начальной точки с координатой [0;0] в точку [20.41;19.87], это видно из рисунка 3 на блоке X,Y,Tetha. Так как по заданному алгоритму предполагалось достичь координаты [20;20], ошибка позиционирования составляет по оси X равной 0.41 см, а по оси Y 0.13 см, что не превышает допустимой погрешности в 5 % для систем автоматического управления.

Таким образом, алгоритм реализован в точности с концепцией его разработки. В результате моделирования траектории типа змейка мобильный робот сбился с курса на 0.95 градуса, что допустимо для выбранного размера робота.

Изучив результаты данного эксперимента можно сказать, что данный алгоритм, при его дальнейшей модификации, можно использовать для различного размера как и самого робота, так и для поля прямоугольной формы.

**Выводы.** Разработана математическая модель полноприводного четырехколесного сельскохозяйственного мобильного робота с дифференциальным приводом, позволяющая с высокой степенью точности управлять движением мобильного робота по траектории «змейка», а также в процессе работы данного устройства контролировать координаты и угол поворота по обратной связи.

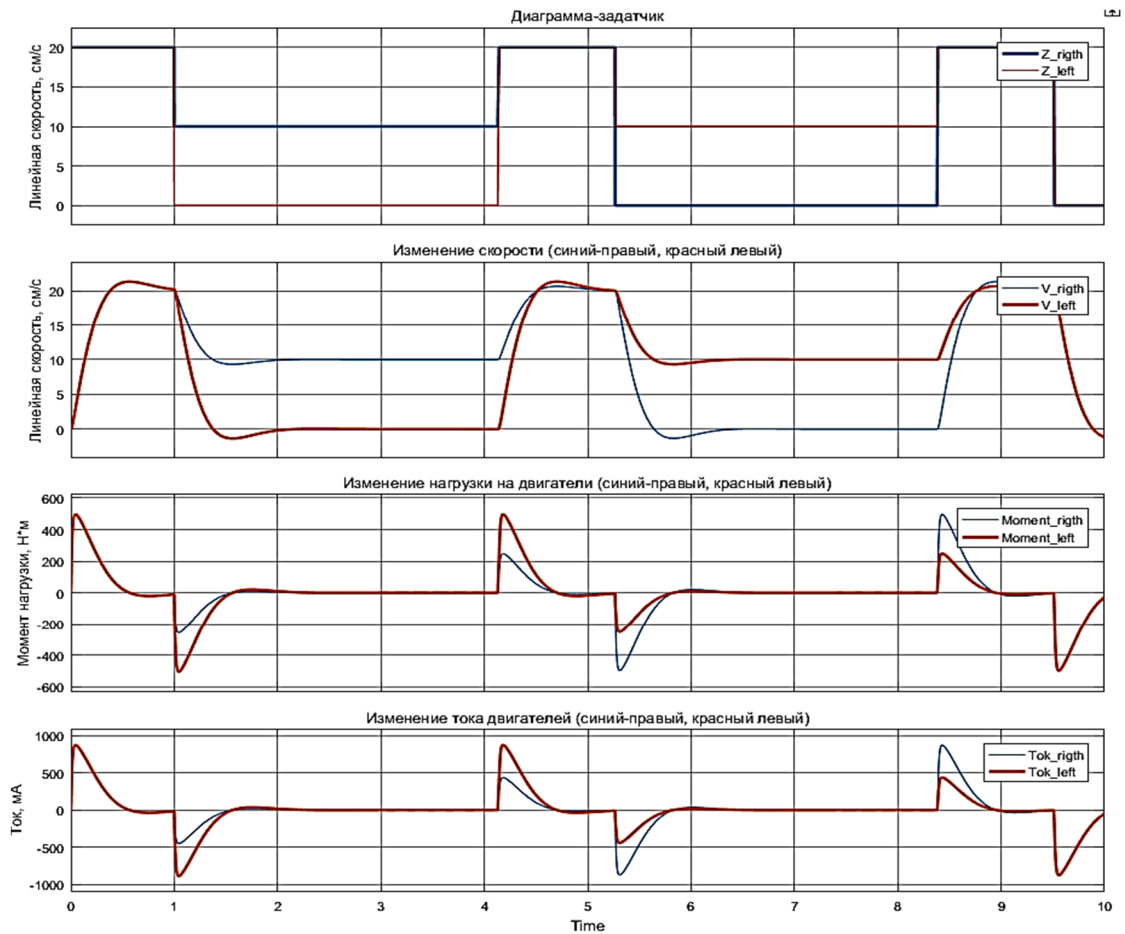


Рис. 6. Изменение основных параметров мобильного робота при прохождении заданной траектории (красная линия – правый двигатель, синяя линия – левый двигатель)

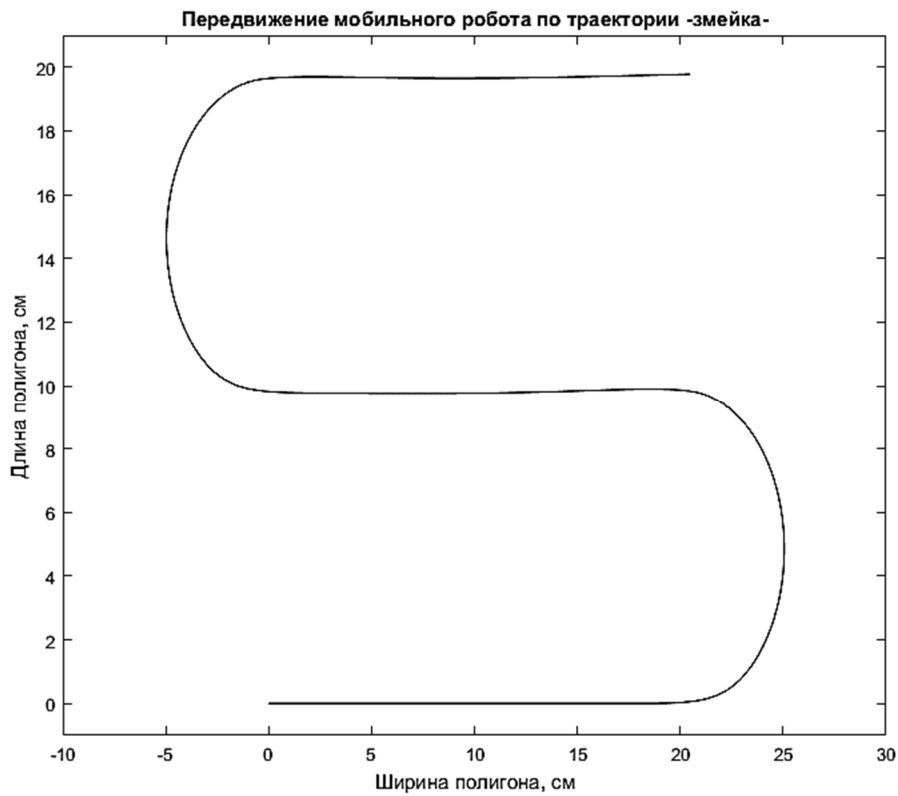


Рис. 7. Траектория мобильного робота, реализованная с помощью блока Algorithm

**Источник финансирования.** Конкурс УМ-НИК 17-12 (б), Автонет - 2017 (код 0040407).

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Круглова Т.Н., Шошиашвили М.Э., Власов А.С. Динамическая модель трехколесного робота с роликонеэсущими колесами // Результаты исследований - 2017: материалы III Национальной конф. профессорско-преподавательского состава и науч. работников ЮРГПУ(НПИ) / Юж.-Рос. гос. политехи, ун-т (НПИ) им. М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2017. С. 92–94.

2. Круглова Т.Н., Власов А.С. Управление направленным движением роботизированного трактора // В мире науки и инноваций: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 25 декабря 2016 г., г. Пермь: в 8 ч./ Науч.-издат. центр Аэтерна. Уфа: Аэтерна, 2016. Ч. 8. С. 76–78.

3. Круглова Т.Н., Власов А.С. Математическая модель для расчета угла поворота при управлении беспилотным трактором / В мире науки и инноваций: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф., 25 декабря 2016 г., г. Пермь: в 8 ч./ Науч.-издат. центр Аэтерна. Уфа: Аэтерна, 2016. Ч. 8. С. 73–76.

4. Farhan A. Salem Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots // International Journal of Current Engineering and Technology. Vol. 3. No. 2. Pp. 253–263.

5. Dušek F., Honc D., Rozsival P.: Mathematical Model of Differentially Steered Mobile Robot // Editors: Fikar M., Kvasnica M. In Proceedings of the 18th International Conference on Process Control. Tatranská Lomnica. Slovakia. 2011. Pp. 221–229.

6. Albagul A. & Wahyudi Dynamic Modelling and Adaptive Traction Control for Mobile Robots // International Journal of Advanced Robotic Systems. 2004. Vol. 1. No 3. Pp. 149–154.

7. Limin Du. Double closed loop controller of wheeled mobile robot for trajectory tracking based on back-stepping and Lyapunov method. 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017). Pp. 1376–1382.

8. Ahmad A. Mahfouz Modeling, Simulation and Dynamics Analysis Issues of Electric Motor, for Mechatronics Applications, Using Different Approaches and Verification by MATLAB/Simulink. I.J. Intelligent Systems and Applications. 2013. 05. 39–57.

9. Cherry Myint, Nu Nu Win. Position and Velocity control for Two-Wheel Differential Drive Mobile Robot // International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR). Vol. 5. Issue 9. September, 2016. Pp. 2849–2855.

10. Noga S. Kinematics and dynamics of some selected two-wheeled mobile robots // Archives of civil and mechanical engineering. Vol. VI. No.3.

11. Sandeep Kumar Malu, Jharna Majumdar. Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot // Global Journal of Researches in Engineering: HRobotics & Nano-Tech Vol. 14. Issue 1. Version 1.0. Year 2014. Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal Publisher: Global Journals Inc. (USA) Online ISSN: 2249-4596 & Print ISSN: 0975-5861.

12. Yuankai Li, Liang Ding, Guangjun Liu. Attitude-based dynamic and kinematic models for wheels of mobile robot on deformable slope // Robotics and Autonomous Systems. 2016. Vol. 75. Pp. 161–175.

13. Farhan A. Salem. Refined models and control solutions for mechatronics design of mobile robotic platforms // Estonian Journal of Engineering. 2013. 19, 3. Pp. 212–238. doi: 10.3176/eng.2013.3.04.

14. Farhan A. Salem. Mechatronics motion control design of electric machines for desired deadbeat response specifications, supported and verified by new matlab built-in function and simulink model // European Scientific Journal. December, 2013 edition. Vol. 9. No. 36.

15. Farhan A. Salem. Mechatronics design of motion systems; modeling, control and verification // International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering. IJMME-IJENS Vol. 13 No:02.

#### Информация об авторах

**Круглова Татьяна Николаевна**, кандидат технических наук, доцент кафедры мехатроники и гидропневмоавтоматики. E-mail: tatyana.kruglova.02@mail.ru. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

**Власов Александр Сергеевич**, аспирант кафедры мехатроники и гидропневмоавтоматики. E-mail: sasha-vlasov-1993@mail.ru. Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова. Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132.

Поступила в марте 2019 г.

© Круглова Т.Н., Власов А.С., 2019

<sup>1</sup>**Kruglova T.N.**, <sup>1,\*</sup>**Vlasov A.S.**

<sup>1</sup>Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI),  
Russia, 346428, Rostov region, Novocherkassk, str. Prosveshenia, 132

\*E-mail: sasha-vlasov-1993@mail.ru

## MODELING OF THE MANAGEMENT SYSTEM OF A FULL-DRIVE FOUR-WHEEL AGRICULTURAL MOBILE ROBOT

**Abstract.** Widespread robotization is a modern trend in the development of agriculture. Currently, various designs of robots are being actively implemented. They are aimed to replace a human when performing various tasks. Most of these robots are wheeled mobile platform, for which it is necessary to ensure high maneuverability and accuracy of control. This problem can be solved by developing optimal high-precision control algorithms, for the study of which it is advisable to use a mathematical model of a mobile agricultural robot. This article presents the results of modeling the movement of a four-wheel mobile robot with a differential drive that moves across a rectangular field along a "snake state" trajectory that is optimal by speed.

**Keywords:** agricultural mobile robot, differential drive, mathematical modeling, control algorithms.

### REFERENCES

1. Kruglova T.N. Shoshiashvili M.E. Vlasov A.S. Dynamic model of a three-wheeled robot with roller-bearing wheels [*Dinamicheskaya model' trekhkolesnogo robota s rolikonesushchimi kolesami*]. Rezul'taty issledovaniy – 2017: materialy III Nacional'noj konf. professorsko-prepodavatel'skogo sostava i nauch. rabotnikov YURGPU(NPI). Yuzh.-Ros. gos. politekhi, un-t (NPI)im. M.I. Platova. Novocherkassk: YURGTU (NPI). 2017. Pp. 92–94. (rus).
2. Kruglova T.N. Vlasov A.S. Management of the directional movement of a robotic tractor [*Upravlenie napravlennym dvizheniem robotizirovannogo traktora*]. V mire nauki i innovacij: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 25 dekabrya 2016g., Perm': v 8 ch./ Nauch.-izdat. centr Aeterna. 2016. V. 8. Pp. 76–78. (rus)
3. Kruglova T.N. Vlasov A.S. Mathematical model for calculating the angle of rotation when driving an unmanned tractor [*Matematicheskaya model' dlya rascheta ugla povorota pri upravlenii bespilotnym traktorom*]. V mire nauki i innovacij: sb. st. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 25 dekabrya 2016 g., g. Perm': v 8 ch./ Nauch.-izdat. centr Aeterna. - Ufa : Aeterna, 2016. V. 8. Pp. 73–76. (rus)
4. Farhan A. Salem Dynamic and Kinematic Models and Control for Differential Drive Mobile Robots. International Journal of Current Engineering and Technology. Vol. 3. No.2. Pp. 253–263.
5. Dušek F., Honc D., Rozsival P. Mathematical Model of Differentially Steered Mobile Robot. Editors: Fikar M., Kvasnica M. In Proceedings of the 18th International Conference on Process Control, Tatranská Lomnica, Slovakia. 2011. Pp. 221–229.
6. Albagul A. & Wahyudi. Dynamic Modelling and Adaptive Traction Control for Mobile Robots. International Journal of Advanced Robotic Systems. Volume 1. Number 3 (2004). ISSN 1729-8806. Pp. 149 - 154.
7. Limin Du. Double closed loop controller of wheeled mobile robot for trajectory tracking based on back-stepping and Lyapunov method. 2nd International Conference on Materials Science, Machinery and Energy Engineering (MSMEE 2017). Pp. 1376–1382.
8. Ahmad A. Mahfouz Modeling, Simulation and Dynamics Analysis Issues of Electric Motor, for Mechatronics Applications, Using Different Approaches and Verification by MATLAB/Simulink. I.J. Intelligent Systems and Applications. 2013. 05. Pp. 39–57.
9. Cherry Myint, Nu Nu Win. Position and Velocity control for Two-Wheel Differential Drive Mobile Robot. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 5. Issue 9. September 2016. Pp. 2849–2855.
10. Noga S. Kinematics and dynamics of some selected two-wheeled mobile robots. Archives of civil and mechanical engineering. Vol. VI. No. 3.
11. Sandeep Kumar Malu, Jharna Majumdar. Kinematics, Localization and Control of Differential Drive Mobile Robot. Global Journal of Researches in Engineering: HRobotics & Nano-Tech Volume 14 Issue 1 Version 1.0 Year 2014 Type: Double Blind Peer Reviewed International Research Journal Publisher: Global Journals Inc. (USA) Online ISSN: 2249–4596 & Print ISSN: 0975–5861.
12. Yuankai Li, Liang Ding, Guangjun Liu. Attitude-based dynamic and kinematic models for wheels of mobile robot on deformable slope. Robotics and Autonomous Systems. 75 (2016). Pp. 161–175.
13. Farhan A. Salem, Refined models and control solutions for mechatronics design of mobile robotic platforms. Estonian Journal of Engineering, 2013. 19. 3. Pp. 212–238 doi: 10.3176/eng.2013.3.04.
14. Farhan A. Salem. Mechatronics motion control design of electric machines for desired deadbeat response specifications, supported and verified by

new matlab built-in function and simulink model. European Scientific Journal December 2013 edition vol. 9. No.36. ISSN: 1857–7881 (Print) e - ISSN 1857–7431.

15. Farhan A. Salem, Mechatronics design of motion systems; modeling, control and verification International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering IJMME-IJENS Vol:13 No:02.

*Information about the authors*

**Kruglova, Tatyana N.** PhD, Assistant professor. E-mail: tatyana.kruglova.02@mail.ru. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Russia, 346428, Rostov region, Novocherkassk, str. Prosveshenia, 132.

**Vlasov, Aleksandr S.** Postgraduate student. E-mail: sasha-vlasov-1993@mail.ru. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI). Russia, 346428, Rostov region, Novocherkassk, str. Prosveshenia, 132.

---

*Received in March 2019*

**Для цитирования:**

Круглова Т.Н., Власов А.С. Моделирование системы управления полноприводным четырехколесным сельскохозяйственным мобильным роботом // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 5. С. 147–154. DOI: 10.34031/article\_5ce292ca6fa530.67486694

**For citation:**

Kruglova T.N., Vlasov A.S. Modeling of the management system of a full-drive four-wheel agricultural mobile robot. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 5. Pp. 147–154. DOI: 10.34031/article\_5ce292ca6fa530.67486694