

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ НА УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МОБИЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

*Игнатюк Н.С.*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Татур М.М. – д. т. н., профессор, профессор кафедры ЭВМ*

**Аннотация.** В этом исследовании представлена математическая модель, направленная на улучшение управления движением мобильных платформ. Модель включает кинематическую схему и формулы для описания движения платформы с учетом таких факторов, как начальные координаты, угловая скорость и углы поворота. Примечательно, что в модели реализованы алгоритмы регулирования скорости, запускаемые в зависимости от конкретных условий. Для решения проблем с выборкой скорости используются методы ускорения и замедления, эффективно смягчающие резкие изменения скорости. Эффективность этих методов демонстрируется с помощью графиков, отображающих изменения скорости до и после реализации ускорения-замедления.

**Ключевые слова:** математическая модель, алгоритм управления поворотом, алгоритм разворота, дискретизация, ускорение торможения, ускорения разгона

**Введение.** Мобильные платформы служат неотъемлемыми компонентами в различных областях, включая робототехнику, транспорт и промышленную автоматизацию, где точное управление движением имеет первостепенное значение. Однако достижение плавного и непрерывного движения сопряжено со значительными трудностями, часто приводящими к дискретным изменениям скорости во время моделирования. Решение этих задач требует сложных математических моделей, которые точно отражают динамику движения мобильных платформ. В этом контексте в данной статье представлена комплексная математическая модель, направленная на улучшение управления движением мобильных платформ.

Модель объединяет кинематическую схему и математические формулы для описания движения мобильных платформ. Кроме того, в модели реализованы алгоритмы регулирования скорости, запускаемые в зависимости от конкретных условий, возникающих при моделировании движения. Эти алгоритмы динамически регулируют скорость движения и поворот колес, обеспечивая тем самым более плавное и точное управление движением.

Кроме того, для решения проблемы дискретных изменений скорости, наблюдаемых при традиционном моделировании, модель предлагает интеграцию методов ускорения и замедления. Внедряя эти методы, модель эффективно смягчает резкие изменения скорости, что приводит к более плавным и реалистичным схемам движения.

**Основная часть.** На рисунке 1 представлена кинематическая схема изменения положения мобильной платформы [1] за счет поворота передних колес.



где:  $m_{\text{перед}}$  – верхнее значение общего влияния,  $k_{\text{упр}}$  – коэффициент общего влияния.

Активация алгоритма будет происходить при условии (формула 4):

$$\begin{aligned} \varphi \leq -\frac{\pi}{15} \wedge \frac{2\pi}{9} \leq Q_{\text{кон}} \leq \pi \\ \varphi \geq \frac{\pi}{15} \wedge -\frac{2\pi}{9} \geq Q_{\text{кон}} \geq -\pi \end{aligned} \quad (4)$$

где:  $Q_{\text{кон}} = \arccos \frac{x'_{\text{кон}}}{S'}$  – угол между конечной точкой и осью  $Ox$  после преобразования системы координат (смещение начала системы координат на  $x_{\text{п}}$  и  $y_{\text{п}}$ , а также поворот на угол  $Q$ );  $x'_{\text{кон}} = (x_{\text{кон}} - x_{\text{п}}) * \cos Q + (y_{\text{кон}} - y_{\text{п}}) * \sin Q$  – значение  $x_{\text{кон}}$  после преобразования координат (смещение начала системы координат на  $x_{\text{п}}$  и  $y_{\text{п}}$ , а также поворот на угол  $Q$ );  $S' = \sqrt{x'^2_{\text{кон}} + y'^2_{\text{кон}}}$  – расстояние от переднего колеса до конечной точки после преобразования системы координат (смещение начала системы координат на  $x_{\text{п}}$  и  $y_{\text{п}}$ , а также поворот на угол  $Q$ ).

При активации скорость передвижения мобильной платформы становится  $v_{\text{обр}} = -2$ . Алгоритм поворота переднего колеса при этом меняется на следующий (формула 5):

$$k_{\text{пов}} = \begin{cases} \varphi \geq 0, \text{ то } k_{\text{пов}} = 1 \\ \varphi < 0, \text{ то } k_{\text{пов}} = -1 \end{cases} \quad (5)$$

Завершение работы алгоритма разворота будет происходить при условии (формула 6):

$$\frac{\pi}{140}, \text{ если } \varphi > 0, \text{ и } -\frac{\pi}{140}, \text{ если } \varphi \leq 0. \quad (6)$$

На рисунке 2 представлен график изменение скорости.

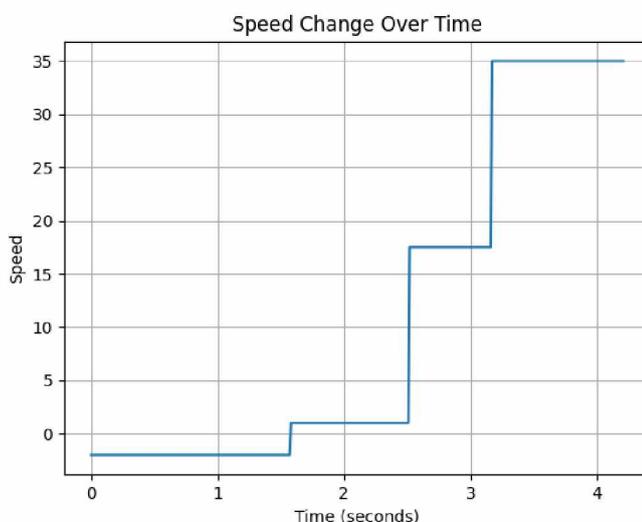


Рисунок 2 – График изменения скорости

**Решение проблемы дискретизации скорости.** В качестве решения данной проблемы введём ускорение разгона и торможения. Для этого введём начальную скорость мобильной платформы  $v_{\text{нач}} = 0$  и максимальную скорость заднего и переднего хода:  $v_{\text{min}} = v_{\text{обр}}$  и

$v_{max} = v_0$  соответственно. Расчёт скорости мобильной платформы с учётом ускорения торможения и разгона (формула 7) [4, 43-47 с.]:

$$v_{n+1} = \begin{cases} v_n + a_{\text{разг}} * \Delta t, & \text{если } v_n < v_{\text{дост}} \\ v_n - a_{\text{торм}} * \Delta t, & \text{если } v_n > v_{\text{дост}}, \\ v_n, & \text{если } v_n = v_{\text{дост}} \end{cases} \quad (7)$$

где:  $v_n$  – текущая скорость мобильной платформы;  $v_{n+1}$  – скорость мобильной платформы через промежуток времени  $\Delta t$ ;  $v_{\text{дост}}$  – скорость, к которой стремиться мобильная платформа ( $v_{\text{min}}$  или  $v_{\text{изм}}$ );  $a_{\text{разг}} = 5$  – ускорение разгона мобильной платформы;  $a_{\text{торм}} = 5$  – ускорение торможения мобильной платформы.

График скорости мобильной платформы после решения проблемы дискретизации путём введения ускорения торможения и разгона представлен на рисунке 3.

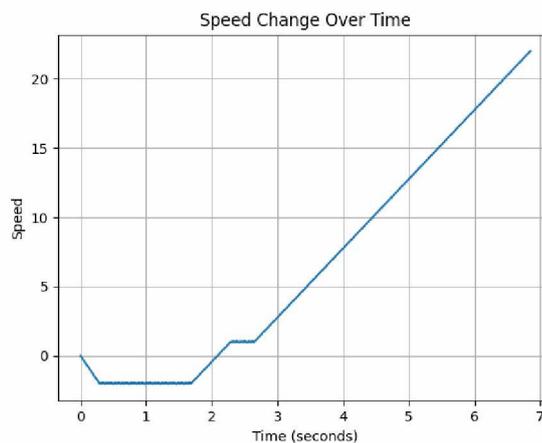


Рисунок 3 – График скорости мобильной платформы после решения проблемы дискретизации

Графики перемещения мобильной платформы до введения ускорений торможения и разгона и после представлены на рисунке 4.

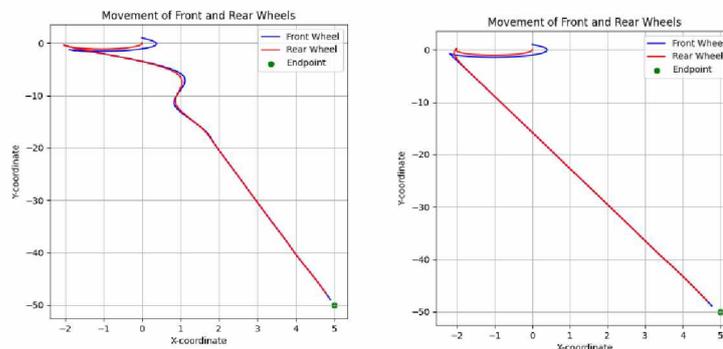


Рисунок 4 – Графики перемещения мобильной платформы до введения ускорений торможения и разгона (слева) и после (справа)

**Заключение.** В заключение, математическая модель, представленная в этой статье, предлагает всеобъемлющую основу для улучшения управления движением мобильных платформ. Интегрируя кинематические диаграммы, математические формулы и алгоритмы, модель предоставляет универсальный инструмент для моделирования и анализа движений мобильных платформ с высокой точностью.

С помощью подробного моделирования и графических представлений мы продемонстрировали эффективность предложенной модели в решении таких задач, как точное изменение скорости и обеспечение более плавного управления движением. Внедрение методов ускорения и замедления оказалось особенно эффективным в смягчении резких колебаний скорости, тем самым повышая реалистичность и плавность движений мобильной платформы.

### Список литературы

1. Ihnatsiuk M., Tatur M. Construction of a mathematical model of the movement of a four-wheeled mobile robot // *ACeSYRI. Proceedings of the workshops on ACeSYRI 2023*. – Žilina, Slovakia: EDIS, 2023. – 25-31 p.
2. Игнатюк Н.С. Модифицированная математическая модель расчета координат мобильной платформы // *Состояние и перспективы развития современной науки и образования: сборник статей VII Международной научно-практической конференции (25 января 2024 г.)*. – Петрозаводск: МЦНП «НОВАЯ НАУКА», 2024. – 367-372 с.
3. Игнатюк Н.С. Моделирование алгоритмов управления движением мобильной платформы // *Беларусь-Китай: контуры инновационно-технологического сотрудничества: сборник материалов научно-практической конференции // сост. М. А. Войтешонок*. – Минск: БНТУ, 2023. – 112-113 с.
4. Models for predicting the reliability of integral schemes taking into account the impact of electrostatic discharge / В.Ф. Алексеев [и др.] // *Slovak international scientific journal*. – 2018. – Vol. 1, N 24. – Pp. 47–62.
5. Джанколи Д. Физака: В 2-х т. Т. 1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 656 с.

UDC 001.891.573

## INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF SPEED ON THE MOVEMENT CONTROL OF THE MOBILE PLATFORM

*Ignatyuk N.S.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Tatur M.M. – Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Professor of the Computer Department*

**Annotation.** This study presents a mathematical model aimed at improving the movement control of mobile platforms. The model includes kinematic diagrams and formulas to describe the movement of the platform, taking into account factors such as initial coordinates, angular velocity and rotation angles. It is noteworthy that the model implements speed control algorithms that are triggered depending on specific conditions. To solve problems with speed sampling, acceleration and deceleration methods are used, effectively mitigating sudden changes in speed. The effectiveness of these methods is demonstrated using graphs showing speed changes before and after acceleration-deceleration is implemented.

**Keywords:** mathematical model, turn control algorithm, U-turn algorithm, discretization, acceleration of braking, acceleration of acceleration