

АЛГОРИТМ РАБОТЫ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

В. В. Шутенко, Н. В. Перевозчикова

*ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»
(г. Москва, Российская Федерация)*

Аннотация. Применение индивидуального привода на транспортно-технологическом модуле даёт возможность повысить тяговое усилие, однако из-за разности моментов подводимых к колёсам может произойти отклонение МТА от заданной траектории движения. Для предотвращения этого требуется система стабилизации.

Ключевые слова: индивидуальный привод; транспортно-технологический модуль; активный привод; тягово-цепные свойства; система стабилизации; алгоритм.

ALGORITHM OF OPERATION OF THE TRAFFIC STABILIZATION SYSTEM OF THE TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MODULE

V. V. Shutenko, N. V. Perevozchikova

*Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy
(Moscow, Russian Federation)*

Abstract. The use of an individual drive on the transport and technological module makes it possible to increase the traction force, however, due to the difference in the moments supplied to the wheels, the MTA may deviate from the specified trajectory to prevent this, a stabilization system is required.

Keywords: individual drive; transport and technological module; active drive; traction properties; stabilization system; algorithm.

Одной из наиболее эффективных схем привода, является индивидуальный привод колёс. На основе проведенных ранее исследований, представленных в статьях [1, 2] изучено, что применение индивидуального привода на транспортно-технологических модулях позволяет оптимизировать процесс со-

здания тягового усилия. Однако, при оптимизации тягового усилия из-за разности подводимых моментов может быть создан вращающий момент, который может привести к отклонению транспортно-технологического модуля от оптимальной траектории движения. Для этого в систему управления необходимо заложить алгоритм стабилизации движения [3].

Входными величинами для работы этого алгоритма являются данные об угле поворота рулевого колеса и данные с датчиков углового ускорения трактора и ТТМ. А по данным, полученным с датчиков углового ускорения, вычисляется реальный угол между векторами движения. После вычисления, данный угол $\Delta\alpha_{\text{теор.}}$ сравнивается с реальным углом $\Delta\alpha$. В случае, если угол теоретический не будет равен углу реальному, необходимо произвести коррекцию данного угла, с помощью увеличения скорости движения одного из колёс [4].

Теоретический угол между векторами ускорения вычисляется путем проведения графоаналитических исследований и на основе этих исследований была выведена зависимость теоретического угла между векторами от угла поворота передних колёс:

$$y = -0,0125x^2 + 1,772x + 0,5012 \quad (1)$$

Для расчёта линейной скорости движения колёс в случае необходимости коррекции необходимо вычислить разницу между теоретическим и реальным векторами угла и увеличить эту величину на разницу скоростей, которая необходима для поворота модуля на 1 градус.

Для вычисления разницы скоростей мы обратились к теории расчёта «танкового поворота», которая основана на разности скоростей движителей правого и левого борта и основная на формуле [5]:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{V_{\text{П}}}{R_2} = \frac{V_{\text{Л}}}{R_1}, \quad (2)$$

где $V_{\text{П}}$ и $V_{\text{Л}}$ – это линейные скорости движения правого и левого движителей, а R_1 и R_2 это соответственно радиусы от центра поворота до левого и правого движителей.

Преобразовать формулу 0 можно в формулу:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{V_{\text{П}}}{V_{\text{Л}}} \quad (3)$$

Из формулы (3) **Ошибка! Источник ссылки не найден.** можно сделать вывод, что разница скоростей между колесами для изменения траектории движения ТТМ на 1 градус должна быть равна тангенсу угла в 1 градус. В соответствии с таблицей Брадиса, тангенс угла в 1 градус равен 0,017 [6] соответственно формула для расчёта $\alpha_{кор}$ примет вид:

$$\alpha_{кор} = (\Delta\alpha - \Delta\alpha_{теор.}) \cdot 0,017 \quad (4)$$

Произведя расчёт по формуле (4) мы можем определить разницу скоростей, которую нам необходимо создать между внутренним ($V_{внутр}$) и внешним колесом ($V_{внеш}$):

$$V_{внеш} = V_{внутр} \cdot (1 + \alpha_{кор}) \quad (5)$$

Вычислив скорость внешнего колеса нам необходимо вычислить угловую скорость, с которой должно вращаться колесо и количество мощности необходимое для создания разницы скоростей. Требуемую мощность вычисляем по формуле:

$$N_{кор} = N_{к} \cdot (1 + \alpha_{кор}) \quad (6)$$

Вычисление угловой скорости вращения колеса производим по формуле:

$$\omega_{кор} = \frac{V_{внеш}}{r_{к} \cdot \delta\kappa_{кор}}, \quad (7)$$

где $\delta\kappa_{кор}$ – буксование колеса с учетом увеличившейся линейной скорости движения.

Для вычисления величины $\delta\kappa_{кор}$, необходимо вывести зависимость $\Delta\delta$ от $\Delta V_{к}$ на основе данных, полученных экспериментальным путем (рис. 1).

Исходя из графика, мы вывели зависимость изменения буксования от скорости движения колеса:

$$\Delta\delta_{к} = 0,7777 \cdot V_{к} - 0,0017 \quad (8)$$

Соответственно $\delta\kappa_{кор}$ будет вычисляться по формуле:

$$\delta\kappa_{кор} = \delta\kappa(1 + \Delta\delta\kappa) \quad (9)$$

На основе полученных уравнений рассчитали угловую скорость вращения колеса, требуемую для корректировки направления движения ТТМ и получили алгоритм работы системы стабилизации движения ТТМ (рис. 2).

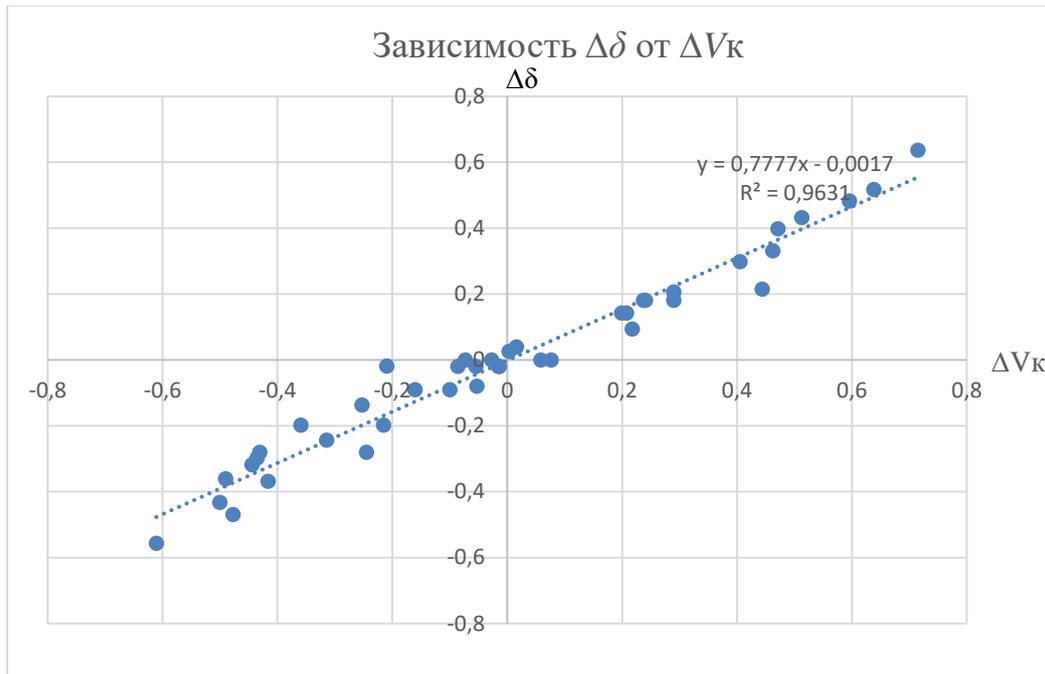


Рисунок 1 – Определение зависимости величины буксования $\Delta\delta$ скорости движения колеса ΔV_k

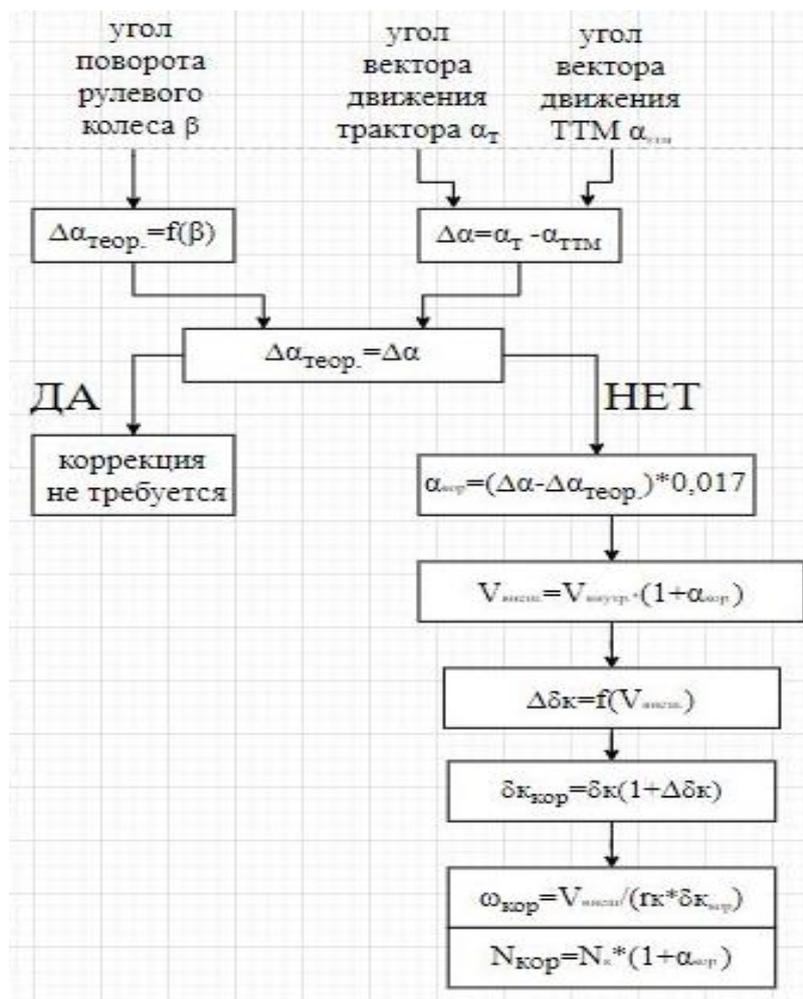


Рисунок 2 – Алгоритм работы системы стабилизации движения

Данный алгоритм учитывает особенности движения МТА оснащенного транспортно-технологическим модулем и выполняет поставленные перед ним задачи.

На основе теоретического анализа буксования колес от скорости движения нами был составлен алгоритм работы системы стабилизации трактора с транспортно-технологическим модулем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шутенко В. В., Перевозчикова Н. В. Математическое моделирование и оценка эффективности приводов транспортно-технологического модуля // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. № 1 (38). С. 87-92.
2. Шутенко В. В., Перевозчикова Н. В., Хорт Д. О. Сравнение эффективности использования балластных грузов и транспортно-технологических модулей для повышения тягово-сцепных свойств трактора // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. № 3 (32). 162-168 с.
3. Котиев Г. О., Горелов В. А., Мирошниченко А. В Синтез системы управления тяговыми электродвигателями для индивидуального привода ведущих колес автомобиля. // *Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана*. 2011. № 12. С. 11.
4. Богатырев А. В., Перевозчикова Н. В. Электронные системы управления мобильных машин. М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2016. 125 с.
5. Буров С. С. Конструкция и расчет танков [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://booksee.org/book/473338>.
6. Таблица Брадиса: синусы, косинусы, тангенсы и котангенсы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://ru.onlinemschool.com/math/formula/bradis_table.
7. Дидманидзе О. Н., Иванов С. А., Карев А. М. Основные направления развития тягово-транспортных средств в АПК // *Доклады Тимирязевской сельскохозяйственной академии (см. в книгах)*. 2015. Т. 1. № 287-2. С. 180-182.

REFERENCES

1. Shutenko V. V., Perevozchikova N. V. Mathematical modeling and evaluation of the efficiency of the drives of the transport-technological module. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*, 2020, vol. 67, no. 1 (38), pp. 87-92.
2. Shutenko V. V., Perevozchikova N. V., Khort D. O. Comparison of the effectiveness of the use of ballast weights and transport and technological

modules to improve the traction and coupling properties of the tractor. *Innovatsii v sel'skom khoziaistve*, 2019, no. 3 (32), pp. 162-168.

3. Kotiev G. O., Gorelov V. A., Miroshnichenko A. V Synthesis of a traction motor control system for an individual drive of the driving wheels of a car. *Nauka i obrazovaniie: nauchnoe izdanie MGTU im. N.E. Baumana*, 2011, no. 12, pp. 11.

4. Bogatyrev A. V. Electronic control systems of mobile machines. Moscow, RGAU-MSKhA, 2016, 125 p.

5. Burov S. S. Design and calculation of tanks. Available at: <https://booksee.org/book/473338>.

6. Bradis table: Sines, cosines, tangents, and cotangents. Available at: https://ru.onlinemschool.com/math/formula/bradis_table.

7. Didmanidze O. N., Ivanov S. A., Karev A. M. The main directions of development of traction vehicles in the agro-industrial complex. *Doklady Timiriazevskoi sel'skokhoziaistvennoi akademii*, 2015, vol. 1, no. 287-2, pp. 180-182.

Об авторах:

Шутенко Владимир Витальевич, инженер-конструктор, г. Клин, Российская Федерация, pilotklin36@mail.ru.

Перевозчикова Наталия Васильевна, доцент кафедры тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49), кандидат технических наук, доцент, perevoz68@mail.ru

About the authors:

Vladimir V. Shutenko, engineer, Klin, Russian Federation, pilotklin36@mail.ru.

Natalia V. Perevozchikova, associate professor of the Department of Tractors and Automobiles, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya St., 49), Cand.Sc. (Engineering), associate professor, perevoz68@mail.ru.