



## СОЗДАНИЕ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ПРИВОДОМ ВЕДУЩИХ КОЛЕС ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

**ШУТЕНКО ВЛАДИМИР ВИТАЛЬЕВИЧ**

E-mail: pilotklin36@mail.ru

**ПЕРЕВОЗЧИКОВА НАТАЛИЯ ВАСИЛЬЕВНА**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: perevoz68@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

Повышение тягово-сцепных свойств мобильных энергетических средств является одной из важнейших задач современного тракторостроения. Использование транспортно-технологических модулей (ТТМ) позволяет эффективно решить эту задачу, но для обеспечения наилучших показателей топливной экономичности и стабилизации движения машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо использовать индивидуальный привод ведущих колес ТТМ, которым будет управлять микропроцессорная система управления. Цель работы – создание алгоритма управления ведущими колесами ТТМ, который будет обеспечивать наилучшие характеристики МТА. На основе методов математического моделирования и графо-аналитических приемов выведены основные зависимости и составлены условия алгоритма, которые будут оптимизировать тяговое усилие и затраты мощности трактора для его создания, а также стабилизировать траекторию движения. Работа микропроцессорной системы заключается в получении данных от внешних сенсоров и определении реальной скорости, буксования и направления движения. Микропроцессорная система производит сравнение этих параметров с идеальными условиями, которые описываются в виде математических зависимостей, и на основе разработанного алгоритма корректирует скорость вращения и распределение мощности между ведущими колесами ТТМ.

**Ключевые слова:** индивидуальный привод, транспортно-технологический модуль, активный привод, тягово-сцепные свойства, система управления, микропроцессор, алгоритм управления.

**Формат цитирования:** Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. Создание алгоритма управления индивидуальным приводом ведущих колес транспортно-технологического модуля // Агроинженерия. 2020. № 5(99). С. 10-15. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-10-15.

## MAKING AN ALGORITHM FOR CONTROLLING THE INDIVIDUAL DRIVE OF THE DRIVING WHEELS OF A TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL MODULE

**VLADIMIR V. SHUTENKO**

E-mail: pilotklin36@mail.ru

**NATALIA V. PEREVOZCHIKOVA**, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: perevoz68@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

Improving the traction properties of mobile power tools is one of the most important tasks of modern tractor construction. The use of transport-technological modules (TTM) helps to solve this problem, but to ensure the best indicators of fuel economy and stabilization of a machine-and-tractor unit (MTU), the TTM driving wheels should be driven individually, which can be ensured by a microprocessor control system. Therefore, the study goal is to make an algorithm for controlling the driving wheels of the TTM, which will ensure the best characteristics of a MTU. To achieve this goal, the authors used mathematical modeling and graph-analytical methods. They are necessary for stating the main relationships and setting algorithm conditions that will optimize a tractor's traction force and power consumption, as well as stabilize its movement trajectory. The operation of the microprocessor system consists in obtaining data from external sensors and determining the actual speed, skidding and direction of travel. The microprocessor system compares these parameters with ideal conditions, described with mathematical relationships, and based on the developed algorithm, corrects the rotation speed and power distribution between the driving wheels of a TTM.

**Key words:** individual drive, transport and technological module, active drive, traction properties, control system, microprocessor, control algorithm.

**For citation:** Shutenko V.V., Perevozchikova N.V. Making an algorithm for controlling the individual drive of the driving wheels of a transport and technological module. *Agricultural Engineering*, 2020; 5 (99): 10-15. (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-10-15.

**Введение.** Современные модели тракторов не могут полностью использовать энергонасыщенность для создания тягового усилия, в связи с чем мощность двигателя используется неполностью. Одной из причин неполного использования возможностей двигателя является недостаток сцепного веса [1].

Одним из способов более эффективного использования мощности двигателя является применение транспортно-технологического модуля, представляющего собой прицеп, колеса которого имеют привод от вала отбора мощности. Агрегатирование трактора ТТМ превращает трактор из колесной формулы 4К4 в колесную формулу 6К6, что позволяет повысить его тягово-сцепные свойства. Однако при увеличении количества ведущих осей возрастают затраты мощности на преодоление кинематического несоответствия [2, 4, 6-8].

Для снижения кинематического несоответствия в приводе трактора, агрегатированного ТТМ, было предложено использовать индивидуальный привод ведущих колес технологического модуля, которым будет управлять микропроцессорная систем управления. Данный тип привода может быть реализован на основе гидрообъемной трансмиссии или на основе электрических мотор-колес, которые с развитием технологий в сфере электротранспорта стали иметь соответствующие технико-экономические показатели для применения их в тракторостроении.

**Цель исследования:** создание алгоритма работы микропроцессорной системы управления индивидуальным приводом ведущих колес транспортно-технологического модуля.

**Материал и методы.** Для создания алгоритма применялись методы математического моделирования и графоаналитические методы, с помощью которых были определены основные зависимости, на условиях выполнения которых строится алгоритм работы микропроцессорной системы управления.

Для определения эффективности работы алгоритма и определения отклонений расчетных величин от реальных была создана физическая модель трактора, агрегатированного ТТМ. Модель выполнена в масштабе 1:14. Рама, рулевое управление и части кузова выполнены с помощью 3D-печати из пластика типа PLA и фотополимерного пластика. В процессе движения модели эмитировалась различная крюковая нагрузка. При этом производились замеры скорости движения и ускорения модели, а также скорости вращения каждого колеса модели и буксование.

**Результаты и исследования.** Микропроцессорная система управления индивидуальным приводом должна выполнять две задачи. Первая задача заключается в распределении потока мощности между ведущими колесами ТТМ в зависимости от буксования и коэффициента сцепления с дорогой. Вторая задача системы управления – корректировка траектории движения ТТМ, стабилизация движения машинно-тракторного агрегата при прямолинейном движении и оптимизация движения по кривой.

Для выполнения первой задачи микропроцессорная система должна произвести сравнение действительной

скорости движения и скорости вращения колес. После этого микропроцессорная система сможет определить, в каком режиме работает колесо. У колеса может быть три режима работы: буксование, запаздывание скорости обода колеса от поступательной скорости трактора и равенства скорости обода колеса, поступательной скорости трактора [3].

Условия работы ведущего колеса, когда действующая скорость обода колеса меньше поступательной скорости движения трактора, – буксование (уравнение 1); если действительная скорость обода колеса меньше поступательной скорости движения трактора, – колесо отстает (уравнение 2); в случае, когда скорости обода колеса и поступательной скорости трактора равны, – колесо находится в нейтральном режиме (уравнение 3):

$$\frac{V_d - V_k}{V_d} > 0, \quad (1)$$

$$\frac{V_d - V_k}{V_d} < 0, \quad (2)$$

$$\frac{V_d - V_k}{V_d} = 0. \quad (3)$$

Если колесо находится в нейтральном режиме, колесо не создает дополнительного сопротивления движению МТА, и коррекцию скорости вращения выполнять необязательно (рис. 1), однако, как показывают исследования, при буксовании, стремящемся к нулю, касательная сила тяги колеса тоже стремится к нулю. Максимальная касательная сила тяги создается при буксовании в 16...25% [3], поэтому желательно поддерживать буксование колеса на оптимальном уровне.

При отставании колеса необходимо увеличить скорость вращения колеса до того момента, пока скорость колеса не станет равной действительной скорости и колесо перейдет в нейтральный режим, а затем достигнет оптимальных значений буксования (рис. 1).

В случае, когда колесо буксует, компьютер должен определить, соответствует ли значение буксования оптимальным значениям, заложенным в ЭБУ, и если не соответствует, произвести корректировку.

Для выполнения расчетов системе необходимо получить данные о действительной скорости движения машинно-тракторного агрегата. Для определения действительной скорости был применен ИМУ-сенсор:

$$V = V_0 + at, \quad (4)$$

где  $V_0$  – начальная скорость движения, м/с;  $a$  – ускорение машинно-тракторного агрегата, м/с<sup>2</sup>;  $t$  – время, с.

ИМУ-сенсор представляет собой устройство, которое выполняет две функции одновременно: трехосный акселерометр, определяющий ускорение относительно собственных осей X, Y и Z, и трехосный гироскоп, определяющий скорость вращения относительно собственных осей X, Y и Z [9].

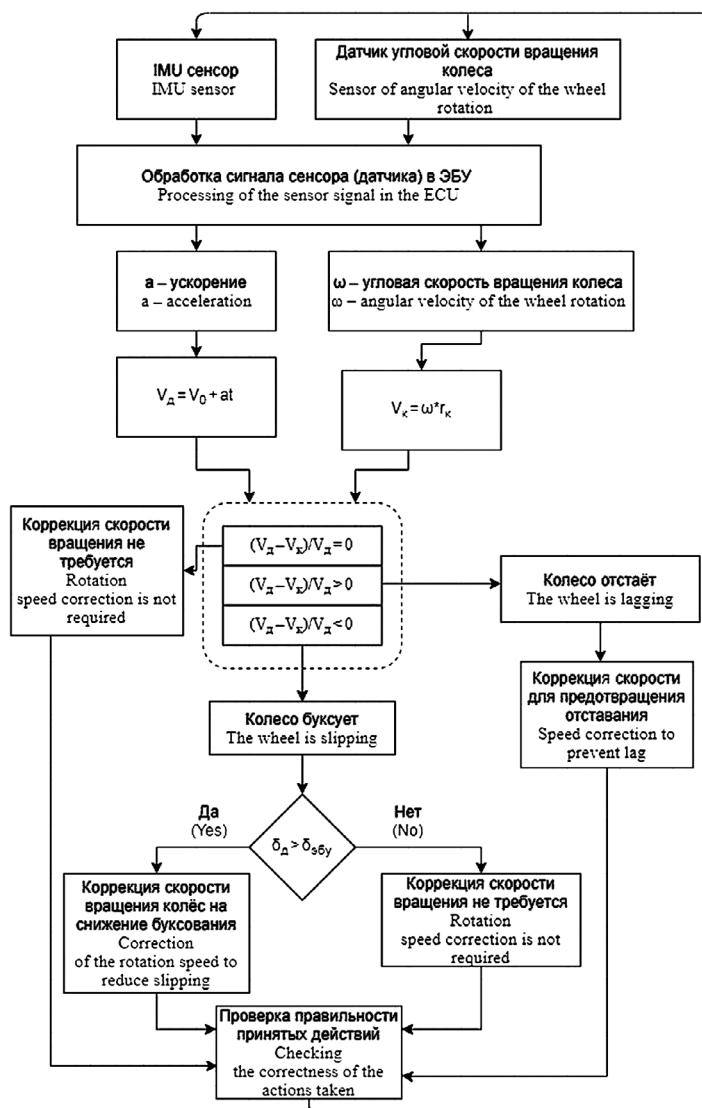


Рис. 1. Блок-схема системы управления активным приводом колес

Fig. 1. Block diagram of the control system for active wheel drive

Для решения задачи определения реальной скорости можно воспользоваться функцией акселерометра. Микропроцессорная система будет сравнивать через короткие промежутки времени (менее одной миллисекунды) скорость вращения колес, переводя ее из угловой скорости в линейную скорость, и скорость действительную, которую получим путем считывания ускорения с акселерометра и вычисления по формуле 4. При вычислениях в качестве начального значения указывается значение скорости, которое отмечено при предыдущем вычислении. В начале движения машинно-тракторный агрегат имеет нулевую начальную скорость, скорость вращения колес также равна нулю. При выполнении этих условий система управления будет принимать начальное значение скорости для вычисления действительной скорости, равное нулю ( $V_0 = 0$ ). В случае, когда трактор движется равномерно, ускорение будет равно нулю. В соответствии с формулой (4) действительная скорость движения будет равна скорости, которую мы приняли как начальную ( $V = V_0$ ). В случае, когда скорость вращения колес трактора отличается от нуля, а действительная скорость равна нулю, это будет означать, что трактор забуксовал и не может

продолжать движение. В этот момент прекратит работать алгоритм оптимизации тягового усилия и начнет действовать алгоритм работы, который поможет трактористу как можно быстрее продолжить движение. Если же скорость вращения колес ниже действительной скорости, то система управления будет определять это как проскальзывание колес. Такая ситуация может возникнуть при движении, например, на спуск. В этом случае система включит алгоритмы стабилизации движения на спуске [3, 5].

Второй задачей системы управления является корректировка траектории движения транспортно-технологического модуля, стабилизация движения его при прямолинейном движении и оптимизация движения машинно-тракторного агрегата по кривой.

При прямолинейном движении машинно-тракторного агрегата может возникнуть отставание или набегание колес транспортно-технологического модуля на трактор. Если одно из колес отстает или забегает, возникает вращающий момент, который будет смещать с оптимальной траектории движение ТТМ. Осью вращения ТТМ будет точка сцепки.

В случае движения по кривой траектория движения транспортно-технологического модуля будет отличаться

от траектории движения трактора, так как транспортно-технологический модуль по своей конструкции является прицепом, соответственно траектория его движения ближе к центру поворота, чем траектория движения трактора. Поэтому для расчета угловых скоростей вращения колес требуется отдельный алгоритм.

Для решения второй задачи можно использовать те же IMU-сенсоры, которые были использованы для решения первой задачи, один из которых будет установлен на тракторе, а второй – на транспортно-технологическом модуле [9].

При прямолинейном движении машинно-тракторного агрегата сенсор, установленный на тракторе, будет показывать, что ускорение направлено вдоль продольной оси трактора и угловые ускорения будут равны нулю. Соответственно такие же данные мы должны получить и с сенсора, установленного на транспортно-технологическом модуле. В случае, если данные с сенсора, установленного на транспортно-технологическом модуле, отличаются больше, чем на допустимое значение, система управления начинает изменять скорости вращения колес так, чтобы компенсировать возникшее угловое ускорение и стабилизировать траекторию движения транспортно-технологического модуля.

В случае движения по кривой система управления должна определить угол, на который поворачивает трактор, и в соответствии с этим углом вычислить траекторию и скорости вращения всех колес транспортно-технологического модуля. Угол поворота трактора будет определяться с помощью двух датчиков: первый – это датчик угла поворота рулевого колеса (управляющих колес), обозначенный как угол  $\beta$  (рис. 2), второй – это IMU-сенсор, уже установленный на тракторе. Данный сенсор поможет нам определить реальное направление движения трактора (путем сложения векторов линейного и тангенциального ускорения, указанного на рисунке 2 и выделенного красным цветом), потому что угол поворота колес дает возможность понять только кривизну траектории, по которой намерен двигаться тракторист.

Для определения расхождения положения вектора ускорения транспортно-технологического модуля

от положения вектора ускорения трактора нами был использован графоаналитический метод (рис. 2).

В случае возникновения бокового заноса ТТМ направление суммарного вектора ускорения будет отличаться от направления вектора, рассчитанного на основе данных датчика угла поворота рулевого колеса. Для устранения бокового заноса, на основе несовпадения вышеуказанных векторов, определяется вращающий момент, обеспечивающий движение по оптимальной траектории.

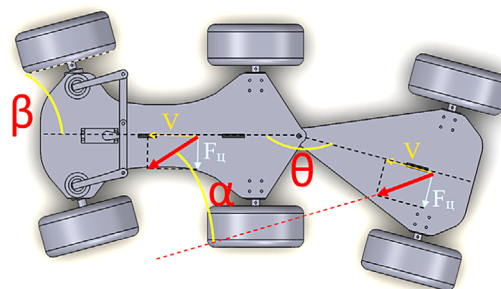


Рис. 2. Схема МТА для графоаналитического анализа направления векторов ускорения

Fig. 2. MTU Diagram for graphical analysis of the direction of acceleration vectors

На рисунке 2 зависимости угла между вектором ускорения трактора и вектором ускорения транспортно-технологического модуля (угол  $\alpha$ ) и угла поворота в сцепке (угол  $\theta$ ) в зависимости от угла поворота управляющих колес (угол  $\beta$ ) были выведены по следующей методике:

- угол поворота управляемых колес изменялся от 0 до 30 град. с шагом в 5 град.;
- для каждого угла поворота управляемых колес в системе САПР Компас 3D строился чертеж трактора, агрегатированного ТТМ, на котором рассчитывались и строились векторы действующих сил;
- на основе построенных векторов производились вычисления указанных выше углов.

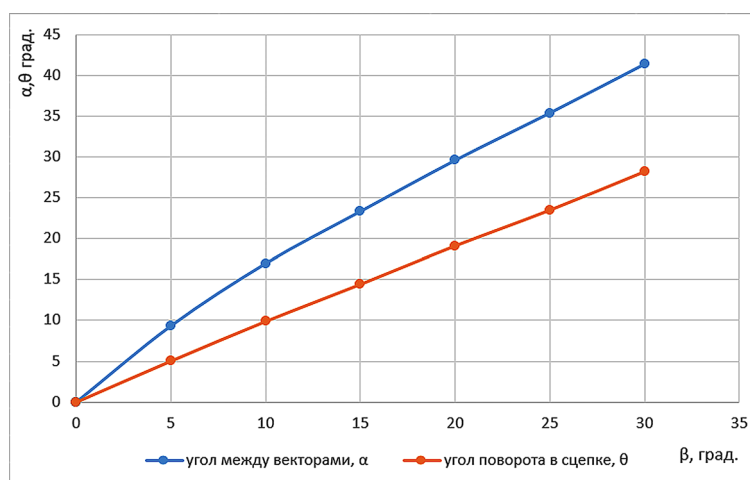


Рис. 3. Графики зависимостей угла поворота в сцепке ( $\theta$ ) и угла между векторами движения ( $\alpha$ ) от угла поворота передних колес ( $\beta$ )

Fig. 3. Graphical representation of both the relationships between the rotation angle in the coupling ( $\theta$ ) and the angle between the motion vectors ( $\alpha$ ), and the rotation angle of the front wheels ( $\beta$ )

С помощью пакета *MS Excel* была получена кривая зависимости угла между векторами ускорения трактора и транспортно-технологического модуля от угла поворота передних колес (уравнения 5, 6), при аппроксимации величина достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) составила 0,99.

$$y = -0,0125x^2 + 1,772x + 0,5012, \quad (5)$$

$$\alpha = -0,0125\beta^2 + 1,772\beta + 0,5012. \quad (6)$$

Уравнение (6) будет заложено в микропроцессорную систему управления, которая будет определять соответствие направления ускорения транспортно-технологического модуля углу поворота трактора и устанавливать, насколько траектория движения транспортно-технологического модуля соответствует необходимой. Если траектория отклоняется больше заданного значения, то система изменяет скорости вращения колес и создает вращающийся

момент для корректировки траектории движения транспортно-технологического модуля.

## Выводы

Алгоритм работы микропроцессорной системой управления индивидуальным приводом представляет собой два последовательных алгоритма, которые одинаково важны для эффективной работы данного типа привода. Первая часть алгоритма отвечает за регулировку скорости вращения ведущих колес ТТМ. Основной функцией этой части алгоритма является снижение кинематического несоответствия в приводе МТА и оптимизация тягового усилия, создаваемого ведущими колесами ТТМ. Однако в связи с разными коэффициентами сцепления правого и левого колеса ТТМ с опорной поверхностью может происходить занос или снос, что предотвращает вторая часть алгоритма, отвечающая за корректировку и стабилизацию движения ТТМ.

## Библиографический список

1. Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. «Мощность – основной показатель для трактора тягово-энергетической концепции» // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2017. № 5. С. 18-21
2. Кутков Г.М., Рославцев А.В., Иваницкий В.Г., Надикто В.Т., Черепухин В.Д., Хаустов В.А., Абдула С.Л., Гурковский Е.Э. Модульное энерготехнологическое средство МЭС-300 кл. 3-5 // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 2. С. 16-20
3. Кутков Г.М., Сидоров В.Н., Сидоров М.В. Тяговый расчет трактора тягово-энергетической концепции: Учебно-методическое пособие / Под ред. проф. Г.М. Куткова. М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 2012. 84 с.
4. Кутков Г.М., Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Балластирование тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 9. С. 52-60.
5. Котиев Г.О., Горелов В.А., Мирошниченко А.В. Разработка закона управления индивидуальным приводом движителей многоосной колесной машины // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2012. № 1. С. 49-59.
6. Fowler G. Tractor Ballasting Tips and Options. Agricultural Review, November 2013. URL: <https://agrireview.com/tractor-ballasting-tips-and-options/> (дата обращения: 10.07.2020).
7. Robert Grisso, Zane R. Helsel. Ballasting Tractors for Optimal Fuel Efficiency. Farm-energy, April 3, 2019. URL: <https://farm-energy.extension.org/ballasting-tractors-for-optimal-fuel-efficiency/> (дата обращения: 10.07.2020).
8. Anna McConnell. Ballasting: the great balancing act, Successful farming, March 30. 2017. URL: <https://www.agriculture.com/machinery/tractors/ballasting-the-great-balancing-act> (дата обращения: 10.07.2020).
9. IMU-сенсор на 10 степеней свободы (Тройка-модуль) URL: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:troyka-imu-10-dof> (дата обращения: 10.07.2020).

## References

1. Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Moshchnost' – osnovnoy pokazatel' dlya traktora tyagovo-energeticheskoy kontseptsii [Power as the main indicator for the tractor of the traction and energy concept]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2017; 5(81): 18-22. (In Rus.)
2. Kutkov G.M., Roslavitsev A.V., Ivanitskiy V.G., Nadykto V.T., Cherepukhin V.D., Khaustov V.A., Abdula S.L., Gurkovsky E.E. Modul'noye energotekhnologicheskoye sredstvo MES-300 kl. 3-5 [Modular power technology means MES-300 CL. 3-5]. *Traktory i sel'skokhozyaystvenniye mashiny*, 1998; 2: 16-20. (In Rus.)
3. Kutkov G.M., Sidorov V.N., Sidorov M.V. Tyagoviy raschet traktora tyagovo-energeticheskoy kontseptsii: uchebno-metodicheskoye posobiye [Traction calculation of the tractor of the traction-energy concept: study and methodological manual]. Ed. by G.M. Kutkov. Moscow, MGAU imeni V.P. Goryachkina, 2012: 84. (In Rus.)
4. Kutkov G.M., Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Ballastirovanie traktorov [Ballasting of tractors]. *Traktory i sel'khoz mashiny*, 2017; 9: 52-60. (In Rus.)
5. Kotiev G.O., Gorelov V.A., Miroshnichenko A.V. Razrabotka zakona upravleniya individual'nym privodom dvizhiteley mnogoosnoy kolesnoy mashiny [Development of the control law of an individual wheel drive of multi-axis wheeled vehicles]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Mashinostroyeniye*, 2012; 1: 49-59. (In Rus.)
6. Fowler G. tips and options for tractor ballasting. Agricultural Review, November 2013. Access mode: <https://agrireview.com/tractor-ballasting-tips-and-options/> (Access date: 10.07.2020)
7. Robert Grisseau, Zane R. Helsel. Ballast tractors for optimal fuel efficiency. Farm-energy, April 3, 2019. Access mode: <https://farm-energy.extension.org/ballasting-tractors-for-optimal-fuel-efficiency/> (Access date: 10.07.2020)
8. Anna McConnell: Ballasting: the great balancing act, successful farming, March 30. 2017. Access mode: [https://BCP.selskoye\\_economy.com/machines/tractors/ballasting-of-the-great-balance-act](https://BCP.selskoye_economy.com/machines/tractors/ballasting-of-the-great-balance-act) (Access date: 10.07.2020)

9. IMU-sensor na 10 stepeny svobody (Troyka-modul') [IMU-sensor for 10 degrees of freedom (Troyka-module)] Access mode: <http://wiki.amperka.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82%D1%8B:troyka-imu-10-dof> (Access date: 10.07.2020). (In Rus.)

#### Критерии авторства

Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 23.07.2020

Опубликована 30.10.2020

#### Contribution

V.V. Shutenko, N.V. Perevozchikova carried out theoretical studies, generalized the obtained results and wrote the manuscript. V.V. Shutenko, N.V. Perevozchikova have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on July 23, 2020

Published 30.10.2020

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 635.21:631.51:631.4

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-15-20



## СОЗДАНИЕ УСТОЙЧИВОЙ СРЕДЫ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ КАРТОФЕЛЯ

**СТАРОВОЙТОВА ОКСАНА АНАТОЛЬЕВНА**, канд. с.-х. наук<sup>1</sup>

E-mail: agronir2@mail.ru

**СТАРОВОЙТОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ**, докт. техн. наук<sup>1</sup>

E-mail: agronir1@mail.ru

**МАНОХИНА АЛЕКСАНДРА АНАТОЛЬЕВНА**, докт. с.-х. наук<sup>2</sup>

E-mail: alexman80@list.ru

**ЧАЙКА ВАЛЕРИЯ АЛЕКСАНДРОВНА**, аспирант<sup>1</sup>

E-mail: agronir2@mail.ru

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, 140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В;

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, Российская Федерация, Москва, ул. Тимирязевская, 49

В условиях изменяющегося климата важной составляющей технологии возделывания картофеля становится создание устойчивого средообразующего пространства, в котором развивается клубневое гнездо за счет уплотнения верхнего слоя с сохранением оптимальной плотности внутри гряды. Предложено формирование многослойной разноплотностной гряды, устойчивой к разрушению при внешних и внутренних воздействиях в процессе возделывания картофеля. Гряда имеет плотный поверхностный слой и оптимальную плотность внутри гряды. При этом подразумевается использование влагосберегающих суперабсорбентов в качестве гасителей внутренних напряжений, возникающих при развитии клубневого гнезда, стеблей и корневой системы, приводящих к разрушению гряды и озеленению клубней. При решении поставленной задачи использовались методология системного анализа, классическая механика, теория механики грунтов, методы проведения лабораторно-полевых исследований. Сравнительные производственные испытания технологии возделывания картофеля по гребневым и грядовым технологиям показали, что качество уборки картофеля по основным показателям (чистота вороха, потери, повреждения и позеленевшие клубни) существенно превышает качество возделывания по гребневым технологиям. Конструирование многослойной гряды с демпфирующей средой, созданной за счет увеличения ширины междурядий, позволило выращивать более качественный картофель с низким содержанием позеленевших клубней.

**Ключевые слова:** картофель, гряда, устойчивость к разрушению, внутренние напряжения, действие сил, изменение климатических условий, суперабсорбенты, комбайновая уборка.