



Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах

Дмитрий Юрьевич Павкин¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

Евгений Александрович Никитин¹,
младший научный сотрудник, аспирант,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru;
Владислав Александрович Зобов²,
главный инженер

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²SECF Electric Trading, Москва, Российская Федерация

Реферат. Оценили уровень роботизации технологических процессов на животноводческих комплексах по содержанию крупного рогатого скота, определили, что наиболее свободной нишей роботизации технологических процессов стало кормление, которое на 55 процентов формирует молочную продуктивность. Показали необходимость в разработке колесной роботизированной платформы, которая обеспечит доступность кормовой смеси по фронту кормления и в процессе перемещения будет многостадийно насыщать объемистые компоненты кормовой смеси концентрированными, повышая их привлекательность для животных, при этом нормализуя баланс сухого вещества и клетчатки. (*Цель исследования*) Смоделировать систему управления роботизированной платформой с независимым электромоторизованным приводом. (*Материалы и методы*) Рассмотрели технологии организации процессов кормления животных на ферме. Провели технологическую оценку эффективности применяемых на ферме автоматизированных и роботизированных машин. Использовали в процессе исследования среду имитационного моделирования Matlab/Simulink. (*Результаты и обсуждение*) Разработали математическую модель, описывающую кинематику и динамику движения платформы. Сформировали предполагаемую элементную базу в общую модель робота в искусственной среде Matlab/Simulink, сымитировав процесс движения по окружности. (*Выводы*) Создали математическую модель, формирующую основу создания системы управления разрабатываемого робота. Доказали, что устройство дозирования кормовых добавок обеспечит баланс потребляемого сухого вещества и клетчатки.

Ключевые слова: роботизированные системы, молочное животноводство, дозирование кормов, электромоторизованный привод, кормление крупного рогатого скота, математическая модель.

Для цитирования: Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Зобов В.А. Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 33-38. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38.

Robotic System for Maintenance of Feed Table for Livestock Complexes

Dmitriy Yu. Pavkin¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;

Evgeniy A. Nikitin¹,
postgraduate, junior researcher,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru;
Vladislav A. Zobov²,
postgraduate, junior researcher

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²SECF Electric Trading, Moscow, Russian Federation

Abstract. Assessing the robotization level of technological processes in livestock complexes based on the breeding, authors found that the most free niche of robotization of technological processes in livestock complexes is the feeding process, which forms 55 percent of milk productivity. There is a need to develop a wheeled robotic platform that will ensure the availability of the feed mixture along the feeding front. This platform will multi-stage saturate the bulky components of the feed mixture with concentrated ones, increasing their attractiveness to animals, while normalizing the balance of dry matter consumed and fiber obtained from bulky feeds. (*Research purpose*) To simulate the control system of a robotic platform with an independent electro-motorized drive. (*Materials and methods*) The article presents technologies for organizing animal feeding processes on the farm, conducted a technological assessment of the effectiveness of automated and robotic machines used on the farm. Authors used

the Matlab/Simulink simulation environment in the research process. (*Results and discussion*) The article presents a developed mathematical model describing the kinematics and dynamics of the platform movement. Authors formed the assumed element base into a general model of the robot in an artificial Matlab/Simulink environment, simulating the process of moving around a circle. (*Conclusions*) The created mathematical model forms the basis for creating a control system for the robot under development. The device for dosing feed additives will ensure the balance of dry matter and fiber consumed.

Keywords: robotic systems, dairy farming, feed dosing, electro-motorized drive, cattle feeding, mathematical model.

For citation: Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Zobov V.A. Sistema robotizirovannogo obsluzhivaniya kormovogo stola na zhivotnovodcheskikh kompleksakh [Robotic system for maintenance of feed table for livestock complexes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 33-38 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38.

Одним из приоритетных направлений развития современного молочного животноводства в настоящее время становится роботизация. Во многом это обусловлено тем, что себестоимость человеческих ресурсов при производстве молока чрезвычайно велика. Для российского отраслевого рынка и большинства производителей продукции молочного животноводства стоимость средств роботизации пока еще высока, что объясняется валютной нестабильностью и отсутствием собственного производства комплектующих для создания роботизированных систем животноводства [1-4].

Однако внедрение подобных комплексов на территории РФ позволит решить ряд проблем, вызванных низкой квалификацией обслуживающего персонала (операторов доения, скотников и пр.). Например, внедрение доильных роботов *DeLaval VMS* на базе производственного предприятия АО «Зеленоградское» способствовало относительному снижению трудозатрат при обслуживании поголовья в процессе доения; также системы роботизированного доения существенно повышают качество получаемого молока на выходе по количеству соматических клеток и другим показателям [5-10].

Оценивая степень внедрения различных решений, позволяющих сократить влияние человеческого фактора на процесс производства, стоит отметить, что наиболее свободной нишей роботизации технологических процессов на животноводческих комплексах стало кормление крупного рогатого скота, что неким образом не говорит о его меньшей значимости, так как формирование молочной продуктивности на 55% обеспечивается посредством сбалансированного рациона и достаточного уровня потребления сухого вещества. Однако повышение продуктивности животных путем энергетического насыщения рациона часто влечет за собой необратимые последствия для поголовья – кетоз, ацидоз и пр. [11-15].

Во многом это обуславливается физиологической потребностью КРС в сортировке компонентов кормовой смеси в пользу энергетически ценных (комбикорма, дробина и др.), ввиду чего животные пренебрегают грубыми объемистыми компонентами (сено, солома, сенаж и пр.), которые в свою очередь насыща-

ют рубец животного клетчаткой, устанавливающей энергетический баланс [16-20].

Авторы предложили разработку колесной роботизированной платформы, которая обеспечит доступность кормовой смеси по фронту кормления и в процессе перемещения будет многостадийно насыщать объемистые компоненты кормовой смеси концентрированными, повышая их привлекательность для животных.

Цель исследования – смоделировать систему управления роботизированной платформой с независимым электромоторизированным приводом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В качестве определения актуальности направления научных исследований изучили материалы международных выставок отрасли, сайты ведущих производителей образцов современных технических и технологических решений для молочного и мясного животноводства: АО «СМЗ», *Wasserbauer*, *DeLaval*, *Afimilk*, *GEA Farm*, *Lely* и др.

Исследовали технологии организации процессов кормления животных на ферме, провели технологическую оценку эффективности применяемых на ферме автоматизированных и роботизированных машин.

Динамическую модель движения роботизированной платформы разработали по методу Ньютона-Эйлера.

Оценку достоверности моделирования системы управления роботизированной платформой осуществляли с использованием среды искусственного моделирования *Matlab/Simulink*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Ключевым элементом разрабатываемой системы стало роботизированное устройство, обозначенное на схеме (рис. 1).

В рамках реализации предложенной концепции смоделирован прототип роботизированного устройства (рис. 2).

Создание роботизированного устройства, содержащего колесный независимый электромоторизированный привод, предполагает обеспечение автономного перемещения устройства по территории кормового стола животноводческого комплекса посредством программирования контроллера электропривода и системы навигации робота.

Поэтому в рамках реализации предложенного ре-



шения был рассмотрен процесс плоского движения колесной роботизированной платформы в плоскости XOY в соответствии с представленной схемой (рис. 3).

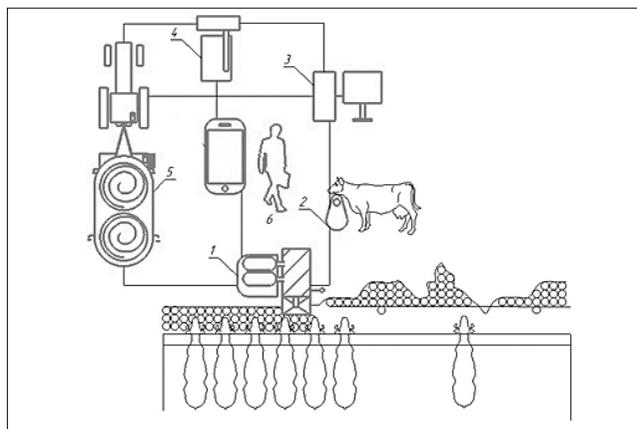


Рис. 1. Архитектура системы роботизированного обслуживания кормового стола: 1 – роботизированное устройство, обслуживающее кормовой стол; 2 – персональный датчик (чип, болус и пр.) животного; 3 – центральный компьютер на ферме; 4 – погрузчик компонентов кормовой смеси с индикатором бортовой системой взвешивания; 5 – миксер-раздатчик кормовой смеси с бортовой системой взвешивания; 6 – управляющий фермой

Fig. 1. The system architecture of a robotic servicing of feed table: 1 – a robotic device that supports the feed table; 2 – personal sensor (chip, bolus, etc.) of the animal; 3 – the central computer in the farm; 4 – loader components of the feed mixture with the indicator on-board weighing system; 5 – mixer-distributor of feed with on-Board weighing system; 6 – farm manager

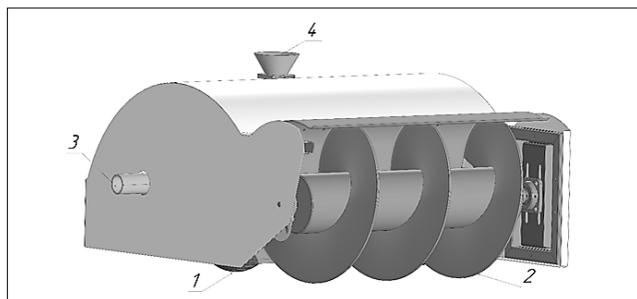


Рис. 2. 3-D модель роботизированного устройства для обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах: 1 – электромоторизированное колесо; 2 – винтовой толкатель кормовой смеси; 3 – выходное отверстие дозатора кормовых добавок (премиксов, ароматизаторов, комбикормов); 4 – засыпная горловина для дозируемых добавок

Fig. 2. 3-D model of a robotic device for servicing the feed table at livestock complexes: 1 – electro-motorized wheel; 2 – screw pusher of the feed mixture; 3 – outlet of the feed additive dispenser (premixes, aromatic additives, mixed feed); 4 – filling neck for the dosed additives

Точка O_0 – центр масс робота, связанная с подвижной системой координат $X_0 O_0 Y_0$.

Процесс моделирования предполагал, что колеса

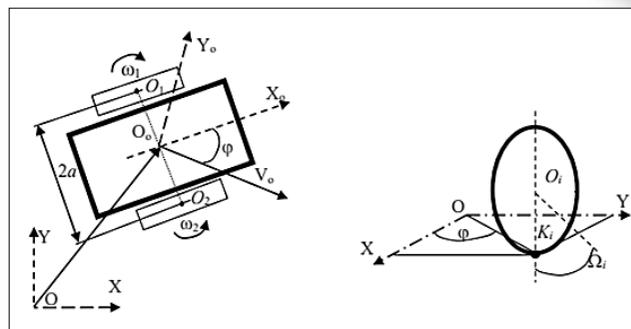


Рис. 3. Расчетная схема, описывающая кинематику движения роботизированной платформы

Fig. 3. Calculation scheme describing the kinematics of the robotic platform movement

имеют независимое управление и вращаются без проскальзывания, межосевое расстояние колес $O_0 O_1 = O_0 O_2 = a$. Положение каждого колеса характеризуется декартовыми координатами точки K_i , углом курса φ и углом поворота колеса i (рис. 3).

Процесс движения колес описывает система уравнений (1), (2):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 0.5d \times \omega_1 \times \cos\varphi \\ \dot{y}_1 = 0.5d \times \omega_1 \times \sin\varphi \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = 0.5d \times \omega_2 \times \cos\varphi \\ \dot{y}_2 = 0.5d \times \omega_2 \times \sin\varphi \end{cases} \quad (2)$$

где, $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2$ – координаты точек K_1 и K_2 ;

d – диаметр колеса;

$\omega_1 = \Omega_1$ – угловая скорость колеса 1;

$\omega_2 = \Omega_2$ – угловая скорость колеса 2.

$$V_0 = 0.25d \times (\omega_1 - \omega_2), \operatorname{tg}\varphi = \frac{V_0}{R+a} = \frac{0.25d \times (\omega_1 - \omega_2)}{R+a} \quad (3)$$

где $R = O_0 O_2$ – радиус поворота робота;

a – конструктивный параметр модели.

Геометрическими координатами центра масс робота служит середина отрезка $O_1 O_2$, которая является центром межколесного расстояния, определяемыми системой уравнений:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Геометрическая связь описана системой уравнений (5):

$$\begin{cases} x_2 = 2a \times \cos\varphi + x_1 \\ y_2 = 2a \times \sin\varphi + y_1 \end{cases} \quad (5)$$

Совокупность уравнений (1)-(5) представляет собой кинематическую модель движения робота.

Описание динамической модели движения робота осуществили путем использования метода Ньютона-Эйлера:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_0 = \sum F_x \\ m\ddot{y}_0 = \sum F_y \\ J_0\ddot{\varphi} = \sum M_0, \end{cases} \quad (6)$$

где m – масса робота;

J_0 – тензор инерции транспортного робота относительно связанной системы координат $X_0O_0Y_0$.

Проекции сил F_1 и F_2 на ось X , проекции сил F_1 и F_2 на ось Y , момент сил F_1 и F_2 относительно центра масс робота определили по выражению:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0.5(F_{1x} + F_{2x}) \\ \sum F_y = 0.5(F_{1y} + F_{2y}). \\ \sum M_0 = a(F_1 - F_2) \end{cases} \quad (7)$$

Рассмотрели движение нагруженного колеса.

Предположили, что к приводному колесу приложен вращательный момент M_{ki} , внешний момент M_i , момент трения качения M_{Tki} (рис. 3). Внешними силами относительно колеса служат: вес колеса P_{ki} , нормальная реакция дороги N_{ki} , внешняя сила нагрузки F_i и сила трения T_{ki} . Рассмотрим случай, когда $N_{ki} \geq P_{ki}$.

Составили дифференциальное уравнение движения колеса при условии, что $N_{ki} = N_{ki}$; $Y_{ki} = 0$:

$$\begin{cases} m_{ki}\ddot{x}_{ki} = F_i - T'_{ki} + T_{ki} \\ J_{\Sigma i} \times \omega_i = (T_{ki} - T'_{ki}) \times r_k - M_{\Sigma i} \\ M_{\Sigma i} = M_{ki} - k \times N_{ki}, \end{cases} \quad (8)$$

где $r_k = 0,5d$ – радиус колеса;

k – коэффициент сопротивления качению,

ω_i – угловая скорость колеса,

m_{ki} – масса колеса,

$J_{\Sigma i}$ – суммарный момент инерции колеса.

В качестве симуляции математической модели колесного робота была смоделирована элементная база с двумя независимыми приводными колесами в среде *Matlab/Simulink* (рис. 4).

Результатом симуляции математической модели колесного робота с двумя независимыми приводными колесами стало построение графика в среде *Matlab/Simulink*, который получен путем описания центра масс робота в плоскости (x, y) . Причем показатели $Constant = 5$, $Constant1 = 10$, что характеризует уровень подачи напряжения на привод колеса.

Таким образом, математическую модель движения робота можно считать достоверной, так как траектория, полученная путем использования функции *PLOT* $(x; y)$ в среде *Matlab/Simulink*, представляет собой

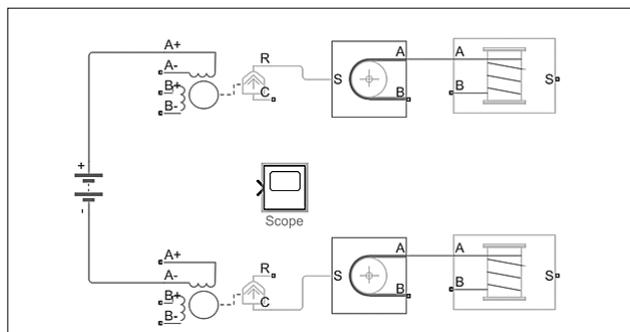


Рис. 4. Элементы симуляции привода колесного робота в среде *Matlab/Simulink*

Fig. 4. Elements of simulation of a wheeled robot drive in the *Matlab/Simulink* environment

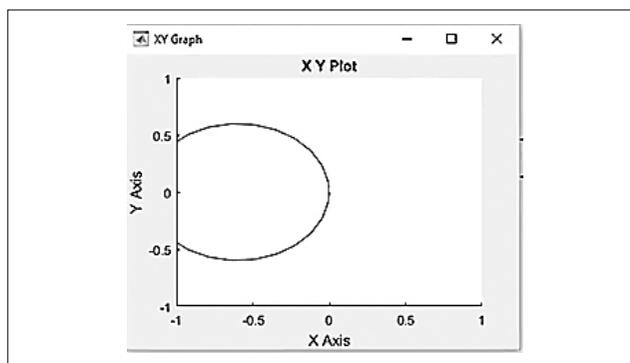


Рис. 5. Траектория движения центра масс модели колесного робота

Fig. 5. Trajectory of the center of mass of the wheeled robot model

окружность благодаря разности подаваемого напряжения на приводы колеса (рис. 5).

Выводы. Разработанная математическая модель системы управления колесной роботизированной платформой формирует основу создания системы управления разрабатываемого робота. Реализация предложенной концепции и ее внедрение в технологический процесс кормления крупного рогатого скота снизит затраты на оплату труда обслуживающему персоналу. Система дозирования концентрированных кормовых добавок обеспечит повышение вкусовых качеств объемистых кормовых компонентов в процессе скармливания, обеспечивая баланс потребляемого рациона.

Исследования выполнены при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «У.М.Н.И.К.» – У-56377.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валецкий Ю.Е. Технологическая модернизация молочных ферм в племязаводе ЗАО «Зеленоградское» // *Техника и оборудование для села*. 2008. N5. С. 9-11.
2. Мишуров Н.П. Информационный менеджмент молочного скотоводства // *Вестник ВНИИМЖ*. 2014. N4. С. 41-48.
3. Иванов Ю.А., Сыроватка В.И., Морозов Н.М. Механи-



зация и автоматизация процессов в животноводстве. Сборник статей. Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Провдинский). 2019.

4. Ерохин М.Н., Катаев Ю.В., Вергазова Ю.Г. Проблемы изготовления и ремонта машин АПК с позиции принципа 5м. Всероссийская научно-техническая конференция "Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении". Сборник докладов. 2019. С. 158-161.

5. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*. 2017. May, 100(5). 4172-4183.

6. Yang Fan, Liu Shi-rong, Liu Fei. Cooperative transport strategy for formation control of multiple mobile robots. *Journal of Zhejiang University-Science C-Computers & Electronics*. 2010. Dec. Vol. 12. 931-938.

7. Scott V.E., Kerrisk K.L., Thomson P.C. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*. 2015. Jan. Vol. 71. 52-63

8. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Заикин В.П. Математическая модель управления электромоторизованным приводом робота для обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах // *Вестник НГИЭИ*. 2020. N7(110). С. 14-24.

9. Никитин Е.А., Семенюк В.С. Анализ проблем эффективного приготовления кормовой смеси в современном животноводстве // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N2(34). С. 158-163.

10. Halachmi I., Borsting C.F., Maltz E. Feed intake of Holstein, Danish Red, and Jersey cows in automatic milking systems. *Livestock Science*. 2011. Jun. Vol. 1-3

11. Jacobs J.A., Siegford J.M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2012. May. Vol. 95, Iss. 5, 2227-2247.

12. Tseu Ramos Jorge, Perna Junior Flavio, Carvalho Roberta Ferreira. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Dec. Vol. 14. 262-273.

13. Rodrigues Rodrigo O., Cooke Reinaldo F., Firmino Franciele C. Productive and physiological responses of lactating dairy cows supplemented with phytogenic feed ingredients. *Translational Animal Science*. 2019. Jul. Vol. 4. 1133-1142.

14. Khmelovskiy V., Rogach S., Tonkha O., Rosamaha Y. Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. Book series: *Engineering for Rural Development*. 2019. 18. N468. 299-304.

15. Nazli Muhamad Hazim, Halim Ridzwan Abdul, Abdullah Amin Mahir. Potential of feeding beef cattle with whole corn crop silage and rice straw in Malaysia. *Tropical Animal Health And Production*. 2018. Jun. Vol. 5. 1119-1124.

16. Sinha S. K., Chaturvedi V.B., Singh Putan. Effect of high and low roughage total mixed ration diets on rumen metabolites and enzymatic profiles in crossbred cattle and buffaloes. *Veterinary World*. 2017. Jun. Vol. 6. 616-622.

17. Salazar Luces, Jose Victorio, Matsuzaki Shin, Hirata Yasuhisa RoVaLL. Design and Development of a Multi-Terrain Towed Robot With Variable Lug-Length Wheels. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 2020. Vol. 4. 6017-6024.

18. Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Sep. Vol. 9. 7640-7654.

19. Rodenburg Jack. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. Sep. 2017. Vol. 9. 7729-7738.

20. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Овчаренко А.С., Кузьмин В.А. О разработке двухзвенного малогабаритного роботизированного транспортно-технологического средства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2020. N1(34). С. 4-14.

REFERENCES

1. Valeckiy Yu.E. Tekhnologicheskaya modernizatsiya molochnyh ferm v plemzavode ZAO «Zelenogradskoe» [Technological modernization of dairy farms in the stud farm JSC «Zelenogradskoe»]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2008. N5. 9-11 (In Russian).

2. Mishurov N.P. Informacionnyy menedzhment molochnogo skotovodstva [Information management of dairy cattle breeding]. *Vestnik VNIIMZH*. 2014. N4. 41-48 (In Russian).

3. Ivanov Yu.A., Syrovatka V.I., Morozov N.M. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya processov v zhivotnovodstve [Mechanization and automation of processes in animal husbandry]. Sbornik statey. Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskому obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa

(Pravdinskiy). 2019 (In Russian).

4. Erohin M.N., Kataev Yu.V., Vergazova Yu.G. Problemy izgotovleniya i remonta mashin APK s pozitsii principa 5m [Problems of manufacturing and repair of agricultural machinery from the point of view of the 5m principle]. Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt obespecheniya kachestva v mashinostroenii". Sbornik dokladov. 2019. 158-161 (In Russian).

5. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*. 2017. May. 100(5). 4172-4183 (In English).

6. Yang Fan, Liu Shi-rong, Liu Fei. Cooperative transport strategy for formation control of multiple mobile robots. *Journal Of Zhejiang University-Science C-Computers & Electronics*. Dec.

2010. Vol. 12. 931-938 (In English).

7. Scott V.E., Kerrisk K.L.; Thomson P.C. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*. Jan. 2015. Vol. 171. 52-63 (In English).

8. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Zaikin V.P. Matematicheskaya model' upravleniya elektromotorizirovannym privodom robota dlya obsluzhivaniya kormovogo stola na zhivotnovodcheskih kompleksah [A mathematical model of the control electro-motorized actuator of the robot for maintenance of feed table on animal farms]. *Vestnik NGIEI*. 2020. N7(110). 14-24 (In Russian).

9. Nikitin E.A., Semenyuk V.S. Analiz problem effektivnogo prigotovleniya kormovoj smesi v sovremennom zhivotnovodstve [Analysis of problems of effective preparation of feed mixture in modern animal husbandry]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva*. 2019. N2(34). 158-163 (In Russian).

10. Halachmi I., Borsting C.F., Maltz E. Feed intake of Holstein, Danish Red, and Jersey cows in automatic milking systems. *Livestock Science*. JUN. 2011. Vol. 1-3 (In English).

11. Jacobs J.A., Siegford J.M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2012. May. Vol. 95, Iss. 5, 2227-2247 (In English).

12. Tseu Ramos Jorge, Perna Junior Flavio, Carvalho Roberta Ferreira. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Dec. Vol. 14. 262-273 (In English).

13. Rodrigues Rodrigo O., Cooke Reinaldo F., Firmino Franciele C. Productive and physiological responses of lactating dairy cows supplemented with phytochemical feed ingredients. *Translational Animal Science*. 2019. Jul. Vol. 4. 1133-1142 (In English).

14. Khmelovskiy V., Rogach S., Tonkha O., Rosamaha Y. Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. Book series: *Engineering for Rural Development*. 2019. 18. N468. 299-304 (In English).

15. Nazli Muhamad Hazim, Halim Ridzwan Abdul, Abdullah Amin Mahir. Potential of feeding beef cattle with whole corn crop silage and rice straw in Malaysia. *Tropical Animal Health And Production*. 2018. Jun. Vol. 5. 1119-1124 (In English).

16. Sinha S. K., Chaturvedi V.B., Singh Putan Effect of high and low roughage total mixed ration diets on rumen metabolites and enzymatic profiles in crossbred cattle and buffaloes. *Veterinary World*. 2017. Jun. Vol. 6. 616-622 (In English).

17. Salazar Lucas, Jose Victorio, Matsuzaki Shin, Hirata Yasuhisa RoVaLL. Design and Development of a Multi-Terrain Towed Robot With Variable Lug-Length Wheels. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 2020. Vol. 4. 6017-6024 (In English).

18. Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Sep. Vol. 9. 7640-7654 (In English).

19. Rodenburg Jack Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. Sep. 2017. Vol. 9. 7729-7738 (In English).

20. Izmaylov A.Yu., Dorohov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Ovchinnikov E.V., Uytov S.Yu., Ovcharenko A.S., Kuz'min V.A. O razrabotke dvuhzvennogo malogabaritnogo robotizirovannogo transportno-tekhnologicheskogo sredstva [On the development of a two-link small-sized robotic transport and technological vehicle]. *Innovacii v sel'skom hozyaystve*. 2020. N1(34). 4-14 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 10.06.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 10.06.2020**

**Статья принята к публикации 04.09.2020
The paper was accepted
for publication on 04.09.2020**