

УДК 681.5

UDC 681.5

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agriculture

РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

ROBOTIC MEANS IN PLANT GROWING

Смирнов Игорь Геннадьевич
к.с.-х.н., учёный секретарь
РИНЦ SPIN-код автора: 3667-9385

Smirnov Igor Gennadevich
Cand.Agr.Sci., science secretary
RSCI SPIN-code: 3667-9385

Артюшин Анатолий Алексеевич
член-корр. РАН
РИНЦ SPIN-код автора 2763-2322

Artyushin Anatoliy Alekseevich
Corresponding member of Russian Academy sciences
RSCI SPIN-code: 2763-2322

Хорт Дмитрий Олегович
к. с.-х. н., заведующий лабораторией
РИНЦ SPIN-код автора: 3353-1010

Khort Dmitry Olegovich
Cand.Agr.Sci.
RSCI SPIN-code: 3353-1010

Филиппов Ростислав Александрович
к.с.-х.н., ст. научн. сотр.
РИНЦ SPIN-код: 4742-7353

Filippov Rostislav Aleksandrovich
Cand.Agr.Sci.
RSCI SPIN-code: 4742-7353

Кутырёв Алексей Игоревич
аспирант
РИНЦ SPIN-код: 9793-5074

Kutyrev Alexey Igorevich
postgraduate student
RSCI SPIN-code: 9793-5074

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Россия

Federal State Budgetary Scientific Institution All-Russian Research Institute of Mechanization for Agriculture of Russian Academy of Science, Russia

Цымбал Александр Андреевич
д.с.-х.н., профессор,
РИНЦ SPIN-код: 164199
Тимирязевская академия, Москва, Россия

Tsimbal Aleksandr Andreevich
Dr.Sci.Agr., professor
RSCI SPIN-code: 164199
Russian State Agrarian University, Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

В статье рассмотрены тенденции развития АПК на основе интеллектуализации технических средств, разработки и внедрения роботизированных машин в различные технологические операции. Проанализированы особенности конструкций и практического применения роботов с системами технического зрения в растениеводстве. Выявлена целесообразность и эффективность внедрения новых физических приемов обработки растений с помощью робототехнических средств, которые позволят автоматизировать технологические процессы обработки растений. Проведен анализ подвижности разрабатываемой в ВИМе модели робота на основе имитационного математического моделирования при различных условиях эксплуатации. Для проверки модели проведены расчеты динамического поведения корпуса робота при различных режимах движения. Представлены графики параметров движения, полученные по

The article considers tendencies of development of the agroindustrial complex based on intellectualization of technical means, development and implementation of robotic machines in different manufacturing operations. We have analyzed design features and practical application of robots with vision systems in crop production. We have identified the feasibility and effectiveness of the introduction of new physical methods of processing plants by means of robotic tools that will automate technological processes of processing plants. The article describes the analysis of the mobility of the model of robots developed in the WIM based on mathematical simulation at different operating conditions. To check the model, we present calculations of the dynamic behavior of the robot body at different driving modes. The study shows the graphs of movement parameters obtained from the results of simulation and dynamics of dispersal. The analysis identified the advantages of technological application of

результатам моделирования динамики разгона. В результате анализа определены преимущества технологического применения робота на примере садоводства

the robot on the example of gardening

Ключевые слова: ИННОВАЦИИ, РОБОТЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ, ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА, ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗРЕНИЕ

Keywords: INNOVATION, ROBOTS, EFFICIENCY, INTELLIGENT SYSTEM, COMPUTER VISION

Современной тенденцией развития сельскохозяйственного производства является его интеллектуализация, т.е. применение интеллектуальных систем (ИС) для управления технологическими процессами и операциями, принятия оптимальных решений при управлении производственными процессами в поле и на ферме.

В настоящее время находят практическое применение беспилотные тракторы и сельскохозяйственные агрегаты с интеллектуальными системами управления движением, технического зрения, способные распознавать образы, отличать культурное растение от сорняков и качественно выполнять технологическую операцию. Применение сельскохозяйственных роботов направлено на повышение экологической безопасности продукции, минимизацию вредного воздействия химикатов на человека и увеличение урожайности продукции [1].

Мировой рынок сельскохозяйственных роботов находится в фазе активного роста. Сельскохозяйственные роботы используются в каждом аспекте сельского хозяйства: полевые работы, доения, производство и сбор урожая, контроль состояния растений и животных. Сельскохозяйственный рынок роботов бурно развивается, и в 2013 г. достиг \$ 817 млн.

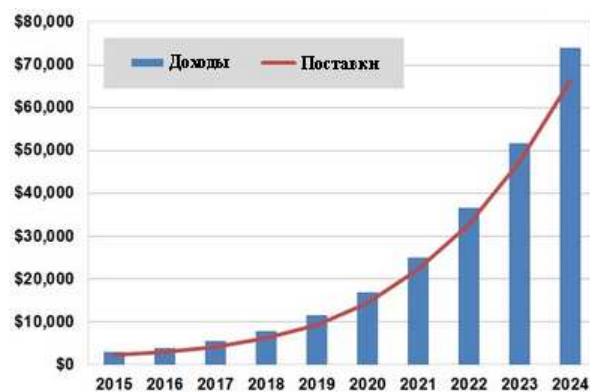


Рис. 1 - Прогноз развития рынка робототехнических средств для сельского хозяйства

По экспертным прогнозам, к 2020 г. эта цифра достигнет \$ 16,3 млрд. Это значительный рост для зарождающегося рынка, который в ближайшее время обеспечит выход на качественно новый уровень воспроизводственных процессов в сельском хозяйстве.

Производство сельскохозяйственной продукции с применением робототехнических средств обеспечит реализацию национальных инициатив и стратегий развития страны.

К перспективным направлениям развития сельскохозяйственной робототехники относятся:

- оснащение робототехнических средств искусственным интеллектом;
- разработка интеллектуальных систем позиционирования машин на сельскохозяйственной плантации с учётом рельефа местности, влажности грунта и технологических параметров насаждений.
- использование робототехнических средств для выведения новых сортов или пород с улучшенными характеристиками;
- расширение сферы применения робототехнических средств при производстве продукции растениеводства и животноводства.

Прогнозная структура применения сельскохозяйственных роботов представлена на рисунке 2.

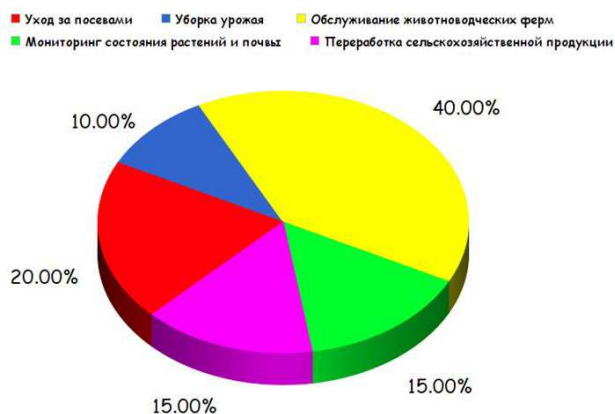


Рис.2. - Прогнозная структура применения сельскохозяйственных роботов

Обзор конструктивных параметров существующих робототехнических средств, получивших широкое распространение в промышленном растениеводстве отражает тенденции развития конструкций современных робототехнических систем для растениеводства (табл. 1).

Таблица 1 - Обзор конструктивных параметров существующих робототехнических средств для растениеводства

 <p>«ВИМ» – ЭЛЕКОМ 2,0</p>	<p>Двигатель, мощность - Электромоторы 2x1000 Вт</p> <p>Тип движителей - колесный</p> <p>Масса -250 кг</p> <p>Скорость движения -до 5 км/ч</p> <p>Тип управления - ГЛОНАСС</p> <p>Назначение: опрыскиватель-гербицидник</p>
 <p>Garre Anatis, Франция</p>	<p>Двигатель, мощность - Электромоторы 4x1000 Вт</p> <p>Тип движителей - колесный</p> <p>Масса -800 кг</p> <p>Скорость движения -10км/ч</p> <p>Тип управления - GPS</p> <p>Назначение: уход за молодыми посадками картофеля, земляники и других низкорастущих культур.</p>

 <p>Lynex TX1500, Дания</p>	<p>Двигатель, мощность -Дизель, 45 л.с. Тип трансмиссии -гидростатическая трансмиссия Тип движителей -гусеничный Масса -2200 кг Скорость движения -10 км/ч Тип управления - дистанционное 800 метров Назначение: кошение с мульчированием</p>
 <p>Agrobot SW6010, Испания</p>	<p>Двигатель, мощность -Lombardini Diesel 20,6 кВт Тип трансмиссии - гидростатическая трансмиссия Тип движителей - колесный Скорость движения - до 10 км/ч Тип управления - система навигации Назначение: сбор, сортировка, упаковка урожая</p>
 <p>RoboGreen, Италия</p>	<p>Двигатель, мощность - Isuzu 3 3000 Вт Тип движителей - гусеничный Масса -1040 кг Скорость движения -7 км/ч Тип управления -дистанционное 150 метров Назначение: косилка, измельчитель</p>
 <p>Wall-Ye, Франция</p>	<p>Двигатель, мощность - Электродвигатель Тип движителей - колесный Масса - 20 кг Скорость движения - 5,4 км/ч Тип управления - GPS Назначение: обрезка лоз винограда (до 600 лоз за день), удаление непродуктивных молодых побегов.</p>

 <p>BoniRob, Германия</p>	<p>Двигатель, мощность - Электродвигатель Тип движителей - колесный Масса -1100 кг Скорость движения -5,4 км/ч Тип управления - Назначение: прополка, внесение удобрений, мониторинг насаждений</p>
 <p>Naio, Франция</p>	<p>Двигатель, мощность -Электродвигатель Тип движителей - колесный Масса - 20 кг Скорость движения -5,4 км/ч Тип управления - GPS Назначение: обрезка, уборка урожая</p>

Таблица 1 - Робототехнические средства для растениеводства: а) «ВИМ» - Элеком, Россия - 2,0 б) Garre Anatis, Франция в) Agrobot SW6010, Испания г) BoniRob, Германия д) RoboGreen, Италия

Во Всероссийском НИИ механизации сельского хозяйства (ВИМ, г. Москва) разрабатываются фундаментальные основы создания и применения ИС в сельскохозяйственном производстве, специализированное программное обеспечение, средства автоматизации, инновационные машины и оборудование для получения различной информации об объектах обработки, принятия управленческих решений и реализации высокоточных интеллектуальных технологий производства продукции растениеводства и животноводства. Например, активно ведутся работы по обоснованию технологического применения и разработки интеллектуальных машин для садоводства [1,2,4]. Разрабатываемый робот для садоводства оснащается системой технического зрения и различными модулями для обработки садовых растений (рис. 3).

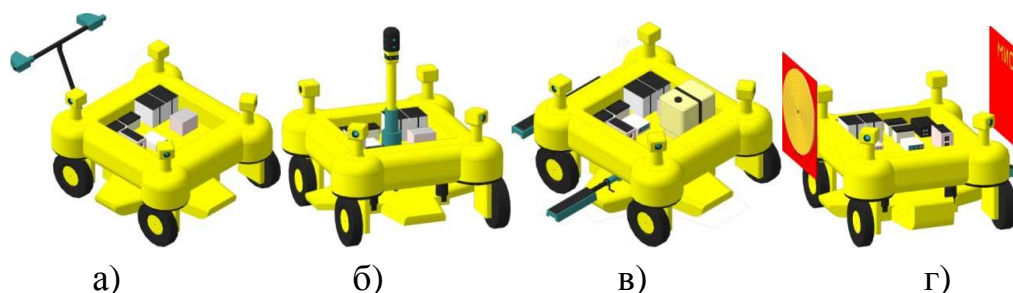


Рис.3 – Робот для садоводства с различными модулями: а) модуль «Лазерный облучатель растений» б) модуль «Мониторинга урожайности» в) модуль «Опрыскиватель–гербицидник» г) модуль «Магнитно-импульсной обработки растений»

Анализ подвижности модели робота на основе имитационного математического моделирования демонстрирует модели динамического поведения корпуса робота при различных режимах движения в условиях агрофона многолетних насаждений. Исходными данными для расчёта выступают: масса $m = 153 \text{ кг}$, номинальная мощность тягового двигателя ,

моменты инерции, относительно осей x, y, z , $93,26$; ; ; $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; радиус колеса $r = 0,3 \text{ м}$.

В программном комплексе многотельного проектирования математическая модель робота представлена в виде совокупности тел с различными упругодемпфирующими характеристиками. Данный метод позволяет на этапе проектирования провести оптимизацию конструктивных параметров.

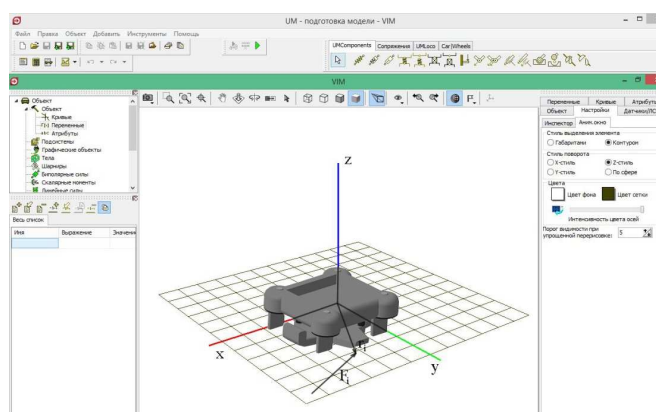


Рис. 4 – Динамическая модель корпуса

Уравнение динамики корпуса:

$$\begin{cases} m\ddot{S}_c = \sum_1^{k_f} F_i; \\ m\ddot{\omega}_c = \sum_1^{k_f} (A^T F_i) \cdot r_i + \sum_1^{k_m} M_{ei} + I \cdot \dot{\omega}_c; \end{cases}$$

где $S_c = (X, Y, Z)^T$ – вектор координат центра масс корпуса в неподвижной системе координат; $\omega_c = (\omega_x, \omega_y, \omega_z)^T$ – вектор проекции угловой скорости корпуса на подвижную, связанную с корпусом, систему координат; m – диагональная матрица масс тела; $I = \text{diag}(J_x, J_y, J_z)$ – диагональная матрица главных центральных моментов инерции корпуса; F_i – трехмерный вектор внешних сил, действующих на точку, заданный в неподвижной системе координат; r_i – радиус-вектор точки приложения силы в подвижной системе координат; M_{ei} – трехмерный вектор внешних моментов, действующих на точку, заданный в подвижной системе координат; k_m – количество внешних моментов; $I \cdot \dot{\omega}_c$ – вектор моментов гироскопических сил; I – вектор кинетического момента тела; A – ортогональная матрица поворота (ориентации) – переводит вектор, заданный в подвижной системе координат, в неподвижную систему.

В описании модели используются кинематические уравнения Эйлера:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \frac{\omega_x \cos\psi - \omega_y \sin\psi}{\cos\theta} \\ \dot{\theta} = \omega_x \sin\psi + \omega_y \cos\psi \\ \dot{\psi} = (\omega_y \sin\psi + \omega_x \cos\psi) \tan\theta + \omega \end{cases}$$

где φ , θ , ψ - корабельные углы Эйлера – углы последовательных поворотов вокруг осей x,y,z связанной с корпусом системой координат. Матрица поворота определяется через углы:

$$A = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \cos\psi & \sin\theta \sin\psi \\ -\sin\theta \cos\psi & \cos\theta & \sin\psi \\ \sin\theta \sin\psi & -\sin\psi & \cos\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\cos\theta \sin\psi \\ \sin\theta \sin\psi \\ \cos\psi \end{pmatrix}$$

На рис.4 представлены графики параметров движения, полученные по результатам моделирования динамики разгона.

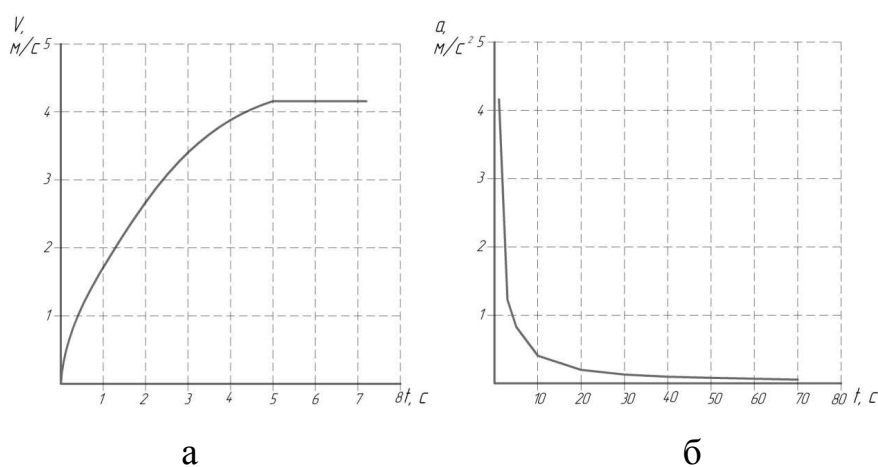


Рис. 5 – Графики параметров движения: а) график изменения скорости
 б) график изменения ускорения

Робот в автоматическом режиме с помощью системы технического зрения и технологического адаптера с электрическим цилиндром будет подстраивать высоту и угол модулей с навесным оборудованием под высоту растений и, продолжая движение, вести их обработку [3,5].

Выводы

В современных условиях ведения сельского хозяйства использование роботизированных машин (на примере садоводства) позволит создавать высокоинтеллектуальное, автоматизированное производство, позволяющее полностью заменять ручной труд и сокращать потери рабочего времени, связанные с человеческим фактором [6].

Применение разрабатываемого в ВИМе робота для садоводства с различными модулями позволит повысить качество, функциональную активность растений, сократить количество хим. обработок и сэкономить трудовые затраты на 15-25%.

Литература

1. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие: проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. № 5. С. 9-14.
2. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Многофункциональное робототехническое средство с системой технического зрения // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 4(14). – С. 115-121.
3. Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Машины для точного земледелия в садоводстве // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. докл. Междунар. науч.- техн. конф. - М.: ВИМ. 2014. – С.376-379.
4. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Анализ технологического применения многофункционального беспилотного робота // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства: Сб. Докл. науч. техн. конф. Ч.2 –М.:ВИМ, 2015. – С. 207-209.
5. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Лобачевский Я.П., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Роботы для современных машинных технологий в растениеводстве// Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства:Сб. Докл. науч. техн. конф. Ч.2 –М.:ВИМ, 2015. – С. 129-132.
6. Пат. 156677 РФ. Самоходный робот-опрыскиватель для обработки растений земляники и других низкорастущих культур / Измайлов А.Ю., Филиппов Р.А., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Гришин А.А., Гришин А.П., Марченко Л.А. // Бюл, 2015. - №31.
7. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Смирнов И.Г. Технологические адаптеры для современных машинных технологий в садоводстве // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.- техн. конф. Ч.1. – М.: ВИМ. 2013. – С.199-202.

References

1. Izmajlov A.Ju., Lichman G.I., Marchenko N.M. Tochnoe zemledelie: problemy i puti reshenija // Sel'skohozjajstvennyye mashiny i tehnologii. 2010. № 5. S. 9-14.
2. KHort D.O., Filippov R.A., Kutyrjov A.I. Mnogofunkcional'noe robototekhnicheskoe sredstvo s sistemoj tehničeskogo zrenija // Innovacii v sel'skom hozjajstve. – 2015. – № 4(14). – S. 115-121.
3. Smirnov I.G., KHort D.O., Filippov R.A. Mashiny dlja tochnogo zemledelija v sadovodstve // Innovacionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nyh mashinnyh tehnologij: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.- tehn. konf. - M.: VIM. 2014. – S.376-379.
4. Izmajlov A.Ju., Smirnov I.G., KHort D.O., Filippov R.A. Analiz tehnologičeskogo primeneniya mnogofunkcional'nogo bespilotnogo robota // Intellektual'nye mashinnye

tehnologii i tehnika dlja realizacii gosudarstvennoj programmy razvitija sel'skogo hozjajstva: Cb. Dokl. nauch. tehn. konf.Ch.2 –M.:VIM, 2015. – S. 207-209.

5. Izmajlov A.Ju., Smirnov I.G., Lobachevskij Ja.P., KHort D.O., Filippov R.A. Roboty dlja sovremennyh mashinnyh tehnologij v rastenievodstve// Intellektual'nye mashinnye tehnologii i tehnika dlja realizacii gosudarstvennoj programmy razvitija sel'skogo hozjajstva:Cb. Dokl. nauch. tehn. konf.Ch.2 –M.:VIM, 2015. – S. 129-132.

6. Pat. 156677 RF. Samohodnyj robot-opryskivatel' dlja obrabotki rastenij zemljaniki i drugih nizkorastushhih kul'tur / Izmajlov A.Ju., Filippov R.A., Hort D.O., Smirnov I.G., Grishin A.A., Grishin A.P., Marchenko L.A. // Bjul, 2015. - №31.

7. KHort D.O., Filippov R.A., Smirnov I.G. Tehnologicheskie adaptery dlja sovremennyh mashinnyh tehnologij v sadovodstve // Sistema tehnologij i mashin dlja innovacionnogo razvitija APK Rossii: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.- tehn. konf. Ch.1. – M.: VIM. 2013. – S.199-202.