

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 631.3; 004

Беспилотные аппараты для сельского хозяйства: обзор и концепция совершенствования

Скопинцев К.Ю., Никитин Д.В.

Аннотация. Рассмотрен анализ современного состояния робототехнических средств для сельского хозяйства. Как показал анализ, современная тенденция развития роботехники для сельского хозяйства направлена на создание беспилотных аппаратов, состоящих из различных технических и интеллектуальных систем, которые необходимо интегрировать и правильно синхронизировать для эффективного выполнения сельскохозяйственных операций. Вместе с тем приоритетной задачей создания новых и совершенствования существующих конструкций беспилотных аппаратов для выполнения комплекса механизированных работ в сельском хозяйстве является создание дешевого, конкурентоспособного продукта с простым интерфейсом и низким порогом вхождения для оператора аппарата. В этой связи на этапе исследований важно заложить фундамент поэтапной концепции развития и совершенствования отечественного роботостроения в агропромышленном комплексе. На первом этапе предлагаемой концепции необходимо разработать простой, коммерчески доступный продукт для фермерских хозяйств и КФХ, осуществляющий многопараметрический контроль за парком технических средств. На втором этапе необходимо показать максимальную практическую пользу робототехнических решений, используемых без глубоких вмешательств в конструкцию технического средства, оставляющих возможность выбора управления процессом. Базируясь на экспериментальных разработках второго этапа, третий этап предполагает создание рабочего варианта технического зрения, способного определять характеристики растений (этапы созревания, болезни), распознавать человека, насекомых, препятствия, неровности дороги, параметры дороги, такие как: твердое покрытие или полевая дорога. При этом система должна передавать/принимать данные внутри сельскохозяйственной экосистемы, а также создавать шаблоны передвижения технического средства. Заключительный этап концепции предполагает развитие системы управления техническим средством без участия человека на трассах, полях, производственных территориях и пересеченной местности. Предлагаемая концепция позволит проектировать и разрабатывать беспилотные аппараты нового поколения для эффективного выполнения сельскохозяйственных операций.

Ключевые слова: робототехника, беспилотные аппараты, сельское хозяйство, обзор, концепция развития.

Для цитирования: Скопинцев К.Ю., Никитин Д.В. Беспилотные аппараты для сельского хозяйства: обзор и концепция совершенствования // Инновационная техника и технология. 2020. № 4 (25). С. 30–35.

Unmanned agriculture: overview and improvement concept

Skopintsev K. Yu., Nikitin D. V.

Abstract. The analysis of the current state of robotic means for agriculture is considered. As

the analysis has shown, the current trend in the development of robotics for agriculture is aimed at creating unmanned vehicles consisting of various technical and intelligent systems that need to be integrated and correctly synchronized for the efficient performance of agricultural operations. At the same time, the priority task of creating new and improving existing designs of unmanned vehicles for performing a complex of mechanized work in agriculture is the creation of a cheap, competitive product with a simple interface and a low entry threshold for the operator of the vehicle. In this regard, at the research stage, it is important to lay the foundation for a phased concept for the development and improvement of domestic robotics in the agro-industrial complex. At the first stage of the proposed concept, it is necessary to develop a simple, commercially available product for farms and peasant farms that carries out multi-parameter control over the fleet of technical means. At the second stage, it is necessary to show the maximum practical benefit of robotic solutions used without deep interventions in the design of the technical means, leaving the choice of process control. Based on the experimental developments of the second stage, the third stage involves the creation of a working version of technical vision capable of determining the characteristics of plants (stages of maturation, diseases), recognizing humans, insects, obstacles, road irregularities, road parameters such as: hard surface or field road. In this case, the system must transmit / receive data within the agricultural ecosystem, as well as create templates for the movement of a technical vehicle. The final stage of the concept involves the development of a control system for a technical facility without human intervention on highways, fields, industrial areas and rough terrain. The proposed concept will make it possible to design and develop a new generation of unmanned aerial vehicles for efficient agricultural operations.

Keywords: robotics, unmanned vehicles, agriculture, overview, development concept.

For citation: Skopintsev K. Yu., Nikitin D.V. Unmanned agriculture: overview and improvement concept. *Innovative Machinery and Technology*. 2020. No.4 (25). pp. 30–35. (In Russ.).

Введение

В последние годы во всем мире проведено значительное количество исследований в области создания автономных робототехнических средств для выполнения сельскохозяйственных операций. Разработаны различные полукommerческие и коммерческие образцы инновационной беспилотной наземной и воздушной техники. Для успешного выполнения задач в неструктурированной сельскохозяйственной среде были применены последние достижения в области интеллектуальных систем. Вместе с тем стоимость подобных автоматизированных платформ остается достаточно высокой, а также существует ряд проблем адаптации беспилотников к изменяющимся условиям окружающей среды.

Беспилотные наземные аппараты (БНА) для выполнения сельскохозяйственных операций были определены в этой статье, как автоматические машинные комплексы, выполнявшие аграрные и частично транспортные задачи. БНА в будущем ключевой элемент для выполнения гибких задач в АПК секторе. Такие машины упрощают задачи выполнения комплекса механизированных работ в сельском хозяйстве [1].

В настоящее время БНА все чаще используются в отрасли АПК: современный трактор способен без вмешательства водителя обрабатывать почву, при этом позиционировать сельскохозяйственный агрегат с наиболее высокой точностью, повышая

эффективность обработки почвы, одновременно снижая трудозатраты [2].

Преимущества применения БНА заключаются в следующем:

- большая точность и скорость выполнения операций;
- отсутствие человеческого фактора;
- выполнение монотонных и тяжелых работ;
- функционирование в агрессивных, вредных и опасных местах, недоступных человеку;
- отсутствие потребности в социальных расходах и ряд других преимуществ.

Целью работы являлось анализ современного состояния робототехнических средств в сельском хозяйстве и разработка поэтапной концепции проектирования и конструирования отечественных беспилотных аппаратов нового поколения.

Объекты и методы исследования

Основные методологические задачи, приведенные к концепции настоящего обзора, заключаются в следующем: выявить существующие в настоящее время беспилотные наземные аппараты для сельского хозяйства; выполнить анализ основных текущих ключевых проблем беспилотных наземных аппаратов; предложить поэтапную концепцию проектирования и конструирования конкурентоспособных отечественных беспилотных аппаратов нового поколения для эффективного выполнения сельскохозяйственных операций.

Результаты и их обсуждение

Для создания высокоэффективных БНА надо решить ряд основных проблем.

Первая проблема при создании БНА – это наличие точной навигации транспортного средства. Несмотря на высокий уровень сложности и в настройке, и в сервисном обслуживании, большинство зарубежных и российских разработчиков строят технологию с применением лидара [2]. Однако лидар имеет ряд ограничений. Например, в условиях плохой погоды беспилотник с лидаром не сможет беспрепятственно преодолевать расстояния – система не функционирует ни в тумане, ни в снегопад. Также лидар очень дорог – наличие только одного лидара повышает себестоимость транспортного средства на несколько тысяч долларов США.

Оптические системы навигации также не способны полностью функционировать в сложных условиях. Оптическая система может надежно работать только в легкий дождь или пролетающий снег. Практически отсутствуют экспериментально проверенные данные о безошибочной работе автопилота в снегопад, ливень или в плотном тумане. Даже при «идеальных» (солнечная погода) погодных условиях автопилот не всегда адекватно реагирует на внешние факторы. Практикой подтверждены ошибки камер Autopilot (в результате ослепление солнечными лучами) известных мировых производителей робомобилей Tesla, приведшие к возникновению серьезного дорожно-транспортного происшествия. Это свидетельствует о несовершенстве существующих навигационных систем, требующих глубоких фундаментальных исследований.

Сегмент тракторов без водителя наиболее перспективный для роста в прогнозном периоде и в ближайшей перспективе сможет составить конкуренцию лидерам роботизации АПК – агродронам, так как автономные тракторы уже довольно давно проходят полевые испытания в США, Китае, Японии и Индии [3].

По утверждению аналитиков повышение доступности систем автоматического управления и повышение точности при помощи GPS позволяют тракторам и другим сельскохозяйственным наземным транспортным средствам работать автономно. Более легкие и компактные тракторы заменят тяжелые модели в будущем, чтобы минимизировать повреждение почвы. Высокая стоимость автономных тракторов уже подтолкнула некоторые компании к принятию модели лизинга.

Сельскохозяйственные беспилотные летательные аппараты (БПЛА) также относятся к фаворитам. Фермеры все чаще обращают внимание на беспилотники из-за их доступности и преимуществ для мониторинга и опрыскивания урожая. Подходят они и для управления животноводческой фермой. Так, в 2020 году, сегмент БПЛА или беспилотников, по оценкам будет занимать наибольшую долю рынка.

Востребованность агродронов будет неизбежно возрастать, так как они являются недорогими сельскохозяйственными роботами, которые могут использоваться на фермах разных размеров, особенно на полях менее 50 га. С ростом инвестиций в разработки, можно ожидать удешевления агродронов и появления новых беспилотников с усовершенствованным функционалом. Разнообразие и количество полевых роботов превалирует над роботами для «внутренних работ».

«Внутренние» роботы (доильные аппараты, роботы для обработки растений и сбора фруктов) занимают меньшую часть рынка, так как фермеры заинтересованы в помощниках для обработки больших площадей.

Одной из приоритетных площадок развития роботизации является сегмент растениеводства, где востребованы автоматизированные комбайны и тракторы. Большинство приложений для беспилотных летательных аппаратов ориентированы на кукурузу и сахарный тростник. Также перспективным направлением для снижения экологической нагрузки на окружающую среду является создание БНА на газодизельных двигателях [4].

К 2025 году большая доля рынка агроботов сконцентрируется в Северной и Южной Америке. Число фермеров, выбирающих автоматизацию сельскохозяйственной деятельности, постоянно растет в регионе на фоне ужесточения иммиграционного контроля и нехватки рабочей силы.

Роботизированные уборочные машины проходят испытания во Флориде и Калифорнии для сбора яблок, клубники, винограда и других культур. Многие крупные фермерские компании в настоящее время являются стратегическими инвесторами для роботизированных стартап-компаний.

Ожидается, что Канада и Мексика также продемонстрируют положительную тенденцию к внедрению сельскохозяйственных роботов.

Основными разработчиками БНА сейчас являются компании: Deere & Company (США), Trimble (США), AGCO Corporation (США), AgJunction (США), DJI (Китай), Boumatic (Нидерланды), Lely (Нидерланды), DeLaval (Швеция), Topcon (США) и AgEagle Aerial Systems (США). Кроме того, Abundant Robotics (США) и Iron Ox (США).

На основании проведенного анализа представим концепцию создания новых и совершенствование существующих конструкций беспилотных наземных аппаратов для сельского хозяйства в несколько этапов.

На первом этапе необходимо разработать простой, доступный продукт для фермерских хозяйств и КФХ, то есть средство для контроля за техническими средствами.

Основными требованиями, предъявляемыми к такому продукту, будут являться:

- дешевизна;
- удобство использования;
- модульность;

- стабильность;
- хорошая техническая поддержка;
- надежность;
- статистика и аналитика внутри продукта, предоставляемая конечному пользователю;
- интеграция в интернет.

Главным инструментом сбора информации и статистики будет выступать модуль, устанавливаемый на технического средства (ТС), который должен быть простым, надёжным и дешёвым, а также с возможностью его установки без глубокого вмешательства в конструкцию ТС. При этом данное устройство обязано считывать максимальное количество параметров и иметь связь с сервером сбора статистики и ГЛОНАСС.

Основные параметры технических средств, которые необходимо заносить в базу данных:

- расход топлива;
- количество топлива;
- время работы;
- время простоя;
- количество рейсов и количество груза, перевезённого за определенное время для грузового ТС;
- производительность ТС на обработке почвы.

Таким образом, на основе собранной информации необходимо предоставлять конечному пользователю, помимо основных параметров, аналитические данные, основанные на статистике, а именно:

- необходимое количество топлива на обработку 1 га почвы, определенного ТС;
- необходимое количество времени на обработку 1 га почвы, определенного ТС;
- необходимое количество топлива на перевозку 1 тонны груза на 1 км определенного ТС;
- необходимое количество времени на перевозку 1 тонны груза на 1 км определенного ТС;
- наиболее производительный ТС;
- сводную статистику по всем ТС.

Для конечного пользователя эти данные необходимо структурировать и вывести в наиболее доступной форме на ПК или смартфон посредством системы «сервер → клиент».

При этом клиент будет иметь свой личный кабинет, что дает возможность владеть обширной статистикой для разработки робототехники и инструментом продвижения собственных товаров и услуг. Стоит отметить необходимость создания функционального и простого интерфейса данного продукта.

На втором этапе необходимо показать максимальную практическую пользу робототехнических решений, осуществляемых без глубоких вмешательств в конструкцию ТС, оставляя возможность выбора управления процессом. При этом окончательно сформировать сельскохозяйственную экосистему и соединить в единую сеть все ТС внутри хозяйства.

Для этого необходимо создать замкнутую систему, предоставляющую для конечного клиента

варианты решений задач, основанных на статистике. Например:

1. Иванов И.И.
 - К-701
 - Производительность: 1,2 га/час
 - Расход топлива: 30л/час
 - Наиболее производительные поля: №1, №7, №9
 - Наименее производительные поля: №2, №3, №8
 - Наиболее производительные время: день
 - Эксплуатация ТС: нормально
2. Федоров И.И.
 - К-701
 - Производительность: 1,3 га/час
 - Расход топлива: 32л/час
 - Наиболее производительные поля: №2, №3, №8
 - Наименее производительные поля: №1, №7, №9
 - Наиболее производительные время: ночь
 - Эксплуатация ТС: нормально

Опираясь на статистику, мы можем предоставить клиенту вариант эксплуатации трактора в две смены: при этом на разных полях в силу индивидуальных умений трактористов, основанных на статистике, для экономии топлива и времени.

Далее необходимо внедрить робототехнику в сельскохозяйственную экосистему по трём категориям:

1. Системы помощи: помощь при посеве, основанная на корректировке направления движения ТС, синхронизация скорости, система памяти движения по полю, передаваемая внутри экосистемы между ТС и корректировки относительно габаритов, что даст экономию на топливе и большую производительность.
2. Системы контроля: видеорегиистратор с потоковой передачей, контроль качества зерна, контроль загрязненности масла и топлива, контроль веса грузовых авто.
3. Экспериментальные системы необходимые для дальнейшего развития: компьютерное зрение, роботизация КПП, роботизация гидравлической части ТС, роботы компаньоны для АПК.

На третьем этапе, базируясь на экспериментальных разработках второго этапа, необходимо создать рабочий вариант компьютерного зрения, способного распознавать препятствия, неровности дороги, параметры дороги, такие как: твердое покрытие или полевая дорога. При этом система должна передавать/принимать данные внутри экосистемы, создавать шаблоны передвижения ТС.

Роботизированную КПП синхронизировать с системой управления и тормозной системой, добиться полного контроля автомобиля, при этом оставить главенствующим в принятии решений - водителя ТС.

Заключительный этап концепции предполагает развитие системы управления ТС без участия

человека на трассах, полях, производственных территориях и пересеченной местности, в том числе и разработку ТС изначально направленного на работу без человека.

Выводы

Современная тенденция развития робототехники для сельского хозяйства направлена на создание беспилотных аппаратов, состоящих из различных технических и интеллектуальных систем, которые необходимо интегрировать и правильно синхронизировать для эффективного выполнения сельскохозяйственных операций. Для проектирования и разработки отечественных беспилотных аппаратов нового поколения предложена поэтапная концепция, включающая:

1. Разработку общего программного решения для предприятий АПК сектора.

2. Разработку программного решения объединяющего технические средства хозяйства в единую систему.

3. Разработку технических решений роботизации транспортных средств без полной передачи управления компьютеру.

4. Разработку технических решений роботизированного управления техническими средствами и беспилотными наземными аппаратами без вмешательства человека.

Реализация этой концепции позволит проектировать и разрабатывать конкурентоспособные беспилотные аппараты нового поколения для эффективного выполнения сельскохозяйственных операций.

Список литературы

- [1] Рунов, Б.А. Применение робототехнических средств в АПК: статья [Текст] / Б.А. Рунов // С.-х. машины и технологии, 2016, №2. С. 44
- [2] Faieza A.A., Johari R.T., Anuar A.M., Rahman M.H.A., Johar A. Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle. *Advanced Robot Automation* 5: 140.2006. DOI: 10.4172/2168-9695.1000140
- [3] Li, Yibo & Cao, Qi & Liu, Fang. (2020). Design of control system for driverless tractor. *MATEC Web of Conferences*. 309. 04001. 10.1051/mateconf/202030904001.
- [4] Аль-Майди А.А.Х. Перспективы переоборудования сельскохозяйственных дизельных машин на газомоторное топливо / Аль-Майди А.А.Х., Д.А. Чернецов, Ю.В. Родионов, П.И. Селиванова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2017. №4(66). С. 200-206.
- [5] Конкин, Ю.А. Экономика технического сервиса на предприятиях АПК / К.З. Бисултанов, М.Ю. Конкин. под ред. Ю.А. Конкина. М.: Колос, 2005. 368 с.
- [6] Мишин, Б.С. Системы управления машинами и агрегатами в маточниках и питомниках на основе следящего рабочего органа. [Текст] / Б.С. Мишин, А.С. Гордеев, В.Ю. Ланцев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: матер. Междунар. науч. практ. конф. 10-12 ноября 2014 года. Мичуринск: Изд-во ООО «БиС». 2017. с. 104-109.
- [7] Мишин, Б.С. Следящая система рабочего органа для подрезки растений. [Текст] / Б.С. Мишин, А.С. Гордеев // Робототехника в сельскохозяйственных технологиях: матер. Междунар. науч. практ. конф. 10-12 ноября 2014 года. Мичуринск: Изд-во ООО «БиС». 2017. с. 225-229.
- [8] Бабушкин, В.А. Проект наземного роботизируемого комплекса для нужд садоводства и растениеводства / В.А. Бабушкин, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, В.П. Николашин, С.И. Данилин, Р.Р. Ковалев, В.А. Юдаев // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2018. № 4. С. 6-13.
- [9] The control system of universal platform for agriculture based on machine vision technology Siuhin A., Nikolukin M., Nikitin D. // В сборнике: *E3S Web of Conferences*. 2019. С. 00017.
- [10] Никитин, Д.В. Система управления универсальной платформой для сельского хозяйства на основе технологии машинного зрения / Д.В. Никитин, А.А. Сиухин, М.С. Николукин // В сборнике: *Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК*. 2019. С. 382-387.
- [11] Никитин, Д.В. Алгоритм анализа положения окружающих объектов системой управления универсальной платформой для сельского хозяйства на основе технологии машинного зрения / Д.В. Никитин, А.А. Сиухин, М.В. Зверев // В сборнике: *Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК*. 2019. С. 395-399.

References

- [1] Runov, B.A. Primenenie robototekhnicheskikh sredstv v APK: stat'ya [Tekst] / B.A. Runov // S.-kh. mashiny i tekhnologii, 2016, No.2. P. 44.

- [2] Faieza A.A., Johari R.T., Anuar A.M., Rahman M.H.A., Johar A. Review on Issues Related to Material Handling using Automated Guided Vehicle. *Advanced Robot Automation* 5: 140.2006. DOI: 10.4172/2168-9695.1000140.
- [3] Li, Yibo & Cao, Qi & Liu, Fang. (2020). Design of control system for driverless tractor. *MATEC Web of Conferences*. 309. 04001. 10.1051/mateconf/202030904001.
- [4] Al'-Maidi A.A.Kh. Perspektivy pereoborudovaniya sel'skokhozyaistvennykh dizel'nykh mashin na gazomotornoe toplivo / Al'-Maidi A.A.Kh., D.A. Chernetsov, Yu.V. Rodionov, P.I. Selivanova // *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki*. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2017. No.4(66). pp. 200-206.
- [5] Konkin, Yu.A. *Ekonomika tekhnicheskogo servisa na predpriyatiyakh APK / K.Z. Bisultanov, M.Yu. Konkin*. pod red. Yu.A. Konkina. M.: Kolos, 2005. 368 p.
- [6] Mishin, B.S. Sistemy upravleniya mashinami i agregatami v matochnikakh i pitomnikakh na osnove sledyashchego rabocheho organa. [Tekst] / B.S. Mishin, A.S. Gordeev, V.Yu. Lantsev // *Robototekhnika v sel'skokhozyaistvennykh tekhnologiyakh: mater. Mezhdunar. nauch. prakt. konf. 10-12 noyabrya 2014 goda*. Michurinsk: Izd-vo OOO «BiS». 2017. pp. 104-109.
- [7] Mishin, B.S. Sledyashchaya sistema rabocheho organa dlya podrezki rastenii. [Tekst] / B.S. Mishin, A.S. Gordeev // *Robototekhnika v sel'skokhozyaistvennykh tekhnologiyakh: mater. Mezhdunar. nauch. prakt. konf. 10-12 noyabrya 2014 goda*. Michurinsk: Izd-vo OOO «BiS». 2017. pp. 225-229.
- [8] Babushkin, V.A. Proekt nazemnogo robotiziruемого kompleksa dlya nuzhd sadovodstva i rastenievodstva / V.A. Babushkin, Yu.V. Rodionov, D.V. Nikitin, V.P. Nikolashin, S.I. Danilin, R.R. Kovalev, V.A. Yudaev // *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. No.4. pp. 6-13.
- [9] The control system of universal platform for agriculture based on machine vision technology Siuhin A., Nikolukin M., Nikitin D. // *V sbornike: E3S Web of Conferences*. 2019. P. 00017.
- [10] Nikitin, D.V. Sistema upravleniya universal'noi platformoi dlya sel'skogo khozyaistva na osnove tekhnologii mashinnogo zreniya / D.V. Nikitin, A.A. Siukhin, M.S. Nikol'yukin // *V sbornike: Sovremennye problemy osvoeniya novoi tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK*. 2019. pp. 382-387.
- [11] Nikitin, D.V. Algoritm analiza polozheniya okruzhayushchikh ob'ektov sistemoi upravleniya universal'noi platformoi dlya sel'skogo khozyaistva na osnove tekhnologii mashinnogo zreniya / D.V. Nikitin, A.A. Siukhin, M.V. Zverev // *V sbornike: Sovremennye problemy osvoeniya novoi tekhniki, tekhnologii, organizatsii tekhnicheskogo servisa v APK*. 2019. pp. 395-399.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Скопинцев Константин Юрьевич магистрант кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112А Тел.: +7(909) 235-03-56 E-mail: bmwtmb@gmail.com</p>	<p>Skopintsev Konstantin Yur'evich undergraduate of the department «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(909) 235-03-56 E-mail: bmwtmb@gmail.com</p>
<p>Никитин Дмитрий Вячеславович кандидат технических наук доцент кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112А Тел.: +7(915) 862-53-23 E-mail: vacuum2008@yandex.ru</p>	<p>Nikitin Dmitriy Vyacheslavovich associate professor at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University Phone: +7(915) 862-53-23 E-mail: vacuum2008@yandex.ru</p>