

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО РЫНКА РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.

Ч. 1. Беспилотная агротехника

А.В. Шевченко, Р.В. Мещеряков, А.Н. Мигачев

Аннотация. Представлен обзор мирового рынка беспилотной агротехники и роботизированных устройств и комплексов, применяемых в различных областях сельского хозяйства. Выделены основные направления в применении агроботов и целесообразность их внедрения в сельское хозяйство наряду с традиционными методами или вместо них. Приведены данные по концептам и разработкам беспилотных тракторов и их оснащённости. Рассмотрены основные игроки рынка и описаны перспективные технологии по беспилотной агротехнике, роботизированным устройствам и комплексам в растениеводстве и животноводстве. Выделены и описаны агроботы — роботы-пропольщики, роботы-прореживатели, роботы для сбора урожая, роботы для выполнения операций на виноградниках и в садах, самоходные роботы для мониторинга — а также роботы для животноводства. Определены преимущества применения роботов в каждом из направлений, а также тенденции в технологических инновациях. Сделаны выводы о перспективности мирового рынка сельскохозяйственной робототехники и о его положительном влиянии на сельское хозяйство в части экономики, технологий и экологии.

Ключевые слова: робот, сельское хозяйство, рынок робототехники, автономные тракторы, роботизированные устройства.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема роста населения Земли и, как следствие, возрастающая потребность в продовольствии, урбанизация и нехватка рабочей силы, а также экологические проблемы стимулируют поиск путей повышения эффективности сельского хозяйства благодаря новым технологиям и инновационным методам управления. Робототехника и автономные системы призваны преобразовать отрасль сельского хозяйства со значительными экономическим, социальным и экологическим эффектами.

Цель данной статьи — дать анализ мирового рынка беспилотной агротехники и роботизированных устройств и комплексов в области сельского хозяйства, сферы их применения, влияния на эффективность процессов, а также тенденций технического развития.

Один из крупнейших в мире инвестиционных банков, «Goldman Sachs» (США) прогнозирует, что

применение технологий нового поколения способно увеличить производительность мирового сельского хозяйства на 70 % к 2050 г. [1].

Долгосрочное видение технического перевооружения сельского хозяйства заключается в развитии нового поколения интеллектуальных, гибких, надежных, совместимых, взаимосвязанных роботизированных систем, беспрепятственно работающих вместе со своими коллегами-людьми на фермах. Команды мультимодальных совместимых робототехнических систем будут способны самостоятельно организовывать и координировать свою деятельность наряду с существующими агропродовольственными системами и в их рамках.

Роботизация сельского хозяйства на основе широкого применения мобильных и стационарных роботов — осознанная необходимость в стратегии развития крупнейших агропромышленных и машиностроительных компаний в мире. Переход организаций сельского хозяйства на робототехнику будет способствовать повышению производительности труда, повышению безопасности и улучше-

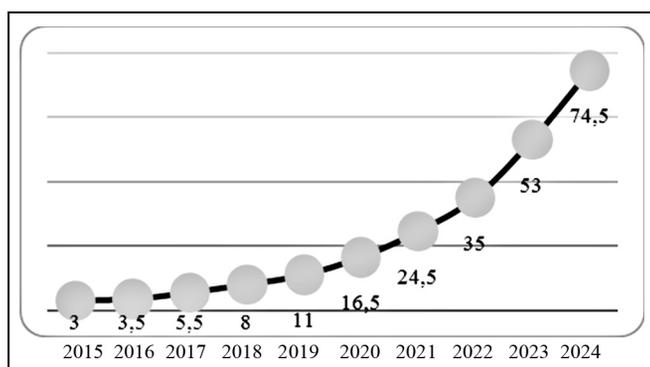


Рис. 1. Динамика годового объема рынка сельскохозяйственных роботов, млрд. долл. США



Рис. 2. Доли рынка сельскохозяйственных роботов по отраслям (на основе данных отчета «GrandviewReserch») [6]

нию условий труда, повышению качества сельхозпродукции [2].

Повышение производительности и интенсификации труда в сельскохозяйственном производстве с помощью робототехники может быть достигнуто только на основе автоматизации рутинных и алгоритмизуемых операций в интеллектуальной и производственной деятельности человека при комплексной автоматизации гибких производственных систем.

Поставки роботов для АПК значительно увеличатся в ближайшие годы: по итогам 2016 г. они составляли 32 тыс. ед., а уже к 2024 г. они достигнут 594 тыс. ед. Сумма выручки от поставок роботов в 2024 г. достигнет 74,1 млрд. долл. США (рис. 1)» [3].

Эксперты исследовательской компании «Tractica» выявили более 150 компаний, занимающихся разработкой и запуском роботизированных систем и инновационных решений для сельского хозяйства [4].

Длинная цепочка создания стоимости сельскохозяйственных продуктов и большое количество нерешенных в отрасли задач, которые могут быть решены с помощью информационных технологий и автоматизации, является одним из главных доводов в пользу инвестиционной привлекательности отрасли.

В исследовании крупнейшей аналитической компании «MarketsandMarkets Research» (США) утверждается, что рынок сельскохозяйственных роботов, как ожидается, вырастет с 2,75 млрд. долл. США в 2016 г. до 12,80 млрд. долл. США к 2022 г., со среднегодовым темпом роста 20,71 % между 2017 и 2022 гг. [5].

Основную долю рынка роботов в области сельского хозяйства занимают роботы, применяемые в животноводстве (55 % на молочных и 22 % — на мясных фермах). Диаграмма распределения долей рынка по отраслям представлена на рис. 2.

На основании тенденций рынка робототехники и мнения аналитиков, наиболее важные нововведения будут внедрены в таких областях сельского хозяйства, как:

- организация сбора урожая;
- картирование полей;
- управление молочными фермами;
- обработка почв;
- организация системы орошения;
- управление обрезкой ветвей;
- отслеживание погоды и прогнозы;
- инвентарный учет.

Актуальность изучения рынка сельскохозяйственных роботов подтверждается тем, что в различных странах мира (США, страны Европы, Китай, Япония, Австралия) в рамках специальных программ по развитию сельскохозяйственной робототехники создаются научные центры, аграрно-технические фонды, центры аграрных инноваций для создания агроботов, специализированные институты по стратегии развития сельского хозяйства [7–9].

Отметим, что создание агроботов имеет свои особенности. Это связано с многообразием сельскохозяйственных культур, животных, операций и задач, требующих выполнения. С учетом принципов построения, роботов можно классифицировать на универсальных и созданных для выполнения конкретной задачи [10].

Для проведения настоящего исследования выделены основные направления в сфере разработки агроботов:

- создание беспилотной агротехники (автономных транспортных средств как альтернативы тракторам и комбайнам);
- создание роботизированных устройств и комплексов (в растениеводстве и в животноводстве).



РЫНОК РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ В СФЕРЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Беспилотная агротехника (автономные транспортные средства)

В настоящее время многие пахотные фермы выходят из бизнеса, поскольку их затраты растут без значительных изменений в доходах. Одна из существенных статей расходов — это инвестиции в тракторы. Традиционные тяжелые тракторы — ключевой вид оборудования для большинства ферм, но один из побочных эффектов их применения заключается в том, что они разрушают почву и наносят ущерб окружающей среде, что вызывает уплотнение земли. Кроме того, удобрения и химикаты разбрызгиваются по всему участку земли, хотя почти всегда целесообразно применять метод дифференцированного внесения. Применение автономных тракторов способно привести к значительному снижению расходов на оплату труда, уменьшению издержек на обслуживание устаревшей техники и повышению доходности агробизнеса.

Идея беспилотного трактора родилась еще в начале 1940-х гг. Ее автор — Френк Андрию. Затем в 1950-х гг. «Форд» также разработал свой собственный беспилотный трактор, который не был запущен в производство, так как его конструкция предполагала прокладку кабеля под землей по всему полю. И только появление современных компьютеров и технологий GPS позволило воплотить идею беспилотных тракторов в реальность [11].

Функционал беспилотных тракторов:

- совершают необходимые маневры, выполняют задания с минимальными погрешностями, определяют границы поля;
- работают круглосуточно, управляются с помощью планшета;
- отличают мнимые препятствия от настоящих;
- могут передвигаться по системе «следуй за мной»: один автономный трактор под управлением человека координирует движение нескольких беспилотников на поле, задает им нужную скорость и направление движения.

По информации «IDTechEx», в 2016 г. было продано более чем 300 тыс. тракторов с автопилотами [12]. Продолжается работа над подходом «следование за лидером». Ведущие производители сельскохозяйственной техники работают над созданием полностью беспилотного трактора.

В табл. 1 представлен обзор мирового рынка роботизированных тракторов, прототипов и беспилотных систем управления.

Одним из ярких примеров концепта роботизированного трактора является представленный в

2016 г. компанией «Case IH» автономный трактор. Машина создана с прицелом на полноценный интерактивный интерфейс, позволяющий удаленно отслеживать предварительно запрограммированные операции. Бортовая система автоматически подбирает наиболее эффективные пути в зависимости от почвы, препятствий и присутствия другой техники на том же поле. Удаленный оператор может осуществлять наблюдение и изменять маршруты на компьютере или планшете [13].

Трактор оснащается радаром, лидаром и бортовыми камерами, которые позволяют регистрировать стационарные или движущиеся препятствия на пути и останавливаться самостоятельно пока оператор, оповещенный о проблеме, не задаст новый маршрут. Машина также мгновенно остановится сразу при потере GPS-сигнала или других данных позиционирования или при нажатии оператором соответствующей кнопки. Задачи трактора могут меняться в реальном времени через удаленный интерфейс или автоматически на основе прогноза погоды [14].

Еще один яркий концепт на рынке беспилотных тракторов создали участники бизнес-акселератора «Y Combinator» (США), которые разрабатывают беспилотные тракторы «Bear Flag Robotics»; «Bear Flag», так же, как и «Case IH», применяют различные датчики, включая лидар, камеру, IMU, GPS и др., а бортовые компьютеры обрабатывают данные, обеспечивая ситуационную осведомленность для выполнения работы, а также отслеживают препятствия и жизненные показатели системы [15].

Отличительная особенность разработки состоит в формировании возможности у трактора способности ориентироваться без помощи GPS — вместо этого система учится распознавать окружающую обстановку с помощью датчиков и камер, поскольку эксплуатация трактора предусматривает множество навесного оборудования, способного глушить GPS-сигнал (см. табл. 1).

Еще один крупный игрок рынка роботизированных тракторов — японская корпорация «Yanmar», которая представила линейку сельскохозяйственных тракторов с автономным режимом работы «Robot Tractor». Эти машины — наполовину роботы и могут непосредственно управляться человеком, выполнять его удаленные команды или следовать программе. Их отличительная черта — большой спектр поддерживаемых задач, что позволит заменить стареющий фермерский контингент на японских полях (см. табл. 1). Также компания анонсировала автономную машину для посадки саженцев риса, которая тоже создана на основе системы «Smartpilot».

Обзор мирового рынка роботизированных тракторов (замена универсального трактора)

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
Автономные тракторы «Auto Tractor» и «Robot Tractor», «Yanmar Agri» (Япония)	Оснащены автономными системами по технологии ICT, GPS. Существуют четыре модификации мощностью 88—113 л. с. Управлять с/х техникой можно, пользуясь водо- и пылезащищенными десятидюймовыми планшетами. Один оператор может параллельно управлять двумя роботтракторами: одним напрямую, а вторым — через планшет	В автоматическом режиме движется по заданному маршруту, принимая сигналы от башен навигации и GPS. Оператор трактора удаленно задает цель и проводит коррекцию маневров. Трактор способен выполнять с/х работы в группе либо один, применяя возможности системы «Smartpilot»
Трактор «Case IH Magnum», «CNH Industrial» (Нидерланды) и «Autonomous Solutions, Inc.» ASI (США)	Без кабины. Система основана на GPS-навигации и станциях RTK, она контролирует высочайшую точность перемещения по полю. Может работать с широким ассортиментом навесных орудий	Проходят испытания на полях американских фермеров, серийное производство техники планируется к 2020 г.
Концепт автономного трактора, «Bear Flag Robotics» (США)	Компьютерное зрение, датчики, решение задачи — работа без сигнала GPS	Передвижение удаленно контролирует оператор. Одновременно он сможет управлять несколькими машинами
«AT400 Spirit», «Autonomous Tractor Corporation» (США)	Оснащен установкой «Edrive» — дизель-электрической силовой установкой (генератор 250 кВт, электрическая трансмиссия). Доступен в комплектации 200 л. с. или 400 л. с. Компоненты включают в себя один или два 200-сильных дизель-генератора, четыре 125-сильных колесных электродвигателя, приводы с регулируемой частотой, джойстик управления, 21-дюймовый монитор с сенсорным экраном и интерфейс для управления орудиями	Без кабины. Комплектация весит меньше, чем традиционные трансмиссии, что может уменьшить уплотнение почвы и увеличить экономию топлива на 15—20 %
Трактор «T4.110F» для садоводства (прототип), «New Holland» совместно с компанией «E. & J. Gallo Winery» (Нидерланды)	Оснащен набором датчиков и камер. С помощью встроенного ПО автоматически определяет размеры и форму трактора с прикрепленным к нему дополнительным оборудованием. Самостоятельно строит маршрут по полю. Если радары или LIDAR-датчики заметят препятствие на пути трактора, ПО обратится за помощью к водителю, который должен будет выбрать наилучшую траекторию движения трактора	Автономная технология «NHDrive» может быть реализована во всей линейке тракторов бренда. В перспективе ожидается «полная автономность», не требующая присутствия специалиста на месте. Управление беспилотным трактором «NHDrive» осуществляется с помощью мобильной программы, которая позволяет следить за состоянием трактора и собирать статистику его применения
«FarmPilot» (прототип) «Kubota Corp.» (Япония)	Мощность — 60 л. с. Оснащен GPS, функцией картографирования полей и технологией записи данных	В планах — разработать целую линейку автономных сельхозмашин
«Centeol», «Kuhn», «Dupont Pioneer» и «Ausy» (Франция)	Дизельный двигатель, гусеницы; оснащен RTK-системами, работающими с точностью до 10 мм. Скорость посадки — около 8 км/ч	Существуют пять различных инструментов, которые прилагаются к этим гусеничным роботам. Работают 24 ч без останова
Гибрид трактора и комбайна YR8D, «Yanmar Agri» (Япония)	Дизельный двигатель; управляется удаленно. Встроенный модуль GNSS для посадки саженцев риса	Управление через 10-дюймовый водонепроницаемый планшет
Концепт беспилотного трактора «Escorts» (Индия)	Базируется на тракторе «Farmtrac», AVL (технология электропривода), «Trimble» (датчики, элементы управления и автоматическое рулевое управление) и «Samvardhana Motherson» (технология разумной кабины). «Wabco» отвечает за элементы управления агрегатом и автоматизацию, «Microsoft» — за облачное хранилище, а «AI technology» и «Bosch» — за выбросы	Прототип создан в партнерстве с «Microsoft», «Reliance Jio», «Trimble», «Samvardhana Motherson Group», «Wabco», «Bosch» и AVL

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
Беспилотная система для трактора и тележки для сбора урожая зерна, «Smart Ag» (США)	Система «Smart Ag» работает с тракторами, оснащенными системой автоматического управления (облачная платформа под названием «AutoCart»). Система позволяет оператору устанавливать места остановки и разгрузки в поле, регулировать скорость, местоположение комбайна, а еще — управлять зерновой тележкой, чтобы точно синхронизировать ее со скоростью и направлением движения комбайна	Система доступна только для тракторов «John Deere» от 2000 серии и более новых
«АгроБот» (система управления), «Avroga Robotics» (Россия)	Оснащен датчиками, сканерами и встроенными картами местности, компьютером с искусственным интеллектом, размещенным в задней части трактора. При наличии соединения управление роботом может быть перехвачено диспетчерским центром или оператором, находящимся поблизости	Может быть установлена практически на любую спецтехнику или трактор, при этом на все органы управления монтируются специальные приводы, которыми управляет центральный компьютер. Предусмотрена возможность работы в офлайн режиме, без стабильного соединения с центром

По итогам проведенного исследования основные технологии и принципы работы, на которых базируется функционирование роботизированного трактора, можно описать следующим образом.

- В беспилотных тракторах применяют лазеры, сенсоры, радары, а также системы GPS и другие беспроводные технологии. Контроль за такими тракторами может осуществляться или с планшета, или же из одной работающей в поле машин (т. е. на поля можно вывести несколько тракторов, но координировать их работу будет лишь один тракторист из одного трактора, — это так называемая технология «следуй за мной»).
- В беспилотных тракторах заложены сложные алгоритмы поведения. При появлении препятствий — людей, животных или других крупных объектов, — они сразу же останавливаются. При этом они умеют отличать настоящие препятствия от мнимых. Например, сенсорные системы «узнают» высокие стебли кукурузы или подсолнечника и не считают их препятствием для движения.
- Тракторы могут быть как на гусеничном, так и на колесном ходу, с кабиной и без, оснащены дизельным или электрическим двигателем.

Отметим перспективные технологии на рынке разработок роботизированных тракторов:

- удаленное управление или «полная автономность», не требующая присутствия специалиста на месте;
- автономная коллективная работа группы тракторов;
- ориентирование без помощи GPS;
- электрическая трансмиссия.

На основании проведенного исследования характеристик беспилотных тракторов можно сделать вывод о ряде преимуществ их применения в агросекторе:

- круглосуточная работа, позволяющая сократить сроки проведения работ;
- безопасное рабочее место;
- решение кадрового вопроса;
- решение вопроса оттока рабочей силы;
- повышение точности обработки земли, и, как следствие, эффективности сельскохозяйственных операций;
- системы точного позиционирования, позволяющие уменьшить зону перекрытия, снизить перерасход удобрений и химикатов и, как следствие, снизить операционные затраты;
- повышение производительности кадров благодаря автоматизации повторяющихся функций и снижения требований к опыту работы.

Роботизированные устройства и комплексы

Роботизированные устройства и комплексы широко применяются для решения задач как в растениеводстве, так и в животноводстве. С целью качественного исследования рынка роботизированные устройства были классифицированы по типу выполняемых работ.

Роботизированные комплексы для уничтожения сорняков (роботы-пропольщики) и роботы-прореживатели

По некоторым оценкам аналитиков, резистентность развили 255 видов сорняков на 92 культурах в 70 странах. Последний принципиально

новый гербицид выходил на рынок более 20 лет назад. Это создает рынок для роботов-пропальвателей — как автономных, так и управляемых человеком. Объем этого рынка прогнозируется на уровне 400 млн. долл. США уже в 2025 г. [16, 17].

В роботов-пропольщиков разработчиками заложены функции распознавания и уничтожения сорняков. Способы уничтожения сорняков могут быть различными: с помощью пестицидов, лазера, механически (вбивание в почву, удаление из почвы). С учетом ужесточения требований к средствам защиты растений перспективными являются технологии удаления сорняков без применения гербицидов (лазерная, механическая).

В табл. 2 представлен обзор мирового рынка роботов-пропольщиков и роботов-прореживателей.

Одной из перспективных является технология, применяемая в прототипе робота-пропольщика «Huregweeder» (разработка Национального центра точного земледелия Великобритании, Университет Харпера Адамса) [18]. Робот оценивает форму сорняка, чтобы определить, где находится его меристема — это часть растений, обеспечивающая непрерывное нарастание массы. Затем удаляет сорняк при помощи микролазера, нагревая растение до 95 °С. Эту технологическую платформу можно будет применять ко всем сорнякам и идентифицировать все типы культур (см. табл. 2).

Роботы-прореживатели имеют схожую технологию распознавания с роботами-пропольщиками.

Они определяют количество растений и необходимое расстояние между ними, после чего применяется химикат для удаления нежелательных растений. Пропольщики востребованы на фермах по выращиванию салата.

Салат часто высаживается с гораздо более густой посадкой, нежели это необходимо. Это гарантирует урожай в случае проблем с прорастанием или болезнью. После того, как растения прорастают, необходимо убирать лишние ростки для достижения правильного расстояния. Применение роботов резко сокращает ручной труд.

Преимущества применения роботов-пропольщиков:

- исключение избыточного использования гербицидов путем точечного опрыскивания и, как следствие, снижение расходов на химикаты и снижение негативного влияния на окружающую среду;

- в случае применения лазерной и механической технологий — исключение влияния гербицидов на окружающую среду;

- повышение производительности труда благодаря точности и круглосуточной работе;

- повышение эффективности работы путем устранения возможности человеческой ошибки при выполнении ряда однообразных и трудоемких задач.

На основании проведенного исследования, в качестве перспективных направлений развития ро-

Таблица 2

Обзор мирового рынка роботизированных устройств и комплексов для прополки и прореживания

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
Робот-пропольщик (распознавание сорняков и орошение их пестицидами), «Ecorobotix», (Швейцария)	Автономный робот массой 130 кг передвигается на четырех колесах. С помощью датчиков и видеокамер он распознает вредные растения и точно распыляет на них химикат. Устройство управляется при помощи смартфона и питается от солнечных панелей, что дает ему возможность бесперебойно работать в поле до 12 часов	Передвигается самостоятельно. Фиксирует не только количество орошенных сорняков, но и их виды. По заявлению разработчиков, применение робота позволит в 20 раз снизить объемы используемых фермерами гербицидов
«LettuceBot2» (распознавание сорняков и орошение их пестицидами), «Deere & Company» («Blue River Technologies») (США)	Пользуясь большой базой данных изображений культур и сорняков, компьютер имеет уникальную возможность установить малейшее отличие между культурой и сорняком и в течение 30 мс решает, сколько и где применить гербицидов	Передвигается не самостоятельно, а с помощью трактора. По оценкам «Blue River», технология позволяет уменьшить применение гербицидов на 90 %
«Smart Spraying» (распознавание сорняков и орошение их пестицидами), «Robert Bosch» (Германия)	На штанги опрыскивателя устанавливаются камеры на расстоянии 1 м друг от друга. Они сканируют поле и выявляют сорняки. Опрыскиватель оборудуется 4-мя линиями распыления, одна из которых предназначена для воды, а другие — для гербицидов. Сопла находятся на общем расстоянии 50 см. Точность в диаметре менее 1 м. Роботизированная система не автономна	Обнаружив сорняк, технология умного опрыскивания выбирает нужный гербицид или делает смесь гербицидов. Средства хранятся в небольших контейнерах. Но если нужды в этом нет, т. е. на участке отсутствуют сорняки, то «Smart Spraying» распылять ничего не будет

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
«Robotti» (распознавание сорняков и орошение их пестицидами), «Agrointelli» (Дания)	Модульный колесный автономный блок с дизельным двигателем. Одна машина весит всего 600 кг и имеет трехточечное сцепное устройство, способное поднимать 750 кг. Максимальная скорость — 8 км/ч. Способен бороться с сорняками среди большого количества зерновых культур. Управляется с телефона или планшета	Распределение веса в сочетании с обшей легкостью позволяет этому трактору работать в более влажных условиях, которые останавливают обычные тяжелые тракторы или вызывают серьезное уплотнение почвы. Компания совершенствует дизайн и программное обеспечение, разрабатывая полностью электрическую версию «Robotti»
«Small Robot» («Dik») (распознавание и уничтожение сорняков лазером), «Small Robot Company» (Великобритания)	Модификация универсального робота весом 250 кг и высотой 3 м, позволяет крепить дополнительное оборудование для обработки сельскохозяйственных культур, использует для уничтожения сорняков электричество и лазеры вместо гербицидов. Работает на основе операционной системы «FaaS»	По собственным данным «Small Robot Company» смогла сократить выбросы химических веществ на 95 %, увеличить доходы на 40 % и сократить расходы до 60 %
«Agbot II» (распознавание и уничтожение сорняков механическим или термическим способом), QUT (Австралия)	Колесная база. Оборудован камерой, фотобазой. Роботизированная мотыга для механического удаления сорняков	Робот способен самостоятельно решить, какой сорняк должен быть обработан, а какой — удален механическим или термическим способом
Робот-пропольщик (распознавание и уничтожение сорняков механическим способом), «FarmWise» (США)	Машина полностью автономна. Оборудован системой распознавания образов для определения в поле сорных растений; с помощью механических манипуляторов самостоятельно удаляет их из почвы	Собирает различные данные по выращиваемым культурам (анализ каждого растения, размер, общее состояние саженца, стадия роста)
«VoniRob» (распознавание и уничтожение сорняков механически), «Bosh» (Германия)	Становым хребтом системы является адаптивная многозадачная роботизированная платформа, оборудован камерами высокого разрешения, осуществляется навигация	Вбивает сорняк в землю, разрушая корневую систему. В зависимости от плотности сорняка, робот проходит 1 погонный метр морковной грядки за время от 10 до 25 с
«Hyperweeder» (распознавание и уничтожение сорняков гербицидом или лазером), Университет Харпера Адамса в сотрудничестве с «Syngenta» и «Gs-fresh» (Великобритания)	Крепится к задней части трактора. В систему входят датчики для обнаружения культур и сорняков в режиме реального времени. Распознавание изображений осуществляется при помощи ПО, позволяющего идентифицировать до 26 видов сорняков	В перспективе это будет автономный самоходный робот, работающий без операторов. Будут использоваться или микрокапли неселективных гербицидов, или микролазеры
Робот-пропольщик (распознавание сорняков и орошение их пестицидами), «Ibex Automation Ltd» (Великобритания)	Автономная система точного обнаружения сорняков и распыления для применения на пастбищах	Разработчики сотрудничают с Линкольнским Институтом агропродовольственных технологий
Прореживатель салата (распознавание и уничтожение лишних ростков), «Vision Robotics» (США)	Применяет технологию распознавания и специальную жидкость для удаления нежелательных ростков	По оценке специалистов, один-два человека могут выполнить за несколько часов то, на что раньше требовались усилия команды из 15 или более чел., работавших целый день
Прореживатель салата (распознавание и уничтожение лишних ростков), «Agmechtronics» (США)	Технология распознавания определяет количество растений и необходимое для них расстояние. Применяет химикаты для удаления нежелательных растений	Система может работать в ночное время
Прореживатель салата (сбор и прореживание салата), «Ramsay Highlander» (США)	Оснащен оптическими сенсорами, для резки использует струю воды под высоким давлением «водный нож»	Устройство может применяться не только для салата, но и для сбора капусты и сельдерея

ботов-пропольщиков могут послужить разработки технологий, позволяющих точно определять вид сорного растения и на основе анализа применять наиболее эффективный метод его удаления, а также разработка технологий, сокращающих применение гербицидов.

Роботы для сбора ягод, фруктов и овощей

Возможность сбора плодов с помощью роботов реализуется с помощью технологии компьютерного зрения. Цвет ягод — это главный показатель спелости, поэтому ошибки систем компьютерного зрения маловероятны. Робот подражает движениям руки человека.

В основе своей роботы для сбора плодов — это интеграция машинного видения, сенсоров давления, мягких манипуляторов, датчиков применяемой силы и способности самостоятельно перемещаться в пространстве. Одной из сложностей в уборке урожая плодов является то, что каждый фрукт, овощ или ягода имеют уникальный размер, цвет и форму. Для упорядочения алгоритма процесса сбора плодов ученые разрабатывают и совершенствуют интеллектуальные системы зондирования [18].

Роботы способны собрать от 70 до 100 % урожая, что делает их конкурентоспособными с традиционной уборкой урожая [20]. Фотографируя плоды на грядке, робот каждый раз сверяет их изображения с образцом и благодаря этому более качественно собирает урожай, тогда как люди могут ошибаться и срывать незрелые овощи.

По скорости работы машины могут пока уступать человеку. Однако, в отличие от обычных работников, машина не устает и может работать до 10 ч без перерывов и собирать овощи даже в полной темноте, подсвечивая грядки фонариком.

Одним из основных игроков рынка роботов для сбора ягод является США, поскольку данная страна — крупнейший в мире производитель земляники (более 1360 тыс. т ежегодно) [22].

Основные разработки и прототипы роботов для сбора ягод представлены в табл. 3.

Главное преимущество роботов для сбора плодов — это замена монотонного ручного труда, способность устройства работать без перерыва в любое время суток с одинаковой степенью производительности, что в итоге делает процесс значительно более эффективным. Важным условием роботизации процессов в сельском хозяйстве выступает возможность составления определенных алгоритмов, которые лежат в основе функционирования робототехники [22].

Роботы для сбора урожая решают проблему с привлечением сезонных работников. Во время сбора урожая время имеет решающее значение,

так как некоторые культуры необходимо убирать быстро. Таким образом, требуется много рабочих в течение достаточно короткого периода времени, что создает проблему для поддержания занятости на постоянной основе.

На основе проведенного исследования выделены перспективные направления в технологическом оснащении роботов для сбора ягод и фруктов:

- полная автоматизация;
- увеличение скорости сбора;
- реализация функции распознавания испорченных плодов;
- реализация аналитической возможности с разбивкой информации о собранных плодах на дерево, на акр и в целом на участок.

Роботы для виноградников и садов

В отдельную категорию роботизированных комплексов выделены роботы для виноградников и роботы для садов и теплиц, поскольку они разработаны специально для отдельных отраслей сельского хозяйства (работа на виноградниках, выращивание горшечных растений) и помимо универсальных функций могут выполнять специфичные (обрезка лозы, прививание, полив).

Обзор роботов для виноградников представлен в табл. 4, обзор роботов для тепличных хозяйств и садоводства представлен в табл. 5.

Применение роботизированных комплексов на виноградниках оправдано своей эффективностью. Как правило, виноградники неоднородны по ландшафту. На них может быть множество склонов различной крутизны. Некоторые более урожайны, другие — менее. Информация, которую фермер получает от робота, позволяет выявить эти участки и обрабатывать каждый из них в зависимости от его особенностей, наиболее верным и эффективным способом.

В ходе исследования выявлено, что для работы на виноградниках интересны не только универсальные роботы, способные выполнять все основные функции рабочих по уходу, но также и роботизированные комплексы для выполнения специфических монозадач.

Так, востребованность ирригационной роботизированной системы, например, концепта RAPID (см. табл. 4), продиктована необходимостью дифференцированного внесения воды на виноградниках, что не могут обеспечить существующие системы полива [23].

Робот-косилка «VITIROOVER» позволяет сократить затраты на рабочую силу, снизить экологическую нагрузку (работает на солнечных батареях), повысить эффективность выполнения работ благодаря точности (см. табл. 4).



Актуальность разработки робота для прививок растений обусловлена тем, что привитая рассада томата, перца, огурца и баклажана применяется все шире, поскольку позволяет повысить сопротивляемость растений к почвенным патогенам и вредителям, а также повышает силу роста растений. Благодаря появлению новых оптических тех-

нологий стало возможно создание роботов для прививки растений.

Прививка — трудоемкая операция и требует высокой квалификации персонала, поскольку проводится на ранней стадии развития растений, в фазе развернутых семядолей, когда сеянцы очень нежные и хрупкие. Все чаще производители овощ-

Таблица 3

Обзор мирового рынка роботов для сбора ягод, фруктов и овощей

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
«Agrobot SW6010» и «AGSHydro» (сбор урожая клубники), «Agrobot» (Испания)	Работает полностью в автономном режиме и способен самостоятельно ориентироваться в пространстве, оснащен 24 роботизированными руками. В режиме реального времени применяет технологии искусственного интеллекта для оценки зрелости ягод. Оснащен сенсорами для оценки цвета плода и его товарного вида. После анализа ягод записывает информацию о каждом плоде	Роботизированная рука перебирает по одной ягоде. За три дня один робот «Agrobot» может собрать клубнику с 800 сопок. Когда робот завершает уборку ряда, он останавливается и передает данные оператору
Робот-автомат для сбора урожая сладкого перца, винограда, яблок, «Wageningen UR» (Нидерланды)	Интеллектуальная система, способная распознавать спелые плоды и аккуратно собирать их. Также может применяться для навесного и точечного опрыскивания	—
«Strawberry Picking Robot» (сбор урожая клубники), «Ostinion» (Бельгия)	Работает на мобильной платформе «Dribble». Рукоятка «Ostinion» устанавливается на самоуправляемый автомобиль. Она двигается снизу вверх с помощью 3D компьютерного зрения и захватывает спелые ягоды между двумя мягкими пластиковыми частями. Затем фрукт, ягода или овощ поворачиваются на 90° и отправляются в корзину. Прототип выбирает одну ягоду клубники раз в четыре секунды	В зависимости от сорта, машина способна собрать от 70 до 100 % спелых фруктов
Прототип роботизированного сборщика яблок, «Abundant Robotic» (США)	Применяя алгоритмы компьютерного зрения, находит спелые яблоки и собирает их, словно пылесос, с помощью вакуумного механизма, не повреждая плодов. Скорость сбора — одно яблоко в секунду	В планах — функция распознавания испорченных яблок, а также возможность сбора других фруктов и овощей
Прототип роботизированного сборщика фруктов, «Energid» (США)	Многорукавный аппарат для сбора плодов цитрусовых. Четырехосный гидравлический рычаг с возможностью сбора плодов каждые две-три секунды установлен на грузовик	Погрешность робота — 20 %
Робот для сбора клубники, «Dogtooth Technologies» (Великобритания)	Компьютерное зрение, GPS. После сбора ягод видеокамера машины осматривает плод со всех сторон, чтобы определить сорт, форму, измерить массу, обнаружить дефекты (вмятины, плесень и т. д.)	Срывает ягоды с небольшой частью стебля
Робот для деликатной уборки фруктов, «FRRobotics» (США)	Роборука подстраивается под фрукт, который собирает, подражая движениям руки человека. Применяет передовую обработку изображений для поиска и сбора фруктов	В планах компании — добавить аналитические возможности с разбивкой информации о собранных плодах на дерево, на акр и в целом на участок
Робот для сбора томатов, «Panasonic» (Япония)	Металлическая этажерка, которая перемещается по рельсу, проложенному между рядами растений. Встроенные камеры с технологией распознавания изображений. Оснащен искусственным интеллектом	Можно запрограммировать на конкретный оттенок красного или желтого, который будет характеризовать пригодный для сбора плод

Обзор мирового рынка роботов для работы на виноградниках

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
«Wall-Ye 1000 mobile» (основные работы на виноградниках), «Wall-Ye» (Франция)	Оснащен GPS, солнечными батареями (10–12 часов автономной работы), масса — 80 кг; функции: рыхление, скашивание, обрезка веток, сбор урожая)	Перед сбором урожая точно рассчитывается урожайность, зрелость гроздей. Накапливает важные данные о состоянии и витальности почвы, плодов и лозы
Концепт (RA PID) (иригационная система), Калифорнийский университет (США)	Робот имеет захватывающую руку регулировки напора воды из разбрызгивателей на концах оросительных линий, GPS с возможностью сопоставить свой маршрут вокруг виноградников, будет опираться на снимки с дронов и спутников для мониторинга погоды	Испытывается с помощью автономной платформы, в перспективе — намерение построить для него специализированный движущийся механизм
«VITIROVER» (робот-косилка), «VITIROVER» (Франция)	Управляется при помощи GPS, программируется с обычного смартфона, может косить до 2 см от нижней части винограда, а также может оставаться в винограднике в течение нескольких недель. Работает на солнечных батареях	Может обработать 1 га поля за 150 ч

Обзор мирового рынка роботов для садов и тепличных хозяйств

Наименование, разработчик	Функционал	Примечание
«EMP-300», «Conic Systems» (Испания)	Прививание различных фруктовых и овощных культур, цветов и других тепличных растений	Оснащен гибкими щипчиками. Заменяемые лезвия
Робот для прививок, «Helper Robotech» (Корея)	Прививание пасленовых и тыквенных культур	Фотографирует срезы привоя и подвоя. Специальная программа анализирует изображения и управляет сервомотором машины. Благодаря этому робот соединяет оба растения быстро и с высокой точностью — до 0,01 мм
«RoBoPlant», «ISO Group», «Flier Systems» (Нидерланды)	Применяется для посадки цветов и полуавтоматической пересадки цветов и рассады	У робота есть несколько схем работы, по которым он в полностью автоматическом режиме выбирает нужные саженцы и высаживает их в грунт. Применяется с 2002 г. во многих странах Евросоюза
«HV-100»/«Harvest Automation» (США)	Решение для тепличных хозяйств, выращивающих горшечные растения	Умеет загружать и разгружать контейнеры, перемещать ящики и контейнеры, прореживать кусты. Грузоподъемность робота — порядка 10 кг, его масса — 40 кг. Между перезагрузками батарей робот может работать в течение 7–8 ч непрерывно и автономно
«Aquarius» (передвижная лейка), MIT (США)	Помимо полива тепличных растений, может открывать двери и перемещаться между помещениями	Способен перевозить 114 л воды. Два режима: фиксированный и пропорциональный. В первом случае, аграрий сам устанавливает нужную дозу для полива растений (аппарат работает по заданным настройкам). Второй вариант — робот с помощью сенсоров анализирует, сколько воды нужно каждому растению, и сам решает вопрос дозировки
«Prospero», MIT (США)	Робот-паук для посадки семян	Шестиногие роботы способны решать, где и когда сеять семена на различных типах почвы в пределах одного поля. Также они могут общаться друг с другом, находясь на расстоянии около трех метров. При помощи светодиодов один робот может сообщить другому, что ему нужна помощь в посадке семян



ной рассады сталкиваются с нехваткой рабочих рук для проведения этой операции, поэтому понятен интерес к автоматизации процесса прививки.

Помимо прочего, роботы для моноопераций заменяют низкооплачиваемый механический труд. Универсальный робот для садового центра «HV-100» (см. табл. 5), с 2013 г. применяемый во многих садовых центрах США, предназначен для работы в цветочной индустрии и создан для перемещения горшечных растений в хозяйствах, выращивающих саженцы в контейнерах. Являясь всепогодным, «HV-100» обеспечивает требуемую точность вне зависимости от продолжительности рабочего дня, без перерывов.

К перспективными разработкам для робототвиноградарей и роботов для садовых центров можно отнести:

- полную автономность работы и самостоятельное принятие решений;
- мультизадачность — возможность выполнения дополнительных задач параллельно с основной (например, параллельно с обрезкой лозы проверять культуры на показатели роста, влаги и симптомы заболеваний).

Самоходные роботы для мониторинга полей

Необходимость мониторинговых исследований процессов деградации земель, контроля фаз вегетации сельскохозяйственных культур, прогно-

зирование их урожайности с применением современных подходов и технологий в настоящее время находит поддержку и понимание на уровне всех заинтересованных лиц и организаций [24].

Для того чтобы вовремя обнаружить проблемный участок на засеянном поле, необходимо регулярно следить за состоянием растений. Однако при больших площадях ручной осмотр культур становится крайне неэффективным. Одно из возможных решений — применение роботов различных конструкций. Для этого нередко задействуют беспилотники, однако они не слишком эффективны на небольших площадях и не подходят для непрерывного мониторинга полей — дрон вынужден регулярно возвращаться для замены батарей.

Обзор рынка самоходных роботов для мониторинга представлен в табл. 6.

Интересным среди роботов для мониторинга представляется проект инженеров из Технологического института Джорджии, разработавших робота-ленивца (см. табл. 6), который перемещается над полем на тросах. По информации разработчиков, схема передвижения, аналогичная схеме передвижения ленивцев, обладает высокой энергоэффективностью, поэтому в будущем на робота планируется установить солнечные батареи. При использовании солнечных батарей такой робот сможет по несколько месяцев оставаться над полем, наблюдая за растениями и передавая снимки

Таблица 6

Обзор мирового рынка самоходных роботов для мониторинга полей

Наименование разработчик	Комплектация	Примечание
«TerraSentia (мониторинг полей кукурузы), «EarthSense» (США)	Оснащен тремя RGB-камерами, автономно перемещается по полям и измеряет различные параметры растений. Используя усовершенствованные датчики, при анализе культур может обнаруживать общие заболевания растений и сообщить об этом операторам	Система оснащена набором камер и захватывает в кадр каждое растение в полный рост. Алгоритмы глубокого обучения позволяют роботу определять количество кукурузы и ее состояние после изучения 300 изображений. Масса робота — 11 кг, а длина — 30 см
Робот-ленивец (мониторинг полей), Технологический институт (США)	У робота пара рук, на которых он висит, держась за трос. Перемещается, подобно ленивцу. Оснащен датчиками и камерами	В будущем на робота планируется установить солнечные батареи. Это позволит ему несколько месяцев оставаться над полем, наблюдая за растениями и передавая снимки с камеры фермеру
«Ladybird» (мониторинг полей, создание технических карт), Сиднейский университет (Австралия)	Круглосуточно следит за появлением вредителей и развитием растений на полях. Работает в автоматическом режиме трое суток, без подзарядки и вмешательства оператора	Механизированная «рука» агробота убирает с грядок сорняки
«Field Flux Robot» (определение скорости эмиссии N ₂ O из почвы), «Adigo» (Норвегия)	Опуская алюминиевые цилиндры на почву, робот проводит анализы примерно в 25 раз быстрее, чем традиционными методами. Робот способен замерять также эмиссию CO ₂	Стандартная процедура тестирования почвы на содержание азота занимает 25–27 ч, а «Field Flux» справляется с этой задачей за 50 мин

с камеры фермера. Для движения робот пользуется земной гравитацией и силами инерции точно так, как это делает его живой прототип [25].

Остальные роботы (см. табл. 6) оснащены колесной базой, камерами и датчиками. Их недостатком относительно робота-ленивца является то, что при колесном перемещении роботы могут застрять, упасть, повредить растения, столкнуться друг с другом или с иной техникой.

Одна из наиболее удачных разработок роботов для мониторинга — австралийский робот «Ladybird» (2014 г.). Помимо мониторинга, он выполняет ряд универсальных функций на поле [26].

Робот оснащен системой лазерного наведения, интегрированным автоматизированным манипулятором для сбора урожая. Может работать и в ночное время, освобождая фермера от прополки и борьбы с вредителями, что раньше приходилось делать в основном вручную (см. табл. 6).

На поле необходимо осуществлять мониторинг не только культур, но и состояния почвы. Азотные удобрения, повсеместно применяемые в мире в больших количествах, выделяют N_2O , который негативно влияет на экологию и может повредить растения: вызвать пожелтение листьев, разрушение мембраны или замедление роста. Прежде всего, чтобы предотвратить негативное воздействие закиси азота на растения, нужно определить количество N_2O на поле [27]. Для таких целей был разработан «Field Flux Robot» (2017 г.), в перспективе разработчики нацелены на уменьшение габаритов робота и увеличение его производительности.

Преимущество всех роботов для мониторинга состоит в возможности круглосуточной работы по анализу состояния полей. Инновация упростит жизнь не только фермеров, но и селекционеров, которые проводят массовые эксперименты, наблюдая за развитием тысяч различных сортов растений, и вынуждены измерять ключевые показатели вручную.

Основной существенный недостаток самоходных роботов для мониторинга в сравнении с БПЛА — их ограниченная проходимость в случае плохих погодных условий (например, весенняя распутица) или специфичного рельефа местности (например, виноградники). Поэтому применение даже робота-ленивца нельзя считать универсальным вариантом.

Роботы для животноводства

В такой области сельского хозяйства, как животноводство, роботизированные системы в настоящее время нашли самое широкое применение. Анализ разработанных и поставляемых на рынок роботизированных систем для животноводства показал, что практически все они пред-

назначены для выполнения работ по кормлению и доению крупного рогатого скота, а также очистке проходов животноводческих помещений от навоза на фермах для содержания крупного рогатого скота (КРС) [28].

Все роботы можно сгруппировать следующим образом:

- системы кормления животных: автоматизированные пастбищные системы, дозаторы-смесители, смесители-кормораздатчики, подравниватели кормов и интегрированные роботизированные системы кормления;
- доильные роботы: роботы-дояры, интегрированные роботизированные системы доения и управления стадом;
- роботы для чистки стойл: автоматизированные уборщики навоза скреперного типа, автономные уборщики навоза.

Широкое применение в животноводстве нашли интегрированные роботизированные системы — это объединенные в единую технологическую линию роботы, способные взаимодействовать друг с другом, выполняя весь комплекс технологических операций: к примеру, приготовление многокомпонентных кормовых смесей, а также их раздача в соответствии с особенностями и потребностями поголовья животных.

Основными производителями роботов для широкого спектра технологических операций, являются фирмы «Lely», «Delaval», «GEA Farm Technologies», «BouMatic» [29].

Обзор рынка роботов для животноводческой отрасли представлен в табл. 7.

Доильный робот

Это роботизированная система, которая обеспечивает автоматическое доение коров на фермах с беспривязным содержанием и добровольным доением. Такие системы позволяют почти полностью исключить негативное влияние человеческого фактора, а также создать оптимальные условия для животных, что дает возможность сэкономить на фонде оплаты труда и заработать на росте надоев [30].

Первые роботы появились на рынке в начале 1990-х гг. К 2002 г. предлагалось уже 11 одно- и многобоксовых систем для роботизированного доения. Но даже самый «широкозахватный» робот-дойяр, имеющий пять постов одновременного доения (от «GEA Farm Technologies»), способен ежедневно обслуживать стадо, насчитывающее не более 220—250 голов.

Сложившаяся ситуация создала рынок для появления принципиально нового продукта, сочетающего плюсы роботизированного доения (точность операций, избавление от рутинной, кадрова-



независимость) и быстроту обслуживания больших поголовий (одновременное доение более 200 животных) — роботизированной «карусели». «Карусель» представляет собой роторную установку, где животные доятся одновременно большими группами, но при этом операции по обработке вымени проводятся роботами-манипуляторами, смонтированными на «карусели» (см. табл. 7).

Робот кормораздатчик

Компания «Lely» в 2010 г. создала концепт системы кормления «Vector», который первое время применялся только на фермах в Голландии, где в течение двух лет проходило тестирование, позволившее сегодня предложить потребителю высококачественный продукт. Один робот-кормораздатчик «Lely Vector» может обслуживать от 25 до 300 голов. Два робота, работающих совместно, могут обслужить стадо до 500 голов (см. табл. 7).

Технология кормления базируется на многоазовом перемещении такого кормораздатчика вдоль стойл, вместе с этим производится выдача концентрированных, грубых и других видов кормов в со-

ответствии с надоями и физиологическим состоянием каждой лактирующей коровы.

Во время движения по запрограммированному маршруту робот не только раздает корм, но и при помощи лазерных датчиков измеряет количество оставшегося корма, его расположение, и, если это требуется, пододвигает корм ближе к животным. Если робот определил во время полного прохода, что корма на кормовом столе в итоге недостаточно, он сам отправляется на кухню, готовит новую порцию и раздает ее.

Система кормления «Lely Vector» может быть задействована на фермах с любой организацией труда, но правильнее и прибыльнее всего она будет работать на фермах, где также работают доильные роботы «Lely Astronaut» и другое оборудование «Lely», которое объединено в единую систему управления стадом Т4С («Time for Cows») [31].

Программа управления стадом Т4С дает фермеру полезную статистику по всем животным в целом и по каждому в отдельности. Она оценивает динамику веса и активности коров, анализирует число доений и паузы между ними, время пере-

Таблица 7

Обзор мирового рынка роботов для животноводства

Наименование, разработчик	Комплектация	Примечание
Робот для выпаса животных, «SwagBot» (Австралия)	Многонаправленная электрическая наземная машина, способная двигаться по холмистой неровной местности и избегать естественных препятствий — деревьев и грязи. Может анализировать здоровье животных при помощи температурных датчиков или сенсоров регистрации движения	Больше всего робот полезен для мест отдаленного выпаса, может применяться в опасных для фермеров районах
Роботы для доения, «Lely», «Delaval», «GEA Farm Technologies», «BouMatic», SAC, «Fullwood»	Доильный робот, как правило, состоит из манипулятора, способного двигаться в трех плоскостях, системы очистки сосков и вымени с помощью щеток и моющего раствора, устройства для надевания и снятия доильных стаканов, контрольных и сенсорных приборов, весов для автоматического взвешивания коров, молока и концентратов. Работой всех устройств управляет компьютер с соответствующим ПО	Работает система контроля качества молока, контроля состояния здоровья коровы с помощью датчика, который прикреплен к уху или шее животного. Наиболее популярны однокорковые системы, способные обслуживать 50—70 коров
Робот кормораздатчик, «Lely Vector» (Нидерланды)	Бункер вмещает до 600 кг корма. Интеллектуальное программное обеспечение помогает смешивать, раздавать и пододвигать корм поближе к животным	Робот способен сканировать оставшиеся запасы и раздавать корм разным группам коров в зависимости от их потребностей
Робот для чистки стойл, «Lely Discovery» (Нидерланды)	В корпусе емкостью до 340 л расположены мешки с водой, которую робот расходует в процессе уборки, разбрызгивая через форсунки впереди и позади себя, разжижая навоз, «засасывая» его во внутренний контейнер и одновременно «моя» за собой полы. Поглощенный навоз он сливает в специальную яму	Работает по принципу пылесоса

жевывания кормов, скорость молокоотдачи, количество соматических клеток, потребление сухого вещества.

Эти данные позволяют управляющему видеть состояние здоровья животных в реальном времени. Статистика формируется в виде легко понятных отчетов и графиков. По ним человек всегда может понять, какому животному требуется персональное внимание. Соответственно, до 80 % затрат на ферме уходит только на обслуживание тех животных, которые в нем нуждаются, — лечение, осеменение и иные действия.

Робот-уборщик навоза

Фермерам необходимо обеспечить животных достаточным количеством воды и корма хорошего качества, а также создать оптимальную, комфортную среду. Быстрая уборка навоза может внести большой вклад в эту работу. Влага и навоз на щелевом полу часто являются источником инфекций копыт. Коровы с заболеваниями копыт дают меньше молока, им труднее передвигаться. Кроме того, скопление влажного навоза на щелевом полу, особенно около стойл, является источником загрязнения, снижающего качество молока. Чистота вымени и стойл для отдыха — основное условие предотвращения ухудшения качества молока.

Так, мобильный уборщик коровника «Lely Discovery» подходит для всех ровных щелевых полов. Кроме того, «Lely Discovery» также может применяться для очистки коротких участков полов без щелей (максимальной длиной 5 м). Так как уборщик коровника «Lely Discovery» чрезвычайно компактен и имеет очень малую высоту, он без затруднений проходит под разделительными решетками (см. табл. 7) [32].

Мобильный робот для уборки коровника «Discovery» работает от аккумуляторной батареи и после каждого цикла уборки он возвращается к зарядной станции, которая расположена в удобном месте коровника. Эта зарядная станция также служит отправной точкой каждого маршрута. Скребок, закрепленный в нижней части «Discovery», проталкивает навоз в отверстия щелевого пола. Для перемещения и управления «Discovery» задействованы два колеса.

Маршрут для работы «Lely Discovery» задается фермером, что позволяет еще более тщательно очищать определенные, интенсивно используемые участки коровника. Большое горизонтальное колесо обеспечивает движение устройства вдоль стен и объезд возможных препятствий, например, перегородок или ног коров и телят.

В качестве перспективы в применении роботов на животноводческих фермах можно рассматри-

вать разработку как новых поколений автоматических комплексов, так и полную автоматизацию процесса путем взаимодействия разного вида роботов на фермах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Агропромышленный комплекс является энергозатратной отраслью, где широко применяется ручной труд с тяжелыми монотонными операциями, вредными и опасными условиями. Поэтому применение робототехнических систем позволит добиться увеличения производства продовольствия и снижения энергозатрат на единицу производимой продукции при одновременном повышении урожайности сельхозкультур и продуктивности животных [33].

Роботизация — одно из средств помощи сельскому хозяйству, способствующее не только очевидной замене дорогого человеческого труда, но и развитию отрасли невиданными с момента появления тракторов и удобрений темпами. Роботы могут не только работать в более широком диапазоне условий, чем люди, они могут делать это круглосуточно и уделять внимание деталям, что было бы слишком дорого делать вручную.

По итогам проведенного исследования было установлено, что мировой рынок сельскохозяйственных роботов находится в фазе активного роста, однако конкуренция на рынке робототехники незначительная. В основном это борьба крупных разработчиков за новые рынки, а также соревнование разных стартапов, которые пытаются решить одну и ту же проблему.

Помимо роботов, активно применяемых в сельском хозяйстве (более всего в молочном животноводстве), на рынке представлено значительное количество концептов будущих промышленных образцов, проходящих доработку по результатам полевых испытаний. По прогнозам разработчиков и аналитиков, запуск серийного производства многих концептов предполагается в течение ближайших двух-трех лет. При этом рынок не насыщен и нуждается в перспективных идеях и технологиях.

Наиболее сильными игроками рынка сельскохозяйственных роботов являются такие страны как США, Япония и Китай.

Главное преимущество роботов — они выполняют поставленные перед ними задачи без вмешательства фермера с большей точностью и производительностью, способны накапливать и анализировать данные для принятия эффективных решений. При помощи доступных онлайн баз данных, прогнозов погоды и данных, полученных от



внутренних и внешних датчиков, роботы будут знать о происходящем на ферме больше, чем фермер мог бы знать, выполняя автоматизированные действия самостоятельно.

Перспективны роботы на электрических моторах и солнечных батареях, позволяющие снизить расход энергии и выбросы углеродов на фермах. Роботизация сельского хозяйства — возможность сделать его менее вредным для окружающей среды.

Ожидается, что в ближайшие несколько лет коммерчески доступными станут многие инновационные продукты, которые сейчас находятся на стадии испытаний или на этапе разработки прототипов. Инновации направлены на то, чтобы сделать роботов легкими, модульными (состоящими из целостного блока) и компактными. Легкость позволит избежать лишней нагрузки на почву, а малый размер потенциально обеспечит более низкую стоимость.

По итогам исследования мирового рынка разработок, основной перспективой роботизации сельского хозяйства является работа над интегрированной сетью, в которой все сельскохозяйственное оборудование обменивается информацией, благодаря чему ферма функционирует автономно и более эффективно.

Роботизированный рынок и технологические разработки изменят бизнес сельского хозяйства, создав возможности для сверхточного и/или автономного земледелия и помогут решать ключевые глобальные проблемы.

Однако можно выделить ряд трудностей [2], которые замедляют развитие:

- высокие первоначальные инвестиции;
- неоднородность рабочей среды для роботов;
- проблема идентификации и классификации целей и препятствий на пути движения;
- недостаточность развития навигационных технологий;
- безопасность труда работников (роботы могут «не заметить» человека на пути своего следования);
- особенности сельскохозяйственных процессов;
- необходимость перепланирования старых ферм под маршруты работы новых систем;
- высокое потребление электроэнергии.

Несмотря на сложности, по итогам проведенного исследования отметим ряд существенных преимуществ применения роботов в сельском хозяйстве:

- возможность обработки влажных почв;
- возможность работы круглые сутки и в различных погодных условиях;
- снижение экологической нагрузки;
- повышение рентабельности производства;

— возможность принятия своевременных управленческих решений на основе оперативного анализа данных;

— восполнение дефицита рабочей силы, замена сезонных работников;

- снижение риска переуплотнения почв;
- увеличение производительности труда.

Таким образом, можно с уверенностью прогнозировать, что в ближайшем будущем роботизация войдет в различные сферы сельского хозяйства, изменит способы ведения сельского хозяйства, преобразует цепочку создания стоимости и станет будущим агрохимического бизнеса.

В ч. 2 статьи будет представлен обзор мирового рынка беспилотных летательных аппаратов и роботизированных ферм.

ЛИТЕРАТУРА

1. URL: http://mcxacc.ru/analitika/day_digits/1018/
2. Скворцов Е.А., Скворцова Е.Г., Санду И.С., Иовлев Г.А. Переход сельского хозяйства к цифровым, интеллектуальным и роботизированным технологиям // Экономика региона. — 2018. — Т. 14, вып. 3. — С. 1014—1028. [Skvortsov, E.A., Skvortsova, E.G., Sandu, I.S., Iovlev, G.A. Perekhod sel'skogo khozyaistva k tsifrovym, intellektual'nym i robotizirovannym tekhnologiyam // Ekonomika regiona. — 2018. — Т. 14, вып. 3. — С. 1014—1028. (In Russian)]
3. URL: <https://www.tractica.com/newsroom/press-releases/agricultural-robot-revenue-to-reach-74-1-billion-worldwide-by-2024/>
4. URL: <https://ssm22.ru/spros-na-agrorobotov-stremitelno-rastet/>
5. URL: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/agricultural-robot-market-173601759.html>.
6. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/agricultural-robots-market>.
7. URL: <https://agronews.com/by/ru/news/technologies-science/2019-01-18/33713>.
8. URL: <https://fruitnews.ru/technology/65-growing/50554-rynok-selskokhozyajstvennykh-robotov-v-yaponii-udvoitsya-za-5-let.html>.
9. URL: <http://finfront.ru/2017/11/28/robotization-of-agriculture/>
10. Шаныгин С.В. Роботы, как средство механизации сельского хозяйства // Известия высших учебных заведений. Механика. — 2005. — Т. 3. — С. 39—42. [Shanygin, S.V. Roboty, kak sredstvo mekhanizatsii sel'skogo khozyaistva // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mekhanika. — 2005. — Т. 3. — С. 39—42. (In Russian)]
11. <https://agro-smart.com.ua/news/vse-o-bespilotnykh-traktorakh>.
12. URL: <https://aggeek.net/ru-blog/roboty-dlya-selskogo-hozyajstva-tendentsii-razvitiya-rynka>
13. URL: <https://bespilot.com/tip/bespilotnye-traktora>.
14. URL: <https://agri-news.ru/novosti/case-ih-175-let-liderstva-v-selskom-xozyajstve.html>.
15. URL: <http://www.robo geek.ru/roboty-v-selskom-hozyajstve/bear-flag-robotics-hochet-prodat-fermeram-avtonomnye-traktora>.
16. URL: <https://propozitsiya.com/do-2025-g-mirovoy-rynok-robotov-dlya-propolki-sornyakov-budet-sostavlyat-400-mln>.
17. URL: <https://agro-max.ru/tekhnologii/razrabotan-prototip-roboty-kotoryj-mozhet-isklyuchit-ispolzovanie-gerbicidov/>
18. Кондратьев А.А. Резистентность сорных растений к гербицидам и меры ее преодоления в условиях Алтайского Приобья: автореф. дисс.... канд. сельхоз. наук. — Барнаул,

2009. — 18 с. [Kondrat'ev, A.A. Rezistentnost' sornykh rastenii k gerbitsidam i mery ee preodoleniya v usloviyakh Altaiskogo Priob'ya: avtoref. diss. ... kand. sel'khoz. nauk. — Barnaul, 2009. — 18 s. (In Russian)]
19. Труфляк Е.В. Интеллектуальные технические средства в сельском хозяйстве // Известия великолукской ГСХА Технические науки. — 2015. — Т. 4. — С. 25—34. [Truflyak, E.V. Intelektual'nye tekhnicheskie sredstva v sel'skom khozyaistve // Izvestiya velikolukskoi GSKHA Tekhnicheskie nauki. — 2015. — Т. 4. — С. 25—34. (In Russian)]
20. URL: <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/11-robotizirovannykh-resheniy-dlya-berezhnogo-sbora-urozhaya>.
21. URL: <https://agroexpert.md/rus/tehnika/na-rynok-ssha-vyhodit-robot-dlya-sbora-klubniki>.
22. Скворцов Е.А. Повышение эффективности роботизации сельского хозяйства: автореф. дисс. ... канд. экон. наук / УрГАУ. — Екатеринбург, 2018. — 24 с. [Skvortsov, E.A. Povyshenie ehffektivnosti robotizatsii sel'skogo khozyaistva: avtoref. diss. ... kand. ehkon. nauk / URGAU. — Ekaterinburg, 2018. — 24 S. (In Russian)]
23. URL: <https://hightech.fm/2018/04/09/vino>.
24. Цекоева Ф.К. Мониторинг земель на основе новых технологий // Московский экономический журнал. — 2017. — № 1. — С. 67—71. [Tsekoeva, F.K. Monitoring zemel' na osnove novykh tekhnologii // Moskovskii ehkonomicheskii zhurnal. — 2017. — No. 1. — S. 67—71.]
25. URL: https://robotics.ua/news/agriculture_robots/6102-tarzan-selskohozyajstvennyj-robot_georgia_tech_video.
26. URL: <https://www.techcult.ru/robots/1764-v-avstralii-razrabotan-selskohozyajstvennyj-robot-ladybird>
27. URL: <https://aggeek.net/ru-blog/top-10-avtonomnyh-robotov-dlya-selskogo-hozyajstva>.
28. Пласкин И.Е., Трифанов А.В., Пласкин С.И. Анализ применения автоматизированных и роботизированных комплексов в сельском хозяйстве // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. — 2018. — № 4 (97). — С. 73—83. [Plaskin, I.E., Trifanov, A.V., Plaskin, S.I. Analiz primeneniya avtomatizirovannykh i robotizirovannykh kompleksov v sel'skom khozyaistve // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva. — 2018. — No. 4 (97). — S. 73—83. (In Russian)]
29. Скворцов Е.А., Скворцова Е.Г., Орешкин А.А. Необходимость инновационного развития сельского хозяйства на основе применения робототехники // Вестник ВНИИМЖ. — 2016. — Т. 1 (21). — С. 85—90. [Skvortsov, E.A., Skvortsova, E.G., Oreshkin, A.A. Neobkhodimost' innovatsionnogo razvitiya sel'skogo khozyaistva na osnove primeneniya robototekhniki // Vestnik VNIIMZH. — 2016. — T. 1 (21). — S. 85—90. (In Russian)]
30. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/robotizirovannye-resheniya-dlya-doilnyh-ferm>.
31. URL: <http://1001tema.ru/p/lely-vector-robotizirovannaya-sistema-kormleniya>.
32. URL: <http://sd-milk.ru/lely/soderzhanie/discovery.html>.
33. Рунов Б.А., Новиков Н.Н. Анализ применения робототехнических средств в сельском хозяйстве // Вестник ВНИИМЖ. — 2017. — № 2 (26). — С. 113—117. [Runov, B.A., Novikov, N.N. Analiz primeneniya robototekhnicheskikh sredstv v sel'skom khozyaistve // Vestnik VNIIMZH. — 2017. — No. 2 (26). — S. 113—117. (In Russian)]

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.М. Вишневым.

Поступила в редакцию 8.03.2019, после доработки 6.05.2019.

Принята к публикации 30.05.2019.

Шевченко Анна Владимировна — ✉ nushech25@gmail.com,

Мещеряков Роман Валерьевич — д-р техн. наук, ✉ mrv@ipu.ru,

Мигачев Андрей Николаевич — ✉ batwus@gmail.com,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва.

REVIEW OF THE WORLD MARKET OF AGRICULTURE ROBOTICS. Part 1. Unmanned Vehicles for Agriculture

A.V. Shevchenko[#], R.V. Meshcheryakov, A.N. Migachev

V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

[#] ✉ nushech25@gmail.com

Abstract. The overview is presented of the global market of unmanned agricultural vehicles and robotic devices and complexes used in various areas of agriculture. The main lines in application of agricultural robots and the feasibility of their introduction into agriculture along with traditional methods or in exchange of them are highlighted. The data on the concepts and developments of unmanned tractors and their equipment are given. The main market players are considered and promising technologies are described for unmanned agricultural vehicles, robotic devices and complexes in crop production and animal husbandry. Agricultural robots are identified and described: robot weeders, thinning robots, harvesting robots, robots for performing operations in vineyards and gardens, self-mobile monitoring robots, and robots for animal husbandry. The advantages of using robots in each of the areas, as well as trends in technological innovations, are identified. Conclusions are made about the prospects of the global market of agricultural robotics and about its positive impact on agriculture in terms of economics, technology and ecology.

Keywords: robot, agriculture, robotics market, autonomous tractors, robotic devices.