

ОБЗОР СОСТОЯНИЯ МИРОВОГО РЫНКА РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА.

Ч. 2. Беспилотные летательные аппараты и роботизированные фермы

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

Аннотация. Представлен обзор мирового рынка беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в части их применения в сельском хозяйстве. Описаны основные задачи сельского хозяйства, которые могут быть решены посредством БПЛА. Сделаны выводы о преимуществе БПЛА в сравнении со спутниками и малой авиацией. Приведены разработки основных игроков рынка БПЛА с кратким описанием технических характеристик аппаратов и технологий их работы. Представлен мировой опыт применения БПЛА в скотоводстве, растениеводстве (в том числе для борьбы с вредителями и внесения химикатов). Выделены основные преимущества и перспективы применения БПЛА в сельском хозяйстве. Дан обзор такого направления робототехники, как робофермы. Описаны технологии полной роботизации ферм и представлены к рассмотрению существующие мировые проекты городских ферм и робоферм. Рассмотрены преимущества и недостатки данных технологий. Сделаны выводы об эффективности и перспективности внедрения технологий БПЛА и робоферм в сельское хозяйство.

Ключевые слова: БПЛА, робоферма, сельское хозяйство, рынок робототехники.

ВВЕДЕНИЕ

В первой части [1] представлен обзор мирового рынка беспилотной агротехники. Вторая часть посвящена применению в мировом сельском хозяйстве беспилотных летательных аппаратов, благодаря которому с каждым годом открываются новые инструменты и перспективы для аграриев. Крупные исследовательские компании предсказывают существенный рост данного сектора и лидерство агросектора в качестве сферы применения беспилотников. По оценкам компании «Pricewaterhouse Coopers», через несколько десятков лет рынок одних «сельскохозяйственных» дронов (без учета беспилотников самолетного типа) может составить порядка 32,4 млрд. долл. США. Рынок БПЛА находится в стадии формирования и роста.

Основные игроки рынка сосредоточены в США и Китае. Среди крупнейших игроков мирового рынка БПЛА, которые ориентируются на сельское хозяйство, можно выделить таких представителей, как «AeroVironment Inc.», «AgEagle», DJI, «Yamaha» и др. Дистанционное зондирование на основе БПЛА дает широкие возможности для точного земледелия; БПЛА могут выступать не только мощным инструментом мониторинга, но и эффективно выполнять конкретные сельскохозяйственные операции.

Беспилотники внедряют и успешно применяют как в растениеводстве, так и в животноводстве. Основное преимущество применения БПЛА — в упрощении доступа к другим технологиям, которые позволят выращивать больше и тратить меньше, причем не только агрохолдингам, но и фермерам.

Логичное и перспективное направление роботизации ферм состоит в решении задачи полной автоматизации всех процессов выращивания агрокультур. Такие инновационные проекты уже разрабатываются и запускаются в мире. Робофермы призваны автоматизировать все процессы — от посева семян до сбора урожая в растениеводстве и полный цикл обслуживания дойного стада в животноводстве. Технический персонал управляет машинами из диспетчерской, никак физически не вмешиваясь в сами процессы.

1. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

1.1. Обзор мирового рынка БПЛА и сферы их применения

Земледелие и сельское хозяйство в целом — одно из наиболее перспективных направлений применения беспилотных летательных аппаратов (дронов), в первую очередь, для решения задач точного земледелия. Система точного земледелия (англ. *precision farming*) — новый этап в развитии IT-агрономии. Это не строго определенный набор методик и технических средств, а, скорее, общая концепция, основанная на применении технологий спутникового позиционирования (GPS), геоинформационных систем (GIS), точного картографирования полей и пр. Решение задач точного земледелия невозможно без применения БПЛА.

По оценкам исследования компании «Juniper Networks», в 2016 г. до 48 % коммерческих дронов были задействованы в сельском хозяйстве. К 2026 г. этот показатель может достигнуть 80 % [2]. А компания «MarketsandMarkets» в 2016 г. оценила рынок «сельскохозяйственных» БПЛА в 864,4 млн. долл., спрогнозировав до 2022 г. уверенный ежегодный рост отрасли в 30 % (до 4,2 млрд. долл.) [3].

Общемировой подход к применению беспилотников таков: это класс устройств, работающих на высоте до 120 м в пределах прямой видимости. Беспилотники в сельском хозяйстве внедряют США, страны Европы, Бразилия и Аргентина. Однако активнее всего инновация применяется в Китае, который занимает лидирующие позиции по производству БПЛА. В России в последнее время появилось много компаний-разработчиков беспилотников, но запчасти для них зачастую импортные. Беспилотники оснащаются мультиспектральными камерами, высокая четкость изображения которых позволяет точно определять проблемные участки поля. Аппараты также снабжаются разнообразными датчиками, системами спутниковой навигации, малогабаритными бортовыми компьютерами и оборудованием для внесения химикатов.

Дроны делятся на два больших класса: самолетного типа (или с неподвижным крылом) и мультироторного (коптеры). Одно из основных различий между ними — в том, что первые могут облететь за один полет территорию примерно в десять раз большую, чем коптеры. Однако высокая скорость ухудшает качество снимков.

Беспилотные летательные аппараты в сельском хозяйстве смогут решать следующие задачи [4, 5]:

- создание электронных карт полей (построение 3D-моделей полей);
- инвентаризация сельскохозяйственных угодий;
- оценка объема работ и контроль их выполнения в целях оптимального построения систем ирригации и мелиорации;
- оценка качества пропашности;
- оперативный мониторинг состояния посевов (БПЛА позволяет быстро и эффективно строить карты по всходам);
- отслеживание нормализованного вегетационного индекса растительности (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) в целях эффективного внесения удобрений;
- оценка всхожести сельскохозяйственных культур;
- выполнение посевных работ;
- прогноз урожайности сельскохозяйственных культур;
- экологический мониторинг сельскохозяйственных земель;
- охрана сельхозугодий;
- опрыскивание посевов химическими препаратами для борьбы с вредителями и болезнями;
- оценка химического состава почвы;
- мониторинг поголовья крупного и мелкого рогатого скота.

Применение БПЛА в сельском хозяйстве является экономически выгодной альтернативой малой авиации, а также спутникам. Приобретение и обслуживание беспилотника обходится дешевле любого пилотируемого летального аппарата. К тому же, многие задачи для сельского хозяйства БПЛА могут решить быстрее, чем спутники. Аэрофото съемочный БПЛА позволяет получать снимки высокого разрешения в запрограммированных точках по GPS-координатам. Для каждого снимка получается полный набор цифровой информации, включающей в себя координаты центральной точки данных для переноса и использования в общепринятых системах (например, «ArcView» или «MapInfo»). Таким образом, все фотографии являются геопривязанными, и их можно сшить в один большой ортофотоплан поля.

Обзор мирового рынка БПЛА для сельского хозяйства представлен в таблице.



Беспилотные летательные аппараты для сельского хозяйства

| Наименование, разработчик | Комплектация | Примечание |
|--|--|---|
| "RX60", "AgEagle" (США) | Автономен, multifunctional, размах крыльев 54 дюйма, крыло из углеродного волокна, автоматическая компенсация направления ветра. Устройство безопасности батареи контролирует состояние батареи и направляет летательный аппарат на место до окончания заряда блоков питания. Вмещается в багажное отделение автомобиля, обеспечивая легкость транспортировки | С помощью аэроснимков получает карты для оценки состояния урожая с выявлением критических зон. Уникальный дизайн обеспечивает полеты при высоких скоростях ветра (до 13 м/с) |
| "Agras MG-1", DJI (Китай) | Октокоптер для обработки полей пестицидами. На складывающихся плечах беспилотника смонтирована система трубок и разбрызгивающих форсунок, а под корпусом находится емкость вместимостью 10 л. Во время распыления дрон самостоятельно регулирует количество распыляемых пестицидов в зависимости от скорости передвижения | Максимальная скорость устройства 28 км/ч, производительность обработки полей от 7 до 10 га/ч. Полного заряда батареи хватает только на 12 мин, но при возврате на начальную точку и замене аккумулятора способен продолжить обработку поля с того места, на котором он остановился |
| "YMR-01", "YAMANA" (Япония) | Многовинтовой дрон для распыления химикатов выполнен по схеме гексакоптера. Передние и задние два его луча оснащены электромоторами с верхним расположением воздушных винтов. Два боковых луча имеют электромоторы с двумя воздушными соосными винтами, один из которых расположен снизу, а второй — сверху. Соосно боковым воздушным винтам расположены и форсунки распылителей химикатов | Один аппарат сможет распылять химикаты над полем площадью до 10,1 тыс. м ² . Беспилотник получил распыляющие системы компании "Yamabiko", которая и будет продавать "YMR-01" через свою дилерскую сеть |
| "SenceFly eBee SQ", "eBee" (США) | Мультифункциональный аппарат самолетного типа. Масса 1,1 кг, продолжительность полета до 55 мин. Поднимается на высоту до 120 м, разрешение 12 см/пиксель. Оснащен пятиспектральным сенсором "Sequoia" (четыре спектральных диапазона и видимый, RGB) и усовершенствованным программным обеспечением для планирования полета, управления им и обработки изображений | Номинальный охват 200 га с высоты 120 м. С камерой программно связан датчик солнечного освещения. В полете датчик постоянно регистрирует условия освещенности в тех же спектральных каналах, что и камера "Sequoia", в результате получаются калиброванные значения яркости объектов съемки |
| "PrecisionHawk Lancaster 5", "PrecisionHawk" (Канада) | Мультифункциональный аппарат самолетного типа. Оборудован камерами трех типов — электрооптической, инфракрасной и мультиспектральной. Оснащен одним электрическим мотором, способным разгонять дрон до максимальной скорости 80 км/ч. Максимальное время нахождения в воздухе не более 40 мин, а максимальная дальность полета всего лишь 2 км | В дополнение к мультиспектральному сенсору, который ведет съемку поверхности, установлены сенсоры влажности, температуры, атмосферного давления, которые передают данные в режиме реального времени |
| "AgDrone", "HoneyComb" (США) | Мультифункциональный аппарат самолетного типа. Оснащен двумя камерами, которые четко передают детали полета оператору, собирают информацию и автоматически ее визуализируют. В дроне реализована усовершенствованная система автопилотирования "AgDrone System", которая позволяет устройству самостоятельно летать. Хорошо взаимодействует с бортовыми компьютерами сельскохозяйственной техники | Корпус из специального волоконного композита, делающего дрон ударопрочным. Максимальная скорость 82 км/ч. Может осуществлять мониторинг состояния посевов, создавать ортофотопланы |
| "Phoenix 2", "Sentera" (США) | Мультифункциональный аппарат самолетного типа. Имеет множество датчиков, включая "Sentera Double 4K Sensor" для получения RGB-изображений и данных стандартизированного индекса NDVI, которые он собирает за один полет, и "Sentera Quad Sensor" — мультиспектральный шестидиапазонный тепловизор с возможностями удаления красного цвета, что также популярно в приложениях для сельского хозяйства | Автопилот "Kestrel" обеспечивает точный захват изображений с автоматически рассчитываемым интервалом, который также может регулироваться оператором дистанционно. За один полет дрон облетает 40 га |

| Наименование, разработчик | Комплектация | Примечание |
|----------------------------------|---|--|
| "UX5", "Trimble" (Франция) | Мультифункциональный аппарат самолетного типа. Оптимизированный для сбора данных с БПЛА фотограмметрический модуль "Trimble Business Center Photogrammetry Module" обрабатывает и представляет результаты в удобной форме: облако точек, треугольная нерегулярная сетка (TIN-модель) и карта изолиний местности, над которой осуществлялся полет. Оснащен дополнительной визуальной 24-мегапиксельной камерой "MicaSense RedEdge UX5" (захват данных с разрешением до 2 см/пиксель) | Работает в полностью автоматическом режиме и не требует навыка пилотирования. Оператору необходимо только контролировать полет, а встроенные программные задачи обеспечивают безопасный взлет и посадку при каждом запуске. Скорость полета — 80 км/ч, время полета — 50 мин. Может работать в сложных погодных условиях, сохраняя высокое качество съемки |

Одним из лидеров рынка производителей беспилотников для сельского хозяйства является компания DJI (Китай), которая в 2015 г. разработала БПЛА «DJI Agras MG-1», обладающий влаго- и пылезащитными свойствами (дрон выполнен из материалов, не подверженных коррозии, в связи с чем после выполнения работы он может быть вымыт и сложен для транспортировки). Восемимоторный «Agras MG-1» может нести до 10 кг опрыскивающей жидкости и обрабатывать площадь от 3,2 до 4 км²/ч. Это в 40 раз эффективнее ручного опрыскивания. Дрон может лететь со скоростью до 8 м/с и регулировать интенсивность опрыскивания в зависимости от скорости, не снижая при этом эффективность распыления (см. таблицу).

1.2. Мировой опыт применения БПЛА в скотоводстве

Дроны успешно применяются как в растениеводстве, так и в коммерческом скотоводстве. Летательные аппараты задействуются не только для выпаса крупного рогатого скота, но и для наблюдения за животными. Способность беспилотника создавать завихрения воздуха от винтов позволяет владельцам скотоводческих хозяйств пасти скот точно в границах своего пастбища. Кроме того, установка на дроны тепловых воздушных камер вроде «DJI Zenmuse XT» позволяет применять беспилотники для розыска коров в лесных зарослях, так как камера помогает отличить животных от других источников тепла. Камеры также могут быть эффективным инструментом для обнаружения опасных хищников, если те оказались поблизости.

Интерес к точному скотоводству в мире огромен. Например, в Канаде Исследовательским Советом по естественным наукам и инжинирингу был выделен трехлетний грант в размере почти 664 тыс. долл. на разработку инновационных ре-

шений в скотоводстве. Один из участников проекта доктор Дж. Черч из Технологического института Южной Альберты (Канада) задействовал в своих наработках дрон «DJI Phantom 3 Professional», чтобы показать, насколько применение таких устройств может быть эффективным для точного скотоводства уже в ближайшее время. Опыты показали, что многие типичные виды работ на скотоводческой ферме могут изначально выполняться намного быстрее с применением дронов. Например, речь может идти о ежедневном пересчете голов скота и выпасе коров (в последнем случае, как показала практика, даже самые лучшие собаки не всегда справляются со своими функциями). Среди новых идей доктора Черча — установка меток RFID на каждую корову, чтобы с помощью дрона и пакета программ можно было бы точно установить местонахождение любого животного и его состояние [6].

1.3. Мировой опыт применения БПЛА в растениеводстве

В растениеводстве БПЛА помогают не только проводить мониторинг состояния почвы, но и дифференцировано вносить удобрения, что особенно важно на полях с выраженной вариабельностью почвенного плодородия [6].

В сельском хозяйстве Японии агродроны применяют для полива полей, внесения удобрений и посева. Дроны, оснащенные специальными датчиками, могут определять, какие участки полей высыхают или нуждаются в обработке. Помимо этого, в процессе роста культур с помощью дронов можно рассчитать плотность и качество потенциального урожая. В 2012—2013 гг. на полях Японии трудились уже около 3000 агродронов, правда, большинство из них были бензиновыми и дизельными. Современные аппараты работают на аккумуляторных батареях.



Сейчас в Японии необходимо регистрировать беспилотные вертолеты для распыления пестицидов, удобрений и посева семян. Обязательная регистрация сельскохозяйственных дронов была введена в 2015 г. Число зарегистрированных аппаратов в январе 2018 г. достигло 673, что примерно в три раза превышает уровень марта 2017 г. [8]. Приобретение сельскохозяйственных БПЛА в Японии обходится гораздо дешевле, чем аренда обычных вертолетов для обработки посевов [9].

Самые популярные японские дроны, распыляющие пестициды, имеют резервуары вместимостью от 8 до 10 л. Для обработки 1 га рисовых полей требуется около 10 л пестицидов. Фермеру обычно нужно несколько часов, чтобы распылить такой объем жидкости на площади в 1 га, в то время как беспилотник может выполнить ту же работу примерно за 10 мин. В отличие от обычных беспилотных сельскохозяйственных вертолетов, БПЛА могут совершать очень резкие повороты. Также они не создают сильный воздушный поток, который может повредить листовые овощи.

Исследование рынка БПЛА позволило выделить ряд наиболее важных выполняемых ими операций в растениеводстве [10].

К примеру, БПЛА можно применять для:

— оценки подверженных засухе участков почвы и водных ресурсов;

— дистанционного зондирования состояния растений (технология дистанционного зондирования базируется на оценке цвета листьев и других частей растений по длине волны и коэффициенту отражения в видимой области спектра (RGB) и невидимом ИК-тепловом излучении. В качестве вторичных показателей состояния растений возможен анализ индекса NDVI, индекса поглощения хлорофилла (TCARI), индекса фотохимического отражения (PRI), оптимизированного вегетационного индекса почвы (OSAVI);

— дистанционного зондирования, проводимого в целях оценки обеспеченности растений водными ресурсами (рассчитывается разность между температурами листового покрова, воздуха, которые определяются устьичной проводимостью листьев с помощью тепловых нормированных индексов);

— дистанционного зондирования равномерности роста зерновых культур (результаты компьютерного анализа захваченных изображений показывают, где рост идет медленнее; основываясь на таком анализе, фермеры могут изменять количество вносимых удобрений и проделать другие корректировки для улучшения качества посевов и повышения урожайности);

— дифференциального внесения удобрений и пестицидов;

— дистанционного установления ущерба, причиняемого животными (если дрон запустить ночью, когда активны олени и дикие свиньи, то становится ясна картина поведения животных, откуда они приходят на ферму и чем занимаются).

Японский стартап «Skyrobot» разрабатывает систему на основе БПЛА для защиты сельскохозяйственных угодий от набегов диких животных. Компания предлагает свой программно-аппаратный комплекс, состоящий из квадрокоптера, камеры с ИК-датчиком и системы с искусственным интеллектом [11].

По задумке разработчиков, облетая подконтрольную территорию, дрон будет выявлять приближающихся к полям животных и отпугивать их с помощью высокочастотного сигнала или звуков разрыва петард. Благодаря специализированной камере, способной снимать как в обычном режиме, так и в инфракрасном, потенциальные нарушители не останутся незамеченными даже в ночное время и в лесной местности. Кроме того, система на основе искусственного интеллекта будет анализировать отснятые дроном материалы, чтобы по повадкам и следам животных прогнозировать их поведение.

1.4. Мировой опыт применения БПЛА для борьбы с вредителями

Применение БПЛА для борьбы с вредителями на полях началось несколько лет назад, поэтому ее методы постоянно совершенствуются. Уже сейчас дроны применяют на больших площадях, поскольку бункеры для средств защиты растений (СЗР), установленные на беспилотниках, стали весьма объемными.

Полет дрона может быть запрограммирован на внесение СЗР через определенные промежутки времени, а GPS-передатчик поможет проложить маршрут в поле. Идея состоит в том, чтобы объединить несколько дронов друг с другом в так называемый «рой», который будет перемещаться по полю и на соответствующих расстояниях разбрасывать биопрепараты, что значительно сократит и улучшит эффект от их применения. Такой метод внесения, например, трихограммы, будет идеальным для крупных плантаций в несколько сотен или тысяч гектаров, поэтому разработчики совершенствуют методы контроля работы таких устройств, чтобы они были максимально точными [12].

Несмотря на то, что дроны пока не так эффективны, как мини-авиация, они позволяют бороться с вредителями на тех плантациях, которые слишком велики для использования ручного труда, но малы для обработок мини-авиацией. Речь

идет, в частности, об обеспечении биозащиты для органических хозяйств, так как применение другого сельхозоборудования, которое задействуется одновременно и на участках с традиционной системой защиты, осложнено из-за необходимости его регулярной дезинфекции и очистки.

1.5. Мировой опыт применения БПЛА для внесения азотных удобрений

Исследовательская группа из Орхусского университета в Дании разработала способ, как точно определить потребности в азоте у отдельных растений. Их система опирается на исследование характеристик света, который отражается от листьев растений, в сочетании с площадью поверхности листа. Эти две переменные могут сказать с высокой степенью точности, сколько азота требуется растениям в данный момент.

На стадии тестирования ученые исследовали растения картофеля. Сейчас они работают над созданием БПЛА, который можно отправить в поле и выполнить быстрые анализы, основываясь на автоматизированных системах для измерения указанных параметров. По мнению исследователей, такие дроны помогут снизить применяемое количество азотных удобрений до минимально необходимой нормы.

По данным организации AUVSI, в отчете «The Economic Impact of Unmanned Systems Integration in the United States» (об этом говорится в официальном докладе Международной ассоциации беспилотных систем (Association for Unmanned Vehicle Systems)) сообщается о том, что применение БПЛА в сельском хозяйстве будет преобладать над всеми остальными методами («dwarf all others») и к 2025 г. около 80 % беспилотных машин будет занято в сельском хозяйстве США [13].

Компания DJI, крупнейший в Китае производитель коммерческих беспилотников видит большие перспективы для сельскохозяйственных дронов и планирует активизировать усилия по подготовке большего числа операторов для них. По данным DJI, на долю ее дронов серии MG приходится около 70 % продаж БПЛА сельхозназначения в Китае [14].

1.6. Преимущества применения БПЛА в сельском хозяйстве

- Перечислим основные из них.
- Возможность сбора информации о растущих культурах, достаточной для точного применения пестицидов и гербицидов там, где необходимы химикаты. Это может позволить фермерам сэкономить на использовании химикатов, а

также снизить отрицательное влияние на окружающую среду.

- Возможность создавать картографическую основу с точными координатами всех объектов, что позволит в дальнейшем проводить визуальный анализ объектов с разрешением вплоть до нескольких сантиметров на пиксель. На эту основу можно будет нанести векторные слои: поля, дороги и другие объекты инфраструктуры. Такая основа дает возможность рассчитывать точные площади, расстояния, потребности в ресурсах и др. Будет удобно определять объективную площадь пашни, сенокосов, пастбищ, залежей, паров, язби, сева, недосево и присево.
- Результаты аэрофотосъемки позволяют ставить участки на кадастровый учет.
- Аэрофотосъемка с БПЛА дает большую детализацию благодаря высоте полета от 100 до 600 м над поверхностью земли. Кроме того, беспилотники позволяют вести съемку даже в условиях облачности, что недоступно спутникам и затрудняет применение авиации.
- Получение снимков возможно даже в процессе полета, причем можно скорректировать полет в реальном времени, если заказчику это необходимо. Производительность БПЛА достигает 30 км²/ч при площадной съемке и до 35 км/ч для линейных объектов.
- Навигационные системы БПЛА помогают прокладывать оптимальные маршруты для движения сельхозтехники, чтобы избежать чрезмерного уплотнения почвы, из-за которого снижается урожай.
- Экономия трудовых ресурсов — БПЛА могут работать круглые сутки с высокой производительностью. По словам разработчиков, беспилотник может за три часа засеять 10 км² леса семенами, в то время как человеку для этого потребуются сутки.

В качестве перспективы можно определить переход от телеуправления к роботизированным системам, в которых дроны автоматически подзаряжают аккумуляторы, вылетают на маршруты по расписанию, выполняют облет и фотографирование (видеонаблюдение) в автоматическом режиме, возвращаются на место стоянки и передают информацию в систему автоматизированной обработки.

2. РОБОФЕРМЫ И ГОРОДСКИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ФЕРМЫ

Наибольшего успеха при внедрении роботов в сельское хозяйство можно добиться при условии



комплексной автоматизации. Работа фермы должна управляться единой ИТ-системой, получающей данные от всех элементов автоматизированного хозяйства и управляющей ее активными элементами — роботами и другими устройствами. Технология полной роботизации ферм востребована как в растениеводстве (тепличные хозяйства на гидропонике), так и в животноводстве (молочное скотоводство).

Первой в мире робофермой стало совместное предприятие Университета Харпера Адамса в Шропшире (Великобритания) и компании «Precision Decisions». Ферма, названная «HAND Free Hectare», позволила аграриям просто наблюдать за ростом агрокультур. Автономные модифицированные тракторы и дроны сами вырастили на территории 2,5 га 4,5 т ячменя. Люди автоматизировали все процессы — от посева семян до сбора урожая. Машинами управлял техперсонал из диспетчерской. Дроны со встроенными мультиспектральными датчиками осуществляли съемку угодий. Небольшие сельскохозяйственные машины брали образцы земли, оценивали ее состав и подбирали необходимые минеральные удобрения. Камеры в режиме реального времени оповещали о вредителях или сорняках [15].

Еще один проект — робоферма «Iron Ox» — занимает территорию бывшего торгового склада в Калифорнии площадью более 740 м², производительность фермы — до 26 тыс. кочанов зелени в год, что в пять раз больше, чем в традиционных хозяйствах такой площади (данные 2018 г.). Грядки с салатом-латуком размещаются в поддонах и пока подсвечиваются светодиодами. В будущем компания планирует применять естественное освещение. Именно поэтому модули в «Iron Ox» располагаются не вертикально, а горизонтально. На ферме, кроме людей, трудятся роботизированные руки и роботы-грузчики. Руки пересаживают растение с одного гидропонного контейнера в другой, как только латук подрастает и контейнер становится для него мал. Большие роботы-грузчики переносят контейнеры с водой массой в 362 кг.

Первое препятствие на пути создания полностью автоматизированной фермы — это налаживание совместной работы роботов. Различные роботы выполняют разные работы на ферме, но не взаимодействуют между собой в условиях производственной среды. В «Iron Ox» разработали софтвер «The Brain» для налаживания такой коллаборации на своей ферме. Программа мониторит содержание азота, температуру и местоположение роботов, а также управляет роботами и дает рекомендации людям, направляя их туда, где необходимо вмешательство [16].

Несмотря на то, что большинство действий на ферме автоматизировано, она пока не может обойтись без участия человека. Работники помогают в посеве и обработке растений, но в «Iron Ox» надеются автоматизировать и эти процессы.

Еще одна полностью роботизированная ферма по выращиванию салата-латука планируется к постройке в Киото. На робоферме «Овощная фабрика», как ожидается, будут собирать 30 тыс. кочанов салата в день. Весь производственный процесс организован без участия людей. Промышленные роботы будут сеять и поливать салат и срезать кочаны. Вмешательство человека потребуются только тогда, когда датчики, установленные в теплице, зафиксируют отклонения от производственного плана [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благоприятные перспективы внедрения БПЛА в сельское хозяйство объясняются их уникальной совместимостью с другими полезными технологиями, что упрощает и удешевляет переход к точному земледелию, которое оптимизирует использование ресурсов и расходных материалов.

Мировой рынок услуг на базе БПЛА начинает принимать очертания. Сервисные компании, оказывающие услуги по всему миру, внедряют дроны в различные процессы и предлагают их своим клиентам. Разработки в области искусственного интеллекта и специализированных сенсоров позволяют вывести применение дронов на новый уровень.

Проектирование и внедрение робоферм не только повышает эффективность сельского хозяйства и его доступность (в случае городских ферм), но также решает острый общемировой вопрос нехватки рабочей силы в агросекторе. Инновационные технологии ведения сельского хозяйства идеально подходят для культивирования молодых растений, выращивания зерновых культур и создания более здоровых продуктов питания без использования пестицидов. Однако пока есть проблемы в технологиях, которые не позволяют полностью заменить человека. Но с уверенностью можно утверждать, что вертикальное сельское хозяйство — это будущее аграрного бизнеса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевченко А.В., Мещеряков Р.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника // Проблемы управления. — 2019. — № 5. — 3—18. [Shevchenko, A.V.,

- Meshcheryakov, R.V., Migachev, R.V.* Review of the world market of agriculture robotics. Part 1. Unmanned Vehicles for Agriculture // *Control Sciences*. — 2019. — No. 5. — P. 3—18. (In Russian)]
2. URL: <https://blog.dti.team/issledovanie—rynka—dronov/>
 3. URL: <https://iot.ru/selskoe-khozyaystvo/bpla-kak-osnova-zemledeliya-blizhayshego-budushchego>
 4. *Второй В.Ф., Второй С.Ф.* Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Теоретический и научно-практический журнал ИАЭП. — 2017. — Вып. 92. — С. 158—166. [*Vtoryi, V.F., Vtoryi, S.V.* Prospects for environmental monitoring of agricultural facilities using unmanned aerial vehicles // *Teoreticheskii i nauchno-prakticheskii zhurnal IAEP*. — 2017. — Iss. 92. — P. 158—166. (In Russian)]
 5. *Федосеева Н.А., Загвоздкин М.В.* Перспективные области применения беспилотных летательных аппаратов // Научный журнал. — 2017. — № 9 (22). — С. 26—29. [*Fedosееva, N.A., Zagvozdkin, M.V.* Perspektivnye oblasti primeneniya bespilotnykh letatel'nykh apparatov // *Nauchnyi zhurnal*. — 2017. — No. 9 (22). — S. 26—29. (In Russian)]
 6. URL: <https://4vision.ru/articles/kak-mozhno-ispolzovat-drony-dji-dlya-razvitiya-skotovodstva-zarubezhnyj-opyt.html>
 7. *Афанасьев Р.А., Ермолов И.Л.* О перспективах роботизации точного земледелия // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2016. — Т. 17, № 12. — С. 828—833. [*Afanasyev, R.A., Ermolov, I.L.* Prospects for Robots in Precision Agriculture. — *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*. — 2016. — Vol. 17, No. 12. — P. 828—833. (In Russian)]
 8. URL: <https://rg.ru/2016/07/26/kak-ispolzuiutsia-bespilotniki-v-selskom-hoziajstve.html>
 9. URL: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/japonskie-fermery-perehodjat-na-drony.html>
 10. *Ву Д.К., Нгуен В.В., Соленая О.А., Ронжин А.Л.* Анализ задач аграрной робототехники, решаемых посредством беспилотных летательных аппаратов // *Агрофизика*. — 2017. — № 3. — С. 57—65. [*Vu, D.Q., Nguyen, V.V., Solenaya, O.Ya., Ronzhin, A.L.* Analysis of agriculture robotics tasks solved by using unmanned aerial vehicles // *Agrophysics*. — 2017. — No. 3. — P. 57—65. (In Russian)]
 11. URL: <http://www.tadviser.ru/index.php>
 12. URL: <https://www.agroxxi.ru/selhoztehnika/novosti/drony-ne-zamenimy-dlja-provedeniya-biozaschity-polei.html>
 13. URL: <http://svetich.info/publikacii/tochnoe-zemledelie/opyt-i-perspektivy-primeneniya-bespilotn.html>
 14. URL: <https://sovzond.ru/press-center/news/selskoe-khozyaystvo/5271/>
 15. URL: <https://world.korupciya.com/2017/10/13/pervaya-vmire-roboferma-vyirastila-urozhay-bez-uchastiya-lyudej/>
 16. URL: <https://www.techcult.ru/robots/5864-pervaya-ferma-s-robotami-vmesto-lyudej>
 17. URL: <https://www.popmech.ru/technologies/news-365242-roboferma-bez-lyudej-otkroetsya-v-yaponii-uzhe-v-etom-godu/>
- 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 world market of unmanned aerial vehicles (UAVs) in terms of their use in agriculture. The main tasks of agriculture are described that can be solved by using the UAVs. Conclusions are made about the advantage of the UAVs when compared to satellites and small aircraft. The developments of the main players of the UAV market are given with brief description of the technical characteristics of the vehicles and the technologies of their work. The world experience of the use of UAVs in cattle breeding, plant growing (including that in pest control and chemical applications) is presented. The main advantages and prospects of using UAVs in agriculture are highlighted. The overview is given of such an area of robotics as the robotic farming. The technologies of full robotization of farms are described and existing global projects of urban farms and robo-farms are presented for consideration. The advantages and disadvantages of these technologies are considered. Conclusions are made about the effectiveness and the promises of the introduction of UAV technologies and robo-farming in agriculture.

Keywords: UAV, robo-farm, agriculture, robotics market.