

По разработанной оценочной классификации в баллах изделий оборудования животноводческих ферм, установлены укрупненные группы наиболее пригодных для эмалирования: трубопроводы и системы водоснабжения, системы микроклимата, стойловые ограждения, нестандартное оборудование, узлы низковольтной электроаппаратуры.

Эмалевые покрытия можно использовать также для защиты желобковых поилок для птицы, испарителей молокоохладительных установок и других монтируемых в животноводческих помещениях металлоизделий.

Список использованных источников

1. К вопросу защиты от коррозии оборудования животноводческих ферм на основе стекломалевых покрытий / Л. Г. Сапун [и др.] // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. темат. сб. / Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по механизации сел. хоз-ва. – Минск, 2020. – Вып. 54. – С. 59–64.
2. Производство молока : уч.-мет. пособие / Н. В. Казаровец [и др.] ; Минсельхозпрод РБ, УО БГАТУ ; под общ. ред. Н. В. Казаровца. – Минск : БГАТУ, 2011. – 168 с.
3. Петцольд, А. Эмаль и эмалирование : справочник / А. Петцольд, Г. Пешманн. – М. : Металлургия, 1990. – 572 с.
4. Гладуш, В. М. Эмалирование труб для систем горячего водоснабжения / В. М. Гладуш, К. Б. Тверовская // Водоснабжение и санитарная техника. – 1982. – №8. – С. 3–8.

УДК 631.171:621.865.8

Поступила в редакцию 27.09.2022
Received 27.09.2022

А. С. Воробей

*РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»
г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: labpotato@mail.ru*

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ – ЗАЛОГ БУДУЩЕГО ДЛЯ АПК РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Аннотация. В статье проведен обзор и анализ существующих программных комплексов, роботизированных платформ и машин на основе искусственного интеллекта. Представлен перечень машин, разработанных РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» в рамках VI технологического уклада.

Ключевые слова: искусственный интеллект, роботизированная платформа, мониторинг, техническое зрение, беспилотные летательные аппараты, программные комплексы.

A. S. Verabei

*RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization”
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: labpotato@mail.ru*

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IS THE KEY TO THE FUTURE FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX OF THE REPUBLIC OF BELARUS

Abstract. The article provides a review and analysis of existing software systems, robotic platforms and machines based on artificial intelligence. A list of machines developed by RUE “SPC NAS of Belarus for Agriculture Mechanization” within the framework of the VI technological order is presented.

Keywords: artificial intelligence, robotic platform, monitoring, technical vision, unmanned aerial vehicles, programs complexes.

Введение

Аргумент в пользу массового внедрения ИИ-технологий в сельском хозяйстве часто формулируется так: население земли к 2050 году достигнет 10 млрд человек, радикально увеличить обрабатываемые площади невозможно, необходимо повысить интенсивность их использования.

Мир стоит на пороге шестого технологического уклада. Его контуры только начинают складываться в развитых странах мира, в первую очередь в США, Японии и КНР, и характеризуются нацеленностью на развитие и применение наукоемких, или, как теперь говорят, высоких технологий. У всех на слуху био- и нанотехнологии, геномная инженерия, мембранные и квантовые технологии, фотоника, микромеханика, термоядерная энергетика. Синтез достижений на этих направлениях должен привести к созданию, например, квантового компьютера, искусственного интеллекта и в конечном счете обеспечить выход на принципиально новый уровень в системах управления государством, обществом, экономикой. Специалисты по прогнозам считают, что при сохранении нынешних темпов технико-экономического развития шестой технологический уклад окончательно оформится к 2025 г., а в фазу зрелости вступит в 2040-е гг.

Как отметил Президент Беларуси Александр Лукашенко, именно те страны, которые генерируют новые знания, имеют преимущество в коммерческом использовании этих идей, в экспорте высокотехнологической продукции, приносящей миллиардные прибыли. Более того, те, кто первым распространяет технологии, занимают лидирующие позиции в мире [1].

Основная часть

В Беларуси направление ИИ-технологий возникло не сегодня. Еще в 2007 г. в Директиве Президента от 14.06.2007 № 3 «О приоритетных направлениях укрепления экономической безопасности государства» была поставлена задача создать условия для наращивания выпуска инновационной и высокотехнологичной продукции, созданной с использованием технологий V и VI технологических укладов.

Все стратегии и программы, принятые на государственном уровне, а также международное сотрудничество направлены на поддержку инноваций и улучшение условий ведения бизнеса. Наибольшее внимание уделяется развитию высоких технологий и высокотехнологичных производств, основанных на разработках V и VI технологических укладов. Как результат, страна вышла на 38-е место из 190 экономик мира в рейтинге Doing Business Всемирного банка и является одним из самых активных государств по общему количеству реформ для улучшения делового климата. Беларусь расширяет сектор информационно-коммуникационных технологий и входит в десятку наиболее интенсивно развивающихся стран мира. Положение республики в Глобальном индексе инноваций в отдельных категориях, оценивающих уровень человеческого капитала и исследований, также довольно высоко.

Проблема роста населения Земли и, как следствие, возрастающая потребность в продовольствии, урбанизация и нехватка рабочей силы, а также экономические проблемы стимулируют поиск путей повышения эффективности сельского хозяйства благодаря новым технологиям и инновационным методам управления. Робототехника и автономные системы призваны преобразовать отрасли сельского хозяйства со значительными экономическими, социальными и экологическими эффектами. Долгосрочное видение технического перевооружения сельского хозяйства заключается в развитии нового поколения интеллектуальных, гибких, надежных, совместимых, взаимосвязанных роботизированных систем.

Так, на сегодняшний день хорошие результаты в мониторинге полей показывает система Taranis (рис. 1). Это система израильского производства, которая способна собирать данные о растениях, определять неблагоприятные воздействующие факторы и давать рекомендации по их устранению. В ходе анализа ситуации используется информация, полученная от датчиков наблюдения, метеоданные, аэрофотоснимки с высоким разрешением. Taranis может определить секторы поля с замедленным ростом растений, выявить пострадавшие от насекомых, недополучающие питательных веществ, болеющие растения. Taranis предложит варианты выхода из сложившейся ситуации, а также рассчитает оптимальные сроки.

Американская компания IBM выпустила платформу под названием Watson Decision Platform for Agriculture, которая обрабатывает информацию, полученную при дистанционном зондировании земли. Фермеру могут быть предоставлены данные о поражении посевов кукурузы болезнями или вредителями. Watson Platform, как и Taranis, способна предложить аграрию пути решения воз-

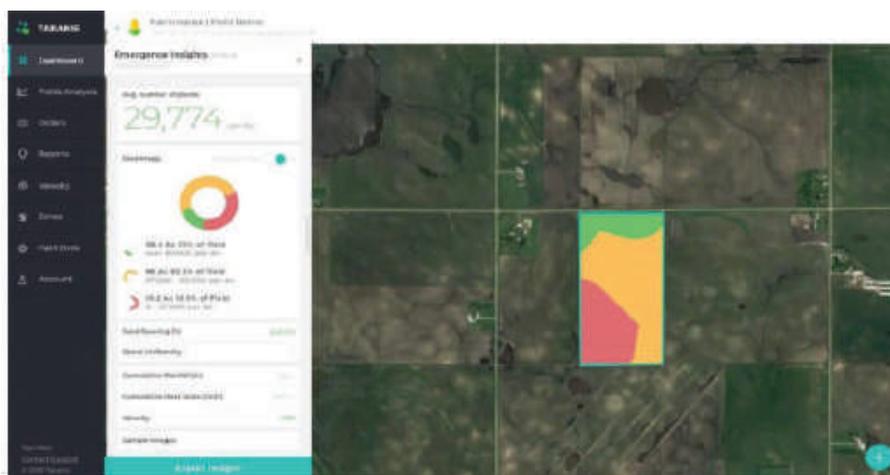


Рис. 1. Интерфейс системы *Taranis*

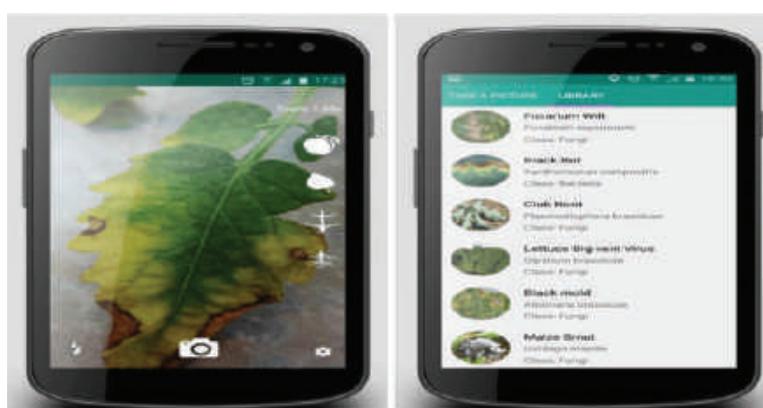


Рис. 2. Интерфейс приложения *Plantix*

никшей проблемы. Будут рассчитаны необходимое количество пестицидов, оптимальные сроки обработки проблемных участков, оценено состояние растений и предложены профилактические меры. Система способна, собрав данные о влажности, местности и метеорологической ситуации, предоставить график изменения влажности почвы, прогноз по урожайности и его динамику на основании данных прошлых сезонов.

Платформа на базе искусственного интеллекта Health Change Maps and Notifications от Farmers Edge и аналогичное решение от Hummingbird Technologies информируют фермера об эффективности работы техники, состоянии растений, появлении вредителей или болезней, дефиците питательных веществ и др. Для анализа используются данные спутников, снимки беспилотников, информация наземных средств мониторинга.

Одним из сервисов по диагностике заболеваний растений является приложение Plantix от компании Peat (рис. 2). Приложение позволяет диагностировать более 60 заболеваний. Сервис содержит большую библиотеку снимков, которые удобно систематизированы. С постепенным увеличением числа загруженных изображений улучшаются и алгоритмы диагностики заболеваний.

Полезным является приложение Scouting на цифровой платформе Xarvio. Обработывая фотоснимки, приложение способно выявлять заболевания, повреждения и нарушения в развитии растений. Сервис способен провести идентификацию сорняков, предоставить данные об обеспеченности растения азотом. Существует функция отправки уведомления об обнаружении опасного заболевания или вредителей вблизи растений.

Лидером в применении беспилотных летательных аппаратов в с/х давно является Япония, где в отрасли эксплуатируются 2400 экземпляров. В основном они используются для распыления агрохимикатов и посева риса (рис. 3).



Рис. 3. Распыление с помощью беспилотника

Нельзя не сказать о роли БПЛА при внедрении минимальных технологий. Как известно, берегающее земледелие – это долгосрочная система точного ведения полевых работ, снижения затрат и минимизации ущерба, наносимого природе. Его внедрение уменьшает деградацию почв, сохраняет их плодородие и влагу и в конечном счете повышает урожайность. Система точного земледелия требует постоянного и внимательного наблюдения за посевами полевых культур, прежде всего за проплешинами, пятнами растений, погибших от наводнений или засухи, очагами засоренности и заселения вредителями, которые трудно заметить при наземном осмотре.

Но пока беспилотники в аграрной отрасли используются недостаточно. Искусственный интеллект с помощью сенсорных датчиков фиксирует условия роста вегетативной массы, отражает в таблицах и графиках климатические данные, предупреждает о заморозках и влагообеспеченности почвы. При этом на полях пшеницы, к примеру, он может предупредить о заражении септериезом, ржавчиной и фузариозом. А на картофеле – о фитофторозе, черном альтернариозе и других болезнях.

Теоретические и прикладные исследования по роботизированной уборке фруктов и овощей огромны. На рис. 4 показаны роботизированные платформы для сбора урожая, в том числе [2–17]:

- Harvey (*a*), автономная мобильная роботизированная платформа с манипулятором UR5 для сбора сладкого перца, выращенного в теплицах и других защищенных системах выращивания;
- TED от Naïo Technologies (*b*), первый полностью автономный электрический робот на рынке, который эффективно обслуживает и обрабатывает ряды виноградной лозы с высокой степенью точности;
- SWEEPER (*c*), платформа уборочной машины с роботом-манипулятором Fanuc LRMate 200iD (корпорация Fanuc America, Рочестер-Хиллз, Мичиган);
- Wall-Ye 1000 mobile (*d*), оснащен GPS, солнечными батареями (10–12 часов автономной работы, функции: рыхление, скашивание, обрезка веток, сбор урожая);
- Citrus robot (*d*), разработанный в Университете Флориды робот для сбора цитрусовых, в котором используется специальный захват, установленный на исследовательском манипуляторе робототехники модели 1207 (Цинциннати, Огайо);
- DogTooth (*e*), робот для сбора клубники с собачьим клыком (Грейт Шелфорд, Кембридж, Великобритания);
- Shibuya Seiki (*ж*), робот, который может собирать плоды клубники каждые 8 секунд;
- Tomato harvesting robot (*з*), робот для сбора помидоров от Suzhou Botian Automation Technology Co., Ltd (Цзянсу, Сучжоу, Китай);
- Cucumber robot (*и*), робот для сбора огурцов, разработанный в Вагенингенском университете и исследовательском центре;

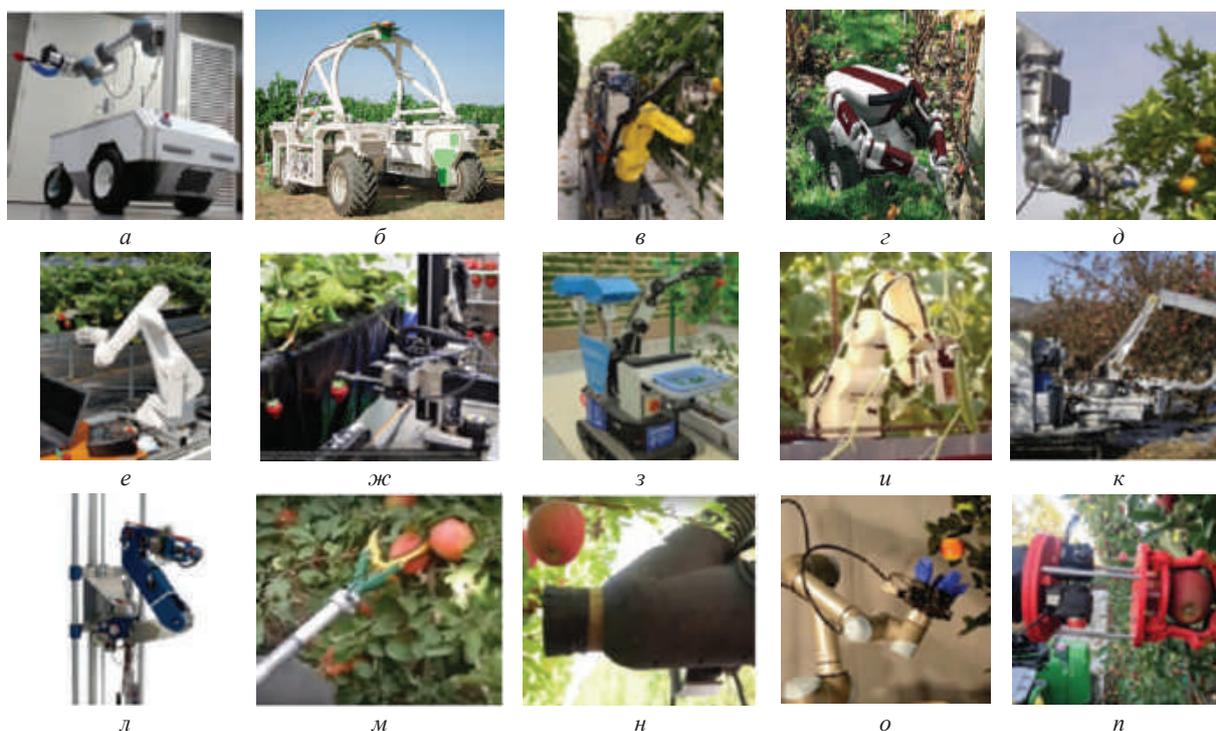


Рис. 4. Примеры роботов для ухода за виноградниками и уборки фруктов: а) HarveyQueensland; б) TED Naïo Technologies; в) SWEEPER; г) Wall-Ye 1000 mobile; д) Citrus robot University of Florida; е) DogTooth; ж) Shibuya Seiki; з) Tomato harvesting robot; и) Cucumber robot Wageningen UR; к) Apple harvesting robot; л) Apple harvesting; м) Apple picker; н) Apple picking vacuum; о) UR5 apple robot; п) Apple catching Washington State University

- Apple harvesting robot (к), робот для сбора яблок с изготовленным на заказ манипулятором, установленным поверх модифицированного мобильного робота-гусеничного робота;
- Apple harvesting (л), один из первых манипуляторов, разработанный для проекта «УРОЖАЙ» и модифицированный для сбора яблок;
- Apple picker (м), роботизированная система с линейным приводом для сбора яблок, разработанная FFRobotics (Geshet HaEts 12, Израиль);
- Apple picking vacuum (н), робот с вакуумным механизмом для сбора яблок от AbundantRobotics (Хейворд, Калифорния, США);
- UR5 apple robot (о), с мягким роботизированным универсальным захватом для сбора яблок, разработанный в Сиднейском университете;
- Apple catching (п), разработанный в Университете штата Вашингтон.

Большинство из этих проектов в своем визуальном сервоуправлении использовали конфигурацию «взгляд – в руке – взгляд – движение». Помимо проблем с трансформацией каркаса, это решение не является многообещающим, если плоды сильно закрыты листьями растений с высокой плотностью.

Главное преимущество роботов для сбора плодов – это замена монотонного ручного труда, способность устройства работать без перерыва в любое время суток с одинаковой производительностью, 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.

Следующим этапом роста эффективности сельхозпроизводства становится редактирование генома растений и животных. Генотип большинства растений, животных, как и человека, сейчас хорошо изучен, накоплены масштабные библиотеки богатой генетической информации. На этой основе селекционеры с помощью картирования генома семян выбирают такие комбинации, которые позволяют отбирать потомство с высокой урожайностью. Примерно таким же способом работают и с продуктивностью животных. Биотехнологии стали мировым лидером в разработке новых

сортов улучшения пород скота, в противостоянии вредителям, сорнякам и болезням. Человеку не просто, даже через электронный микроскоп, перенести микроскопический ген из одной клетки в другую, часто случаются ошибки, вызывающие мутации, – искусственный роботизированный интеллект справляется с этим точнее и успешней.

В сфере инноваций технологического VI уклада в рамках выполнения заданий Государственных программ в РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» были разработаны макетные образцы программных комплексов и машин на основе искусственного интеллекта:

1. Многофункциональные программные комплексы для растениеводства и животноводства:

– Agropaut – программный комплекс для рационального комплектования машинно-тракторного парка, экономической оценки технологий возделывания культур, оптимизации траектории движения МТА, мониторинга структуры посевных площадей и их визуализации на основе электронных карт полей и др.

– ИКФС Майстар 4.0 – программное обеспечение для управления стадом, которое объединяет информацию производственно-экономического характера с зоотехническими параметрами: получение и накопление информации (удой, время, проточность, электропроводимость), сигнализация отклонений от стандартного состояния коровы, сепарирование молока, определение продуктивности, сохранение полной информации об очередной лактации, оценка всех отклонений от планируемых величин, статистическая обработка и др.

2. Применение системы технического зрения и нейронных сетей глубокого обучения для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме.

3. Использование системы технического зрения для сортировки картофеля и яблок.

Машина оптической сортировки картофеля для отделения некондиционных клубней картофеля из общего вороха на основе технического зрения и автоматической инспекции создана в рамках Государственной программы научных исследований «Качество и эффективность агропромышленного производства», 2016–2020 годы, подпрограммы «Механизация и автоматизация процессов в АПК» (рис. 5, 6). Она состоит из вальцово-подающего конвейера 1, приводного ремня 2, системы распознавания 3, компьютера 4 и пневматической системы отделения 5.

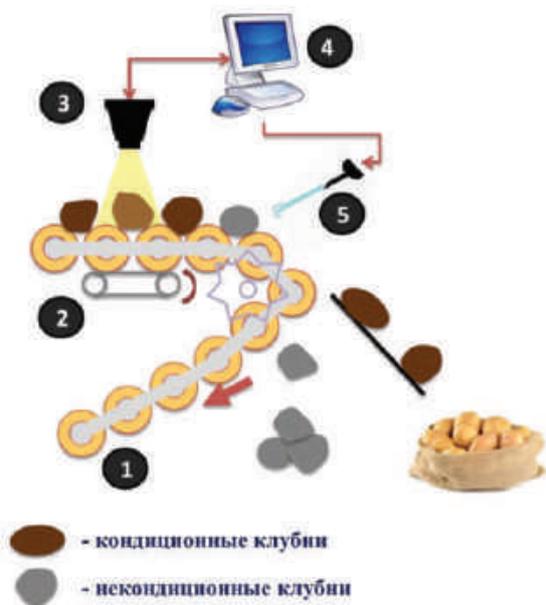


Рис. 5. Схема автоматической сортировальной машины: 1 – вальцово-подающий конвейер; 2 – приводной ремень; 3 – система распознавания; 4 – компьютер; 5 – система отделения



Рис. 6. Макетный образец автоматической сортировальной машины: 1 – рама; 2 – вальцово-подающий конвейер; 3 – пневматическая система отделения; 4 – компрессор; 5 – мотор-редуктор 2ЧМ-40; 6 – мотор-редуктор МПЧ-25М1; 7 – система распознавания; 8 – приводной ремень

Вальцово-подающий конвейер представляет собой бесконечный тяговый рабочий орган с закрепленными на нем вальцами. Параметры вальцов: длина $l = 160$ мм, максимальный диаметр $d_{\max} = 70$ мм, минимальный диаметр $d_{\min} = 60$ мм и зазор между вальцами $c = 21$ мм, количество вальцов – 36. Вальцовый конвейер предназначен для транспортировки и вращения клубней картофеля.

Пневматическая система отделения некондиционных клубней картофеля состоит из электронного блока управления 1, импульсного клапана 2, форсунки 3, компрессора 4 (рис. 7). Она предназначена для отделения некондиционных клубней картофеля.

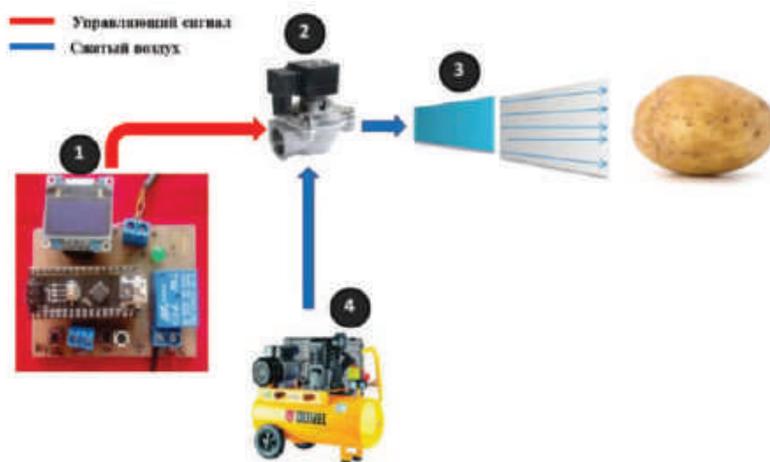


Рис. 7. Схема пневматической системы отделения: 1 – электронный блок управления; 2 – импульсный клапан; 3 – форсунка; 4 – компрессор

Импульсный клапан осуществляет кратковременную подачу воздуха. Для управления режимом работы импульсного клапана специально изготовлен электронный управляющий блок. Блок управления позволяет установить необходимую длительность открытия клапана.

Система распознавания состоит из высокоскоростной камеры, вычислительного модуля, структурированной подсветки, модуля коммуникации. Она предназначена для распознавания дефектов клубней картофеля и выдачи сигнала исполнительному устройству (рис. 8).



Рис. 8. Схема распознавания

С целью повышения качества междурядной обработки лабораторией механизации производства овощей и корнеклубнеплодов РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства» совместно с ГНУ «Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси» в рамках задания 4.39 «Исследование точности вождения пропашных культиваторов с целью повышения качества междурядных обработок» ГПНИ «Качество и эффективность

агропромышленного производства», 2016–2020 гг., подпрограмма «Механизация и автоматизация процессов в АПК» выполнялась разработка и изготовление автоматической управляемой навесной системы (АУНС) для отслеживания защитной зоны культурных растений при междурядной обработке сахарной свеклы (рис. 9).



Рис.9. Автоматическая управляемая навесная система

АУНС состоит из механической части и аппаратно-программного обеспечения. Механическая часть представляет собой рамную конструкцию с верхней и нижней направляющими, по которым перемещается подвижная рамка с навешиваемым на неё культиватором. Перемещение подвижной рамки вправо или влево осуществляется гидроцилиндром посредством электромагнитного распределителя.

Основные характеристики АУНС представлены в таблице.

Основные характеристики АУНС

Наименование показателя	Значение показателя
Тип системы	навесная
Масса устройства, кг	220
Грузоподъемность, т	до 1,5
Рабочее напряжение бортовой электросети трактора, В	12
Смещающий диапазон подвижной рамки, мм	±250
Габаритные размеры, мм: – ширина – высота	1635 865
Допустимое количество ошибок, %	3
Скорость движения МТА, км/ч	от 5 до 10
Агрегируемый класс трактора, кН	1,4

В основу работы системы автоматического управления пропашным культиватором положена концепция использования визуальной информации о положении растений в рядке, полученной с видеокamеры. Вычислительный модуль на основании полученной от камеры видеoinформации и заложенной в него логики способен через блок управления воздействовать на гидрораспределитель, а тот, в свою очередь, посредством гидроцилиндра и подвижной части смещает сельскохозяйственную машину, к примеру культиватор, в нужную сторону. Оператор, которым является механизатор, может самостоятельно влиять на логику работы вычислительного модуля через сенсорный монитор.

Результаты исследований, проводимых на опытных посевах сахарной свеклы, показали, что точность отслеживания защитной зоны растений составила от $\pm 2,0$ см до $\pm 2,3$ см. Кроме того, использование автоматической управляемой навесной системы со скоростью 7,6–7,8 км/ч в кон-

трольных точках показало, что в защитной зоне рядка уничтожался 91 % сорняков. Что касается повреждения культурных растений в процессе исследований, то повреждаемость находилась в пределах агродопуска – 3 % при условии работы МТА со скоростью, не превышающей 8 км/ч. Превышение МТА скорости 8 км/ч снижает качество выполнения междурядной обработки, что сказывается на числе поврежденных культурных растений.

В рамках белорусского фонда фундаментальных исследований, согласно заданию «Разработка концепции создания универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур» по договору с БРФФИ № Т21МН-003 от 01.07.2021 была предложена структура автоматизированной универсальной роботизированной платформы для мониторинга за состоянием и ухода за посадками сельскохозяйственных культур.

Конструкция роботизированной платформы будет состоять из шасси, которое будут включать в себя раму и управляемые мотор-колеса, системы навигации и управления, системы питания, датчика системы технического зрения (рис. 10).

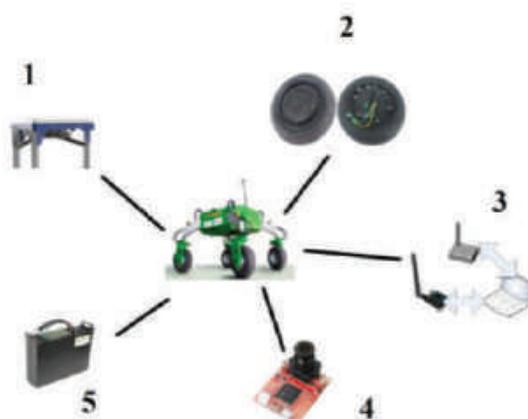


Рис. 10. Структурная схема роботизированной платформы: 1 – рама; 2 – управляемые мотор-колеса; 3 – система навигации и управления; 4 – система технического зрения; 5 – система питания

Достаточно весомым компонентом любого способа движения является радиус поворота агрегата. Ведь чем меньше радиус поворота, тем меньше времени и энергии затрачивается на совершение разворота.

Роботизированная платформа при повороте будет приводить все колеса в положение 40° (рис. 11). При прямолинейном движении все четыре колеса будут иметь возможность подруливания, при этом они будут являться ведущими (рис. 12).

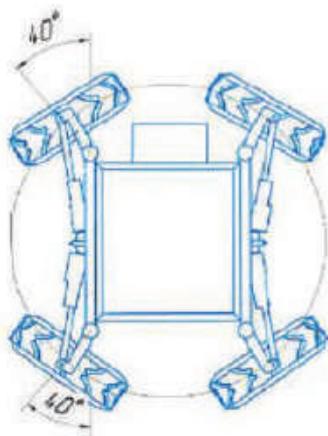


Рис. 11. Положение колес при развороте

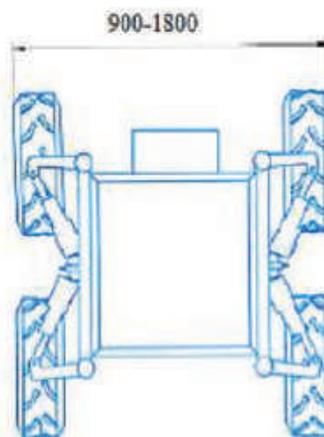


Рис. 12. Положение колес для прямолинейного движения

Развитие процессов интеллектуализации позволит снизить количество занятых на опасных и вредных производствах в сельском хозяйстве, прежде всего на работах с ядохимикатами, а также на рутинных процессах. Это, в свою очередь, позволит повысить привлекательность отрасли для молодых кадров, а также привлекательность организаций сельского хозяйства для инвесторов. Технологии искусственного интеллекта позволяют увеличить точность прогнозов урожайности культур, продуктивности животных, состояния почвы и погоды. Это позволит также снизить неопределенность на рынке, затраты на страхование, привлечь дополнительные инвестиции.

Вместе с тем применение технологий искусственного интеллекта требует обработки огромных объемов данных, энергетических затрат и дорогостоящего цифрового оборудования, что повышает требования к инфраструктуре производства и увеличивает затраты на применение искусственного интеллекта.

Заключение

Технологии искусственного интеллекта обладают значительным потенциалом для увеличения производства продуктов питания путем анализа и оптимизации сельскохозяйственного производства в каждом конкретном регионе.

Вместе с тем вопросы дальнейшего расширения применения технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве и других отраслях требуют дальнейших исследований.

Список использованных источников

1. Шумилин, А. Г. Инновационные отрасли завтрашнего дня / А. Г. Шумилин // Наука и инновации. – 2017 – Спец. вып. – С 13–14.
2. Nived, C. Agricultural robot dataset for plant classification, localization and mapping on sugar beet fields / C. Nived, L. Philipp, S. Alexander // The International Journal of Robotics Research. – 2017. – Vol. 36, № 10. – P. 1045–1052.
3. Bac, C.W. Robust pixel-based classification of obstacles for robotic harvesting of sweet-pepper / C. W. Bac, J. Hemming, E.J. Henten // Comput. Electron. Agric. – 2013. – № 96. – P. 148–162.
4. Lehnert, C. Autonomous sweet pepper harvesting for protected cropping systems / C. Lehnert, A. English, C. McCool, A.W. Tow, T. Perez // IEEE Robot. Autom. Lett. – 2017. – Vol. 2, № 2. – P. 872–879.
5. Bontsema, J. CROPS: Clever robots for crops / J. Bontsema, J. Hemming, E. Pekkeriet, W. Saeys, Y. Edan, A. Shapiro // Eng. Technol. Ref. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–11.
6. Mehta, S. S. Vision-based control of robotic manipulator for citrus harvesting / S. S. Mehta, T. F. Burks // Comput. Electron. Agric. – 2014. – № 102. – P. 146–158.
7. Mehta, S. S. Robust visual servo control in the presence of fruit motion for robotic citrus harvesting / S. S. Mehta, W. MacKunis, T. F. Burks // Comput. Electron. Agric. – 2016. – № 123. – P. 362–375.
8. Bulanon, D. M. Study on temporal variation in citrus canopy using thermal imaging for citrus fruit detection / D. M. Bulanon, T.F. Burks, V. Alchanatis // Biosyst. Eng. – 2008. – Vol. 101, № 2. – P. 161–171.
9. Henten, E. J. Field test of an autonomous cucumber picking robot / E. J. Henten, B. A.J. Tuijl, J. Hemming, J. G. Kornet, J. Bontsema, Os.E.A. Van // Biosyst. Eng. – 2003. – Vol. 86, № 3. – P. 305–313.
10. Henten, E.J. Optimal manipulator design for a cucumber harvesting robot / E.J. Henten, D.A. Van't Slot, C.W.J. Hol // Comput. Electron. Agric. – 2009. – Vol. 65, № 2. – P. 247–257.
11. De-An, Z. Design and control of an apple harvesting robot / Z. De-An, L. Jidong, J. Wei, Z. Ying, C. Yu // Biosyst. Eng., 2011. – Vol. 110, № 2. – P. 112–122.
12. Davidson, J. R. Dual Robot Coordination for Apple Harvesting / J. R. Davidson, C. J. Hohimer, C. Mo, M. Karkee // ASABE Annual International Meeting. – 2017. – № 1.
13. Davidson, J. R. Proof-of-concept of a robotic apple harvester / J. R. Davidson, A. Silwal, C. J. Hohimer, M. Karkee, C. Mo, Q. Zhang // IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS). – 2016. – P. 634–639.
14. He, L. Effect of fruit location on apple detachment with mechanical shaking / L. He, H. Fu, M. Karkee, Q. Zhang // Biosyst. Eng. – 2017. – № 157. – P. 63–71.
15. Bac, C. W. Improving obstacle awareness for robotic harvesting of sweet-pepper / C. W. Bac // Wageningen University. – 2015.
16. Bao, G. J. Pneumatic bio-soft robot module: Structure, elongation and experiment / G. J. Bao, P. F. Yao, Z. G. Xu, K. Li, Z. H. Wang, L. B. Zhang // Int J Agric & Biol Eng. – 2017. – Vol. 10, № 2. – P. 114–122.
17. Nguyen, T. T. Task and motion planning for apple harvesting robot / T. T. Nguyen, E. Kayacan, J. Baedemaeker, W. Saeys // IFAC Proc. – 2013. – Vol. 46, № 18. – P. 247–252.