

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

П. А. САСКЕВИЧ, С. С. КАМАСИН

УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»,
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: psaskevitch@mail.ru; kamss2005@yandex.by

ЙИ ТАНА (Yi Tana)

Профессионально-технический колледж Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии,
Китайская Народная Республика, e-mail: Tana Yi <yitana520@gmail.com

(Поступила в редакцию 25.03.2024)

В статье приведены аналитические данные и технологическая схема применения цифровых технологий в растениеводстве, которые позволяют создавать высокоинтеллектуальное производство растениеводческой продукции и актуализировать технологические процессы мониторинга агроценозов сельскохозяйственных культур. Созданные специальные компьютерные программы позволяют оптимизировать агротехнологические мероприятия. Точное внесение средств защиты растений от вредителей, болезней и сорной растительности, макро- и микроудобрений, регуляторов роста растений создают предпосылки удешевления продукции и экономии затрат 30 % и более при достаточно высокой прибавке урожайности и рентабельности производства.

Широкое внедрение в производство инновационных, эффективных цифровых технологий в растениеводстве, в том числе использование беспилотных летательных аппаратов с мультиспектральными и гиперспектральными камерами, для удаленного мониторинга роста и развития растений, агрохимической характеристики почвы и качественной фитосанитарной диагностики посевов и дозированного применения средств химизации позволяет осуществить быстрый переход к цифровой трансформации земледелия.

Компьютерная программа NPK – оптимизатор позволяет использовать пестроту почвенного плодородия на конкретном поле для оптимизации затрат на применение фосфорных и калийных удобрений, актуальность которой определяется острым дефицитом оборотных средств в сельскохозяйственных организациях и дороговизной минеральных удобрений, особенно фосфорных. При этом главная цель применения цифровых технологий состоит в замене человеческого труда, минимизации вредного воздействия химических средств на человека, животных, энтомофагов и в целом на окружающую среду, а также в повышении урожайности возделываемых сельскохозяйственных культур и получении экологически безопасной продукции растениеводства.

Ключевые слова: цифровые технологии, средства химизации, болезни, вредители, сорная растительность, удобрения, регуляторы роста, хозяйственная, экономическая эффективность.

The article provides analytical data and a technological scheme for the use of digital technologies in crop production, which make it possible to create highly intelligent production of crop products and update technological processes for monitoring agroecosystems of agricultural crops. Created special computer programs make it possible to optimize agrotechnological activities. Precise application of means of plant protection from pests, diseases and weeds, macro- and microfertilizers, plant growth regulators create the prerequisites for cheaper products and cost savings of 30 % or more with a sufficiently high increase in yield and profitability of production.

Widespread introduction into production of innovative, effective digital technologies in crop production, including the use of unmanned aerial vehicles with multispectral and hyperspectral cameras for remote monitoring of plant growth and development, agrochemical characteristics of soil and high-quality phytosanitary diagnostics of crops and dosed use of chemicals allows for a rapid transition to the digital transformation of agriculture.

The computer program NPK-optimizer allows you to use the diversity of soil fertility in a specific field to optimize the costs of using phosphorus and potassium fertilizers, the relevance of which is determined by the acute shortage of working capital in agricultural organizations and the high cost of mineral fertilizers, especially phosphorus. At the same time, the main goal of using digital technologies is to replace human labor, minimize the harmful effects of chemicals on humans, animals, entomophages and the environment as a whole, as well as to increase the productivity of cultivated crops and obtain environmentally friendly crop products.

Key words: digital technologies, chemical agents, diseases, pests, weeds, fertilizers, growth regulators, economic, economic efficiency.

Введение

Интегрированные решения в области устойчивого ресурсосберегающего растениеводства обретают массовое применение посредством объединения различных типов сенсоров, IT-технологий, автоматизированной и беспилотной техники, роботизированных производственных систем. Платформенные решения, облачные технологии обработки больших данных и машинного обучения позволяют перейти к глубокой реорганизации бизнес-процессов в сельском хозяйстве [1, 3, 5].

Единая система управления агрономической службой предприятий сельского хозяйства позволяет обеспечивать полноту картины состояния культур на основе данных, собранных как вручную, так и автоматически за счет комплекса, в состав которого входит несколько полезных сервисов: мониторинг состояния полей в онлайн режиме при помощи спутникового наблюдения; высокоточное прогнозирование погоды и подсчет выпавших осадков; предупреждение о рисках; мониторинг развития растений, возбудителей заболеваний, вредителей и сорных растений [4, 7].

Отрасль растениеводства является перспективным рынком для внедрения разработок в области робототехники, поскольку использование подобных машин позволяет создавать высокоинтеллектуальное производство. В связи с этим в последние годы в аграрном секторе активизировалась работа по конструированию робототехнических устройств [1, 7].

В основном такая техника предназначена для выполнения повторяющихся операций при возделывании различных сельскохозяйственных растений. При этом главная цель ее применения в аграрной отрасли состоит в замене человеческого труда, минимизации вредного воздействия химических средств на людей и окружающую среду, а также в повышении урожайности возделываемых культур и эффективности производства сельскохозяйственных предприятий.

Аналитика больших данных позволяет своевременно выявлять проблемы на поле (наличие вредных организмов, неблагоприятные погодные условия и т.д.). Специальные программы на основе данных о погоде, состоянии почвы, мониторинга роста и развития растений, фитосанитарного состояния посевов помогают производителям сельскохозяйственной продукции принять решения по оптимальным срокам посева (посадки) и уборки, способам полива, дозам и нормам внесения средств химизации. Точное внесение химических средств защиты от вредителей, болезней и сорной растительности, макро- и микроудобрений, регуляторов роста растений при возделывании сельскохозяйственных культур экономит 30 % и более средств, а также дифференцированно экономит миллионы рублей [2, 6, 7].

Большую роль при применении макро- и микроудобрений, регуляторов роста растений и пестицидов играет научное и информационное (компьютерные метеостанции и другие программы) обеспечение агротехнологических приемов возделывания сельскохозяйственных культур.

Цель настоящей работы – анализ многолетних исследований и разработка агротехнических мероприятий цифровых технологий возделывания сельскохозяйственных культур.

Основная часть

Оценка эффективности применения цифровых технологий выполнялась в агроклиматических условиях северной части Китая и северо-восточной части Беларуси на базе Профессионально-технического колледжа Сельскохозяйственного университета Внутренней Монголии и на кафедрах защиты растений и растениеводства УО БГСХА.

Для сбора информации о состоянии агроценозов, проведения мониторинга наличия питательных веществ, фитосанитарной диагностики вредных организмов, и применения средств химизации (макро- и микроудобрений, пестицидов и регуляторов роста растений) широко используются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), космическое зондирование посевов и традиционная наземная аппаратура.

Достаточно полный анализ состояния агроценозов сельскохозяйственных культур с помощью цифровых технологий, возможно провести используя предлагаемую схему технологического маршрута цифрового мониторинга посевов, представленной на рис. 1. Искусственный интеллект в растениеводстве с помощью анализа показаний сенсорных датчиков предупреждает о заморозках и влагообеспеченности почвы, отражает климатические данные, фиксирует условия роста и развития вегетативной массы растений. Цифровые технологии помогают в прогнозировании урожая, выявить распространение и развитие вредных организмов и наличие питательных веществ в посевах и предпринять необходимые действия для обработки полей.

Для качественного прогноза нужны хорошие исторические данные, на основе которых можно построить карту роста и развития растений, прогнозирования урожая (с учетом рельефа поля, географии и других характеристик), чтобы опираться на них при планировании посева и проведения агротехнических мероприятий.

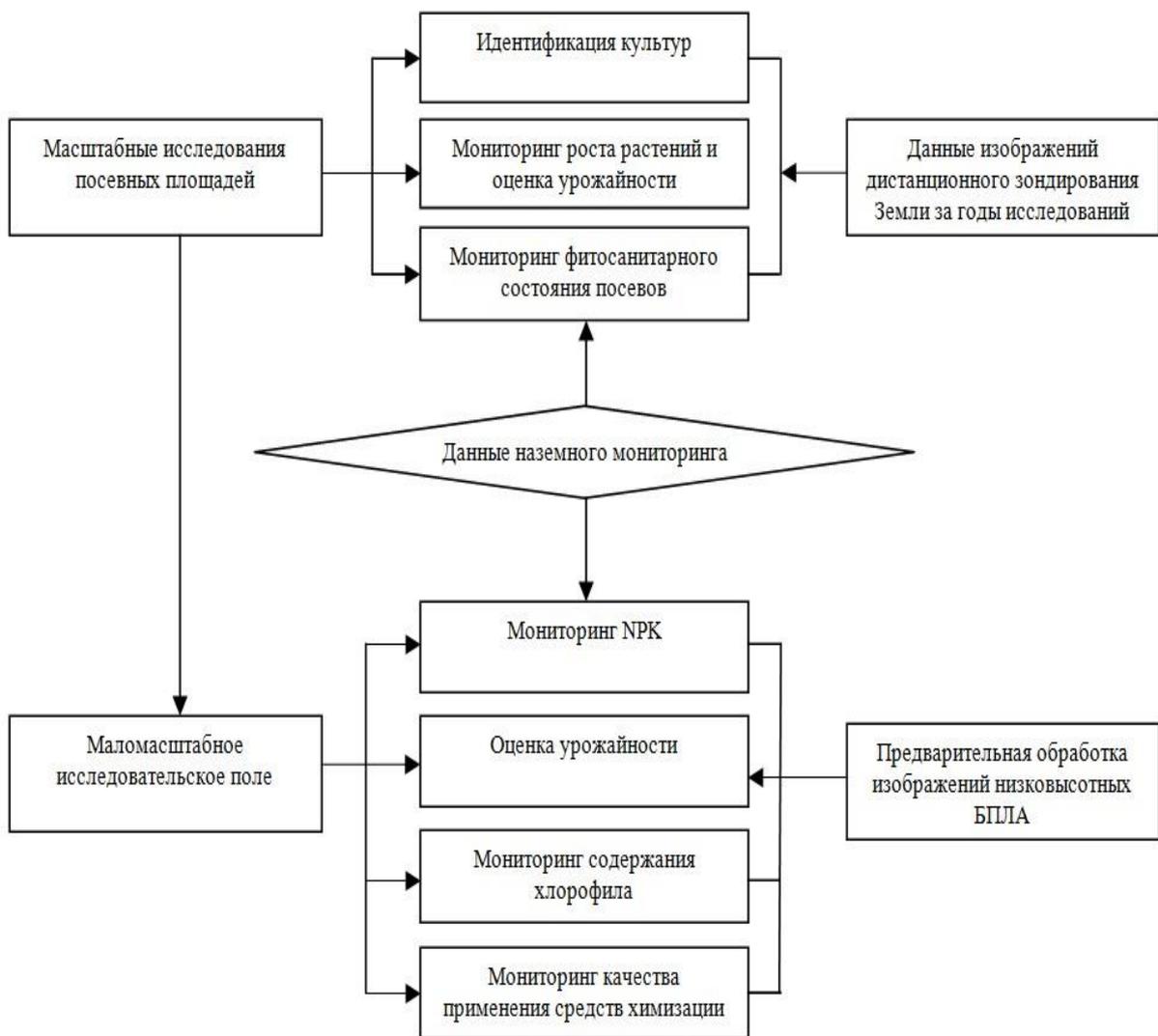


Рис. 1. Схема технологического маршрута цифрового мониторинга посевов полевых культур

Искусственный интеллект приходит на помощь при выявлении проблемных мест в растениеводстве: большие посевные площади, затраты на проведение мониторинга и сложность его проведения, а информация со спутниковых снимков и беспилотников позволяет своевременно обнаружить проблему, оперативно среагировать и принять меры, чтобы минимизировать ущерб.

Искусственный интеллект позволяет обнаружить заболевание на ранней стадии или распознать вредителей и сорных растений, пока они не распространились в посевах, и даже спрогнозировать появление вредных объектов в агроценозах, что оказывает положительное влияние на продукционные процессы и формирование урожайности. Инновационные технологии создают наиболее оптимальные модели обработки полей средствами защиты растений, микро- и макроудобрениями и регуляторами роста растений.

В качестве базы используются либо метеоданные – они позволяют узнать распространение и вредоносность вредителей, болезней и сорной растительности, либо информация с датчиков, камер, беспилотников с высоким разрешением – для обнаружения их.

По снимкам с БПЛА или спутников можно рассчитать индекс NDVI (нормализованный вегетационный индекс). Он показывает, в каком состоянии находятся растения на разных участках поля, и на его основе разрабатывают карты дифференциальной обработки полей. В традиционном подходе, когда поле рассматривается равномерным единым пространством, его обработка происходит равномерно.

Данные, полученные с БПЛА, также точны, как и результаты космической фотосъемки, поэтому позволяют получать информацию о полученных всходах, росте и развитии растений, сроках созревания и предварительной урожайности культур. На этой основе анализируется информация, и принимаются решения о сроках и методах осуществления агротехнологического мероприятия [5].

Одним из базовых элементов ресурсосберегающих технологий в сельском хозяйстве является «точное земледелие» («прецизионное земледелие» – precision agriculture). Точное земледелие – это управление продуктивностью посевов с учётом внутривидовой вариативности среды обитания растений. Условно говоря, это оптимальное управление для каждого квадратного метра поля. Целью такого управления является получение максимальной прибыли при условии оптимизации сельскохозяйственного производства, экономии хозяйственных и природных ресурсов. При этом открываются реальные возможности производства качественной продукции и сохранения окружающей среды за счет оптимизации минерального питания растений и применения средств химизации.

В результате проведенных многолетних исследований ученых БГСХА (С. С. Камасин, И. К. Мирончиков) создана инновационная технология компьютерного программирования оптимизации внесения фосфорных, калийных и азотных удобрений в системе точного земледелия (Компьютерная программа NPK-оптимизатор, УО БГСХА, 2015 г.). Разработанная программа позволяет оптимизировать использование пестроты почвенного плодородия на конкретном поле и снижение затрат на применение фосфорных и калийных удобрений, которое определяется острым дефицитом оборотных средств в сельскохозяйственных организациях и дороговизной минеральных удобрений, особенно фосфорных [2, 6].

Компьютерная программа позволяет трансформировать негативный фактор пестроты почвенного плодородия в позитивный фактор экономии минеральных удобрений без снижения получаемой урожайности. При этом, чем больше пестрота почвенного плодородия поля, тем больше экономия. Важным фактором, определяющим эффективность новой технологии, является точное определение зон плодородия и оптимальной урожайности на конкретном элементарном участке поля. При этом необходимо учитывать не только содержание элементов питания в почве и степень их использования различными культурами, вынос NPK с единицей продукции и коэффициенты использования NPK из минеральных и органических удобрений, но также и различную стоимость единицы азота, фосфора и калия в удобрении.

В программу заложены данные для 39 полевых культур, включая сенокосы и пастбища. Учитывается действие и последствие 15 видов органического удобрения.

Достоинством разработанной программы являются:

- наиболее точный расчет количества РК, поступающего из почвенных запасов. Величина коэффициентов использования РК из почвы зависит от содержания данных элементов питания в пахотном горизонте, выращиваемой культуры, кислотности и гранулометрического состава почвы;

- программа позволяет выбрать для конкретного поля (с учетом пестроты почвенного плодородия) культуру, возделывание которой позволяет получить наибольшую экономию затрат на внесение NPK, а также определить экономическую эффективность предшественника и внесенных органических удобрений;

- использование программы позволяет получить планируемую урожайность и избежать дальнейшего нарастания пестроты почвенного плодородия, а также поступления избыточного количества минерального азота в почву;

- программа оптимизирует дозы фосфорно – калийных удобрений при увеличении доз азота. Возможность указанного уменьшения обусловлена тем, что многие растения усиливают мобилизацию РК из почвы и удобрений при достаточной обеспеченности азотом;

- оптимизация открытой базы данных по выносу NPK с единицей продукции, коэффициентам использования NPK из минеральных удобрений и количеству минеральных веществ, потребляемому растениями из органических удобрений к фактическим параметрам в каждой конкретной сельскохозяйственной организации.

Одним из интересных проектов в области беспилотной авиации в Республике Беларусь в настоящее время является работа по созданию инновационного комплекса для защиты растений и внесения средств химизации в сельском хозяйстве на базе беспилотного летательного аппарата, которая осуществлялась в рамках Государственной научно-технической программы «Цифровые технологии и роботизированные комплексы» на 2021–2025 годы (подпрограмма «Роботизированные комплексы и системы»). В рамках данной программы разработан беспилотный авиационный комплекс Агродрон А60-Х на базе БПЛА мульти роторного типа, предназначенный для внесения средств защиты растений по технологии ультра малообъемного опрыскивания (УМО) с нормой внесения рабочей жидкости 5–10 л/га, что бесспорно способствует улучшению экологической обстановки на сельскохозяйственных полях и экономии средств химизации [1].

В рамках Государственной научно-технической программы осуществлено серийное производство беспилотного авиационного комплекса Агродрон А60-Х, разработанного компанией «Авиационные технологии и комплексы». Это первое серийное производство изделий данного типа в странах СНГ. Его использование повышает производительность труда и качество агрохимической защиты сельскохозяйственных культур, в том числе в условиях, когда применение наземной техники затруднено или нецелесообразно.

Для успешной работы БПЛА требуется только информация о сельскохозяйственной культуре, которую необходимо обработать, и границы поля. После ввода исходных данных он самостоятельно определяет свою миссию, в том числе и порядок использования целевой аппаратуры и оборудования для опрыскивания растений.

Белорусский комплекс учитывает все достоинства и недостатки аналогичных продуктов, которые есть на рынке. Агродрон А60-Х – это умное изделие и ключевой элемент технологии точного земледелия в области химизации. Он создан для повышения производительности труда и качества агрохимической защиты сельскохозяйственных культур, в том числе в условиях, когда применение наземной техники затруднено или нецелесообразно.

Комплекс предназначен для внесения средств защиты растений, микроудобрений и регуляторов роста растений, особенно на посевах с высокорослыми культурами (кукуруза, подсолнечник, рапс и др.), где не хватает клиренса наземного опрыскивателя. Комплекс идеален для обработки мелкоконтурных полей и полей со сложной конфигурацией, которые преобладают в Республике Беларусь. Он не оставляет технологической колеи, которая сокращает урожайность минимум на 10 % и уплотняет почву, может работать на сильно увлажненных почвах, не только в дневное, но и в ночное время. БПЛА производит обработку заданных посевов с производительностью 8–10 га/час. Имеет очень быструю зарядку батарей, более мощное распыление агрохимических веществ за счет вращения форсунок роторного типа, расширенный диапазон размера капель, оптимальную ширину эффективного распыления – от 7 метров. Для контроля высоты полета аппарат оборудован радиовысотомером, имеет интеллектуальное программное обеспечение, позволяющее осуществлять создание и настройку полетных заданий прямо на экране пульта управления без использования персонального компьютера и без выхода в поле.

Технология управления комплексом при применении средств защиты растений, минеральных удобрений и регуляторов роста растений на базе БПЛА достаточно проста. После ввода исходных данных аппарат самостоятельно определяет свою миссию, включая порядок использования целевой аппаратуры и оборудования для опрыскивания растений. Фактически это робот-опрыскиватель для производителей растениеводческой продукции.

Использование данных технологий с применением БПЛА позволяет более точно прогнозировать урожайность с учетом расхода минеральных удобрений, пестицидов, посевного материала, топлива, затрат труда, а также оптимизировать структуру пахотных и посевных площадей, севооборота, сократить потери урожая из-за вредителей, болезней и сорных растений.

БПЛА имеют ряд преимуществ перед традиционными (наземными) средствами, это невысокие затраты по эксплуатации и наземному обеспечению, высокая производительность и точность обработки, простота использования.

Заключение

Таким образом, применение цифровых технологий в растениеводстве по предлагаемому технологическому маршруту, в том числе с использованием беспилотных летательных аппаратов с мультиспектральными и гиперспектральными камерами для удаленного мониторинга плодородия почвы, посевов, и качественного применения средств химизации позволяет осуществить быстрый переход к цифровой трансформации земледелия.

В сочетании с применением спутниковых систем для формирования электронных карт подобные технологии помогают проанализировать экологическую ситуацию, рост и развитие растений, определить вегетационный индекс и осуществить раннюю диагностику развития заболеваний, вредителей и сорняков, содержание элементов питания, что позволяет принять правильное решение по выполнению агротехнологических мероприятий при возделывании сельскохозяйственных культур.

При расчете норм внесения минеральных удобрений, наряду с официальной методикой, учитывающей коэффициенты возмещения (возврата) NPK, можно использовать данные расчета по компьютерной программе NPK- оптимизатор, преимущество которой заключается в учете стоимости единицы азота, фосфора и калия в алгоритме расчетов. В зависимости от биотических и абиотических фак-

торов прибавка урожайности может составлять 30 % и более от базового варианта (традиционной технологии возделывания культуры).

ЛИТЕРАТУРА

1. Агродрон А60-Х [Электронный ресурс] // Авиационные технологии и комплексы. – Режим доступа: <https://aerotexsys.by/produksiya/bespilotnye-aviatsionnye-kompleksy/multi-rotornogo-tipa/agrodron-a-60kh.html>. – Дата доступа: 10.03.2024.

2. Камасин С. С., Мирончиков И. К. Оптимизация норм прк в системе точного земледелия // Матер. Межд. научно-практической конференции «Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции в Беларуси. Достижения науки – производству», посвященной 15-летию Научно-практического центра НАН Беларуси по земледелию. Минск, ИВЦ «Минфина», 2021. – С. 69–72.

3. Поле возможностей: цифровые решения для сельского хозяйства [Электронный ресурс] // Росэлектроника. – Режим доступа: <https://rostec.ru/news/pole-vozmozhnostey-tsifrovye-resheniya-dlya-selskogo-khozyaystva/>. – Дата доступа: 17.03.2024.

4. Роботы для полей: обзор интеллектуальной сельхозтехники [Электронный ресурс] // Агробизнес. – Режим доступа: <https://www.agbz.ru/articles/robotyi-dlya-poley--obzor-intellektualnoy-selhoztehniki/>. – Дата доступа: 16.03.2024.

5. Роботы и ИТ в сельском хозяйстве. – Режим доступа: <https://cdto.work/2024/03/15/cifrovaja-transformacija-v-selskom-hozhajstve/>. – Дата доступа: 10.03.2024.

6. Саскевич П. А., Камасин С. С., Саскевич А. С. Технично-технологические инновации в растениеводстве // Проблемы продовольственной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф., Горки 19-21 янв. 2023 г.: в 2 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: В. В. Великанов (гл. ред.) и др. – Горки: БГСХА, 2023. – Ч. 1. – С. 240–245.

7. Цифровая трансформация в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cdto.work/2023/03/15/cifrovaja-transformacija-v-selskom-hozhajstve/>. – Дата доступа: 19.03.2024.