

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ ВНЕДРЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ РЕШЕНИЙ В СИСТЕМЫ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ И ПРОДУКТИВНОСТИ АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR THE IMPLEMENTATION OF SPECIALIZED MICROCONTROLLER SOLUTIONS IN PRECISION FARMING SYSTEMS TO INCREASE THE SUSTAINABILITY AND PRODUCTIVITY OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEXES

V. Egunov
A. Kuzmenko
A. Borisov

Summary. The article analyzes the potential of introducing modern hardware and software based on microcontrollers into agrotechnical precision farming complexes to increase their efficiency and sustainable development. The research is based on the systematization of scientific literature and the analysis of existing practices for the implementation of automated systems in agriculture. The conceptual foundations of building monitoring and management systems in precision agriculture are considered, the economic and environmental aspects of their application are analyzed. A conceptual approach to the formation of a modular system adapted to the peculiarities of the Russian agro-industrial complex is proposed. The results of the study indicate the potential for optimizing resource consumption and increasing yields when implementing automated precision farming systems, however, taking into account the need for a thorough assessment of specific technical solutions for each agricultural enterprise.

Keywords: precision farming, agricultural automation, digitalization of agriculture, sustainable development, agroecological systems.

Егунув Виталий Алексеевич

кандидат технических наук, доцент, Волгоградский
государственный технический университет
vegunov@mail.ru

Кузьменко Александр Александрович

Волгоградский государственный
технический университет
skvotcher@yandex.ru

Борисов Александр Сергеевич

Волгоградский государственный
технический университет
alexanderbor0134@mail.ru

Аннотация. В статье выполнен анализ потенциала внедрения современных аппаратно-программных средств на основе микроконтроллеров в агротехнические комплексы точного земледелия для повышения их эффективности и устойчивого развития. Исследование опирается на систематизацию научной литературы и анализ существующих практик внедрения автоматизированных систем в сельском хозяйстве. Рассмотрены концептуальные основы построения систем мониторинга и управления в точном земледелии, проанализированы экономические и экологические аспекты их применения. Предложен концептуальный подход к формированию модульной системы, адаптированной к особенностям российского агропромышленного комплекса. Результаты исследования указывают на потенциал оптимизации ресурсопотребления и повышения урожайности при внедрении автоматизированных систем точного земледелия, однако с учетом необходимости тщательной оценки конкретных технических решений для каждого сельскохозяйственного предприятия.

Ключевые слова: точное земледелие, автоматизация сельского хозяйства, цифровизация АПК, устойчивое развитие, агроэкологические системы.

Введение

Устойчивое развитие агропромышленного комплекса (далее АПК) в условиях растущего населения, климатических изменений и ограниченности ресурсов является одним из ключевых вызовов 21 века [1]. Для решения этой комплексной задачи необходим переход к новой парадигме сельскохозяйственного производства, основанной на широком применении передовых технологий, автоматизации и цифровизации процессов [2].

Точное земледелие как концепция, предполагающая оптимизацию использования ресурсов на основе сбора и анализа детальных данных о состоянии агроэкосистемы, признается перспективным направлением для повышения продуктивности и экологичности аграрного сектора [3]. Технологии точного земледелия позволяют оптимизировать использование удобрений, средств защиты растений, водных ресурсов за счет их дифференцированного применения с учетом пространственной неоднородности полей и временной динамики развития растений.

В научной литературе достаточно подробно описаны принципы точного земледелия, методы сбора и обработки пространственных данных, подходы к дифференцированному внесению агрохимикатов [4, 5]. Однако вопросы практической реализации систем точного земледелия в конкретных условиях российского АПК, выбора оптимальных технических решений, оценки экономической эффективности внедрения остаются недостаточно изученными.

В последние годы развитие микроэлектроники и встраиваемых систем создало технологические предпосылки для формирования доступных решений в области автоматизации сельскохозяйственных процессов. Современные микроконтроллерные платформы, в частности линейка STM32, потенциально могут стать основой для создания модульных масштабируемых систем мониторинга и управления в точном земледелии. Однако необходим критический анализ их возможностей и ограничений применительно к специфическим задачам агротехнологий.

Данная статья направлена на проведение комплексного обзора научной литературы по вопросам автоматизации процессов в точном земледелии, анализ потенциала применения микроконтроллерных платформ в этой области и формирование концептуального видения архитектуры модульной системы, адаптированной к потребностям российского АПК.

Методы

Методологической основой исследования является системный подход, позволяющий рассматривать технологии точного земледелия в контексте взаимосвязи агрономических, экологических, экономических и технологических аспектов. В работе использованы методы теоретического анализа и синтеза, сравнительного анализа литературных источников, обобщения существующих практик.

Информационной базой исследования послужили научные публикации в области точного земледелия, аналитические обзоры рынка аграрных технологий, материалы научно-практических конференций, открытые данные о технических характеристиках микроконтроллерных платформ. Обзор литературы охватывает как фундаментальные работы по теории точного земледелия, так и прикладные исследования по внедрению конкретных технологических решений.

При анализе перспектив внедрения систем точного земледелия на базе микроконтроллеров применялся метод экспертной оценки потенциальных эффектов, основанный на обобщении результатов внедрения аналогичных технологий в различных регионах и хозяйствах.

Концептуальные основы точного земледелия. Обзор научной литературы показывает, что концепция точного земледелия основывается на трех ключевых компонентах: 1) системе сбора пространственных данных о состоянии агроэкосистемы; 2) методах анализа и интерпретации полученной информации; 3) технологиях дифференцированного воздействия на элементы агроэкосистемы [6].

Якушев В.П. и Якушев В.В. [9] подчеркивают, что эффективность точного земледелия определяется качеством информационного обеспечения и возможностью оперативной адаптации агротехнических решений к изменяющимся условиям. Авторы отмечают, что развитие сенсорных технологий и методов дистанционного зондирования создает новые возможности для оперативного мониторинга состояния посевов и почвы.

Баденко В.Л. с соавторами [8] указывает на перспективность применения имитационного моделирования для разработки систем поддержки принятия решений в точном земледелии. По мнению авторов, интеграция моделей развития сельскохозяйственных культур с данными мониторинга позволяет прогнозировать отклик агроэкосистемы на различные управляющие воздействия и оптимизировать агротехнические решения.

Анализ технических решений для систем точного земледелия. В последние годы наблюдается активное развитие технологий Интернета вещей (IoT) и встраиваемых систем, которые потенциально могут быть адаптированы для задач точного земледелия. Микроконтроллерные платформы, такие как Arduino, Raspberry Pi, STM32, становятся все более доступными и функциональными, что создает предпосылки для их применения в сельском хозяйстве.

Анализ литературы показывает, что при выборе аппаратной платформы для систем точного земледелия необходимо учитывать следующие ключевые требования:

- Надежность работы в сложных полевых условиях (широкий температурный диапазон, воздействие влаги, вибрации);
- Энергоэффективность для обеспечения автономной работы на удаленных участках;
- Коммуникационные возможности для передачи данных в распределенной инфраструктуре;
- Масштабируемость решений для адаптации к различным типам хозяйств;
- Доступность программно-аппаратных средств разработки и поддержки.

Микроконтроллеры семейства STM32 представляют собой линейку устройств с различными характеристиками, что позволяет выбирать оптимальные решения под конкретные задачи. Однако важно отметить, что не все

серии микроконтроллеров STM32 обладают одинаковой энергоэффективностью и функциональностью. При проектировании систем точного земледелия необходим тщательный выбор конкретных моделей микроконтроллеров с учетом требований конкретных задач.

Концептуальная модель системы точного земледелия. На основе анализа литературы предлагается концептуальный подход к построению модульной системы точного земледелия, адаптированной к потребностям российского АПК. Ключевыми особенностями данного подхода являются:

- Модульная архитектура, позволяющая гибко конфигурировать систему под потребности конкретного хозяйства;
- Многоуровневая организация, включающая полевые сенсорные узлы, локальные концентраторы данных и центральную систему обработки информации;
- Открытые протоколы обмена данными для обеспечения совместимости с различными устройствами;
- Адаптивные алгоритмы принятия решений, учитывающие специфику локальных почвенно-климатических условий.

В предлагаемой модели основные функциональные компоненты системы включают:

- Модули сбора данных о состоянии почвы, растений, метеорологических условиях;
- Средства позиционирования для пространственной привязки собираемых данных;
- Коммуникационные модули для передачи информации;
- Исполнительные механизмы для реализации дифференцированного внесения удобрений, средств защиты растений, регулирования полива.

Экономические и экологические аспекты внедрения систем точного земледелия. Зарубежные исследования подтверждают экономическую эффективность внедрения элементов точного земледелия. Schimmelpfennig и Ebel [10] на основе анализа опыта американских фермеров показали, что последовательное внедрение различных компонентов системы точного земледелия позволяет достичь существенной экономии ресурсов при сохранении высокой продуктивности.

Vora с соавторами [16] оценили потенциал энергосбережения при внедрении технологий точного земледелия и продемонстрировали, что дифференцированное

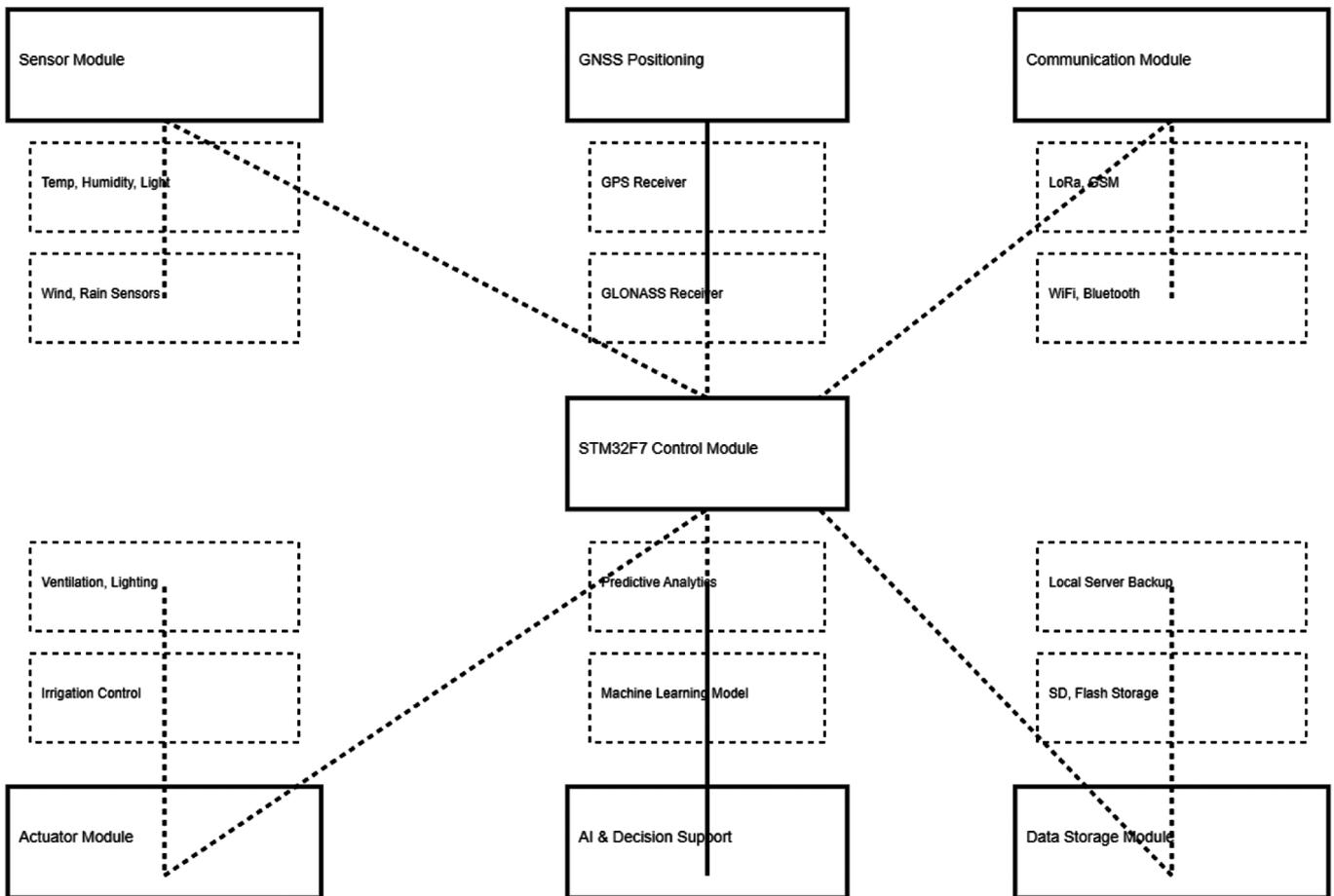


Рис. 1. Концептуальная схема модульной системы точного земледелия на базе микроконтроллеров STM32

внесение удобрений и средств защиты растений позволяет снизить энергоемкость производства на 10–15 %.

Анализ доступных исследований позволяет обобщить потенциальные эффекты от внедрения систем точного земледелия по основным направлениям (таблица № 1).

Таблица 1.
Потенциальные эффекты внедрения элементов точного земледелия

Направление эффектов	Механизмы реализации	Примерная оценка эффекта
Оптимизация использования удобрений	Дифференцированное внесение с учетом пространственной неоднородности почвы	Снижение объемов внесения на 10–20 % при сохранении урожайности
Оптимизация использования средств защиты растений	Локализованная обработка очагов распространения вредителей и болезней	Снижение объемов применения на 15–25 %
Экономия водных ресурсов	Прецизионный полив с учетом влажности почвы и потребностей растений	Повышение эффективности использования воды на 20–30 %
Рост урожайности	Оптимизация агротехнических операций с учетом локальных условий	Повышение на 10–15 % для большинства культур
Снижение экологического воздействия	Сокращение вымывания агрохимикатов в грунтовые воды	Снижение эмиссии загрязняющих веществ на 15–25 %

Источник: обобщено автором на основе [8, 9, 10]

Важно отметить, что приведенные оценки являются ориентировочными и могут существенно варьироваться в зависимости от типа культур, почвенно-климатических условий, технологического уровня хозяйства и других факторов. Для получения точных оценок экономической эффективности внедрения систем точного земледелия в конкретном хозяйстве необходимо проведение пилотных проектов и детальный анализ местных условий.

Барьеры и ограничения внедрения. Анализ литературы указывает на наличие ряда барьеров, препятствующих широкому внедрению систем точного земледелия в российском АПК:

- Высокие первоначальные инвестиции в оборудование и инфраструктуру;
- Дефицит квалифицированных кадров, обладающих компетенциями на стыке агрономии и информационных технологий;

- Слабое развитие инфраструктуры передачи данных в сельской местности;
- Отсутствие адаптированных к российским условиям готовых решений;
- Недостаточные меры государственной поддержки цифровой трансформации АПК.

Для преодоления указанных барьеров необходим комплексный подход, включающий развитие научно-исследовательской базы, подготовку кадров, совершенствование мер государственной поддержки, формирование экосистемы разработчиков технологических решений для АПК.

Заключение

Проведенный анализ научной литературы и существующих практик показал, что технологии точного земледелия имеют значительный потенциал для повышения эффективности и устойчивости агропромышленного комплекса. Современные микроконтроллерные платформы, в том числе семейство STM32, могут стать технологической основой для создания доступных модульных систем сбора данных и управления ресурсами в точном земледелии.

Предложенная концептуальная модель модульной системы точного земледелия ориентирована на гибкую адаптацию к потребностям различных типов хозяйств и учет специфики российского АПК. Открытая архитектура и унифицированные протоколы обмена данными позволяют интегрировать в систему компоненты от различных производителей, что снижает зависимость от конкретных поставщиков технологий. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что успех внедрения систем точного земледелия определяется не только технологическими факторами, но и организационно-экономическими условиями, наличием квалифицированных кадров, доступностью инфраструктуры. Для масштабного освоения технологий точного земледелия российским АПК требуется формирование комплексной стратегии цифровой трансформации отрасли, включающей меры государственной поддержки, развитие научно-образовательной базы, стимулирование кооперации участников рынка. Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на эмпирическую верификацию эффектов внедрения комплексных систем точного земледелия в различных почвенно-климатических зонах России, разработку методик оценки экономической эффективности инвестиций в цифровизацию сельскохозяйственного производства, формирование адаптированных к российским условиям технологических стандартов и протоколов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Якушев В.В. Точное земледелие: теория и практика. — СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. — 364 с.
2. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия. — Краснодар: КубГАУ, 2016. — 39 с.
3. Липкович Э.И. Автоматизация технологических процессов в сельском хозяйстве: учебное пособие. — Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2018. — 140 с.
4. McBratney A., Whelan B., Ancev T., Vouma J. Future Directions of Precision Agriculture // Precision Agriculture. — 2005. — Vol. 6(1). — p. 7–23.
5. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. — М.: КолосС, 2011. — 443 с.
6. Якушев В.П. Опыт разработки и применения систем точного земледелия // Продукционный процесс растений: теория и практика эффективного и ресурсосберегающего управления: труды Всероссийской конференции с международным участием, посвященные памяти академика РАСХН Ермакова Е.И. 2009. С. 7–10.
7. Pedersen S.M., Fountas S., Blackmore S. Agricultural Robots — Applications and Economic Perspectives // Service Robot Applications. — 2008. — p. 369–382.
8. Кравчук В.И., Любченко С.Е. Интегрированная система управляемого земледелия необходимое средство реализации современных технологий // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: труды международной научно-технической конференции. 2010. Т. 1. С. 103–105.
9. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. — СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН, 2007. — 384 с.
10. Schimmelpfennig D., Ebel R. Sequential Adoption and Cost Savings from Precision Agriculture // Journal of Agricultural and Resource Economics. — 2016. — Vol. 41(1). — pp. 97–115.
11. Шпаар Д., Захаренко А.В., Якушев В.П. Точное сельское хозяйство. — СПб.; Пушкин, 2009. — 397 с.
12. Fountas S. et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives // Computers and Electronics in Agriculture. — 2015. — Vol. 115. — p. 40–50.
13. Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture — a worldwide overview // Computers and Electronics in Agriculture. — 2002. — Vol. 36. — p. 113–132.
14. Балабанов В.И., Железова С.В., Березовский Е.В., Беленков А.И., Егоров В.В. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. — М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2013. — 148 с.
15. Schimmelpfennig D. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Economic Research Report No. 217. U.S. Department of Agriculture. 2016. 46 p.
16. Bora G.C., Nowatzki J.F., Roberts D.C. Energy savings by adopting precision agriculture in rural USA // Energy, Sustainability and Society. 2012. Vol. 2. P. 22.

© Егунов Виталий Алексеевич (vegunov@mail.ru); Кузьменко Александр Александрович (skvotcher@yandex.ru);

Борисов Александр Сергеевич (alexanderbor0134@mail.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»